

ISSN 2658-6649 (Print)
ISSN 2658-6657 (Online)

Siberian journal **of Life Sciences and Agriculture**

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 17, Number 5
2025

ISSN 2658-6649 (print)
ISSN 2658-6657 (online)

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 17, Number 5
2025**

Главный редактор:

Солдатов Сергей Константинович, доктор медицинских наук, профессор
(Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил
Министерства обороны Российской Федерации, Москва, Россия)

Заместители главного редактора:

Медведев Леонид Нестерович, доктор биологических наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (Красноярск, Россия)

Оказова Зарина Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Чеченский государственный педагогический университет»
(Грозный, Россия)

Москаленко Ольга Леонидовна, кандидат биологических наук, НИИ МПС,
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный
исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук» (Красноярск, Россия)

Красноярск 2025



Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Научно-практический рецензируемый журнал
Peer-reviewed scientific-practical journal

Периодичность. 6 номеров в год / Periodicity. 6 issues per year

Том 17, № 5, 2025 / Vol. 17, No 5, 2025

Учредитель и издатель:

ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2008 году

Зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
Регистрационный номер:
серия ЭЛ № ФС 77-89425 от 20.05.2025 г.

Журнал **входит** в ЕГПНИ - "Белый
список", Перечень ведущих
рецензируемых научных журналов и
изданий, выпускаемых в РФ, в которых
должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора
и кандидата наук.

Индексирование и реферирование:

Scopus
РИНЦ
РЦНИ
КиберЛенинка
Ulrich's Periodicals Directory
Google Scholar
ВИНИТИ РАН
DOAJ
BASE
EBSCO
WorldCat
OpenAIRE
ЭБС IPRbooks
ЭБС Znanium
ЭБС Лань

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

Россия, 660127, Красноярский край,
г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: editor@discover-journal.ru
<https://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:

Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008

Mass media registration certificate
EL № FS 77-89425,
issued May 20, 2025.

Journal is **included** in the "White List",
a List of leading peer-reviewed scientific
journals and publications issued in the
Russian Federation, which should publish
main scientific results of doctor's and
candidate's theses.

Indexing and Abstracting:

Scopus
RISC
RCSI
Cyberleninka
Ulrich's Periodicals Directory
Google Scholar
VINITI Database RAS
DOAJ
BASE
EBSCO
WorldCat
OpenAIRE
IPRbooks
Znanium
Lan'

Editorial Board Office:

9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk,
660127, Russian Federation
E-mail: editor@discover-journal.ru
<https://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2025

Члены редакционной коллегии

Александрова Оксана Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко» (Москва, Россия)

Ананьев Владимир Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр РФ - Институт медико-биологических проблем РАН (Москва, Россия)

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Роспотребнадзора (Оболensk, Россия)

Ариничева Ирина Владимировна, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Арутюнян Александр Вартанович, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт акушерства, гинекологии и репродуктологии им. Д.О. Отта (Санкт-Петербург, Россия)

Астарханова Тамара Саржановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия)

Ашмарина Людмила Филипповна, доктор сельскохозяйственных наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Балабко Петр Николаевич, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Балакирев Николай Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина (Москва, Россия)

Барabanов Анатолий Тимофеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Волгоград, Россия)

Батырбекова Светлана Есимбековна, доктор химических наук, профессор, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Республика Казахстан)

Беленков Алексей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Беляев Анатолий Аркадьевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Новосибирский го-

сударственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Берсенева Евгения Александровна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «ВНИИИМТ» Росздравнадзора (Москва, Россия)

Буко Вячеслав Ульянович, доктор биологических наук, профессор, Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (Гродно, Республика Беларусь)

Бяловский Юрий Юльевич, доктор медицинских наук, профессор, Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова (Рязань, Россия)

Виноградов Дмитрий Валериевич, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО РГАУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (Рязань, Россия)

Виткина Татьяна Исаковна, доктор биологических наук, профессор РАН, Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания (Благовещенск, Россия)

Волкова Галина Владимировна, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр биологической защиты растений (Краснодар, Россия)

Волынкин Владимир Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Воронина Валентина Павловна, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Волгоградский государственный аграрный университет (Волгоград, Россия)

Гармаев Эндон Жамьянович, доктор географических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Байкальский институт природопользования СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Гинс Мурат Сабирович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (п. ВНИССОК, Россия)

Глотов Александр Гаврилович, доктор ветеринарных наук, профессор, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Головин Сергей Евгеньевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства (Москва, Россия)

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Гомбоев Баир Октябрьевич, доктор географических наук, профессор, Байкальский институт природопользования СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Гончаров Сергей Владимирович, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Грязькин Анатолий Васильевич, доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия)

Денисов Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Иошкар-Ола, Россия)

Дерягина Лариса Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя (Москва, Россия)

Дьякович Марина Пинхасовна, доктор биологических наук, профессор, Ангарский государственный технический университет (Ангарск, Россия)

Жмылев Павел Юрьевич, доктор биологических наук, доцент, Государственный университет «Дубна» (Москва, Россия)

Зайцев Владимир Владимирович, доктор биологических наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург, Россия)

Зудилин Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)

Иванова Майса Афанасьевна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)

Иванченко Вячеслав Иосифович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Симферополь, Россия)

Иванцова Елена Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)

Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Зерноград, Россия)

Казыдуб Нина Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)

Калягин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, МВА, Иркутский государственный медицинский университет (Иркутск, Россия)

Карганов Михаил Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии (Москва, Россия)

Кашеваров Николай Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

Клименко Виктор Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Ковалев Николай Николаевич, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Владивосток, Россия)

Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)

Колесников Сергей Ильич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)

Коробова Лариса Николаевна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Новосибирск, Россия)

Кузин Андрей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Кузьмин Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора (Мггиши, Россия)

Лесовская Марина Игоревна, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск, Россия)

Лисяк Анатолий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (Харьков, Украина)

Лиховской Владимир Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)

Мазиров Михаил Арнольдович, доктор биологических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Манаенков Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Волгоград, Россия)

Манчук Валерий Тимофеевич, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Марзанов Нурбий Сафарбиевич, доктор биологических наук, профессор, Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста (Подольск, Россия)

Мельченко Александр Иванович, доктор биологических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

Меньшикова Лариса Ивановна, доктор медицинских наук, профессор, Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования (Москва, Россия)

Минигалиева Ильзира Амировна, доктор биологических наук, Екатеринбургский медицинский научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промышленных предприятий (Екатеринбург, Россия)

Мойсеенок Андрей Георгиевич, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси (Гродно, Республика Беларусь)

Монахос Сократ Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Музурова Людмила Владимировна, доктор медицинских наук, профессор, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского (Саратов, Россия)

Мухортов Дмитрий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Поволжский государственный технологический университет (Иошкар-Ола, Россия)

Насыбуллина Галия Максutowна, доктор медицинских наук, профессор, Уральский государственный медицинский университет (Екатеринбург, Россия)

Науанова Айнаш Пахуашовна, доктор биологических наук, профессор, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина (Астана, Республика Казахстан)

Никитюк Дмитрий Борисович, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (Москва, Россия)

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ им. акад. Л.К. Эрнста (Подольск, Россия)

Панкрушина Алла Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Тверской государственный университет (Тверь, Россия)

Паштецкий Владимир Степанович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, член-корреспондент РАН, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Россия)

Полунин Валерий Сократович, доктор медицинских наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва, Россия)

Полунина Наталья Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Москва, Россия)

Поползухина Нина Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)

Пронина Галина Иосеповна, доктор биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Пуликов Анатолий Степанович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения РФ, Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Рапопорт Жан Жозефович, доктор медицинских наук, профессор, отличник здравоохранения СССР, заслуженный изобретатель СССР, НИИ МПС (Россия/Израиль)

Рахимов Александр Иманулович, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

Рахимова Надежда Александровна, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)

Рожко Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (Красноярск, Россия)

Саввина Надежда Валерьевна, доктор медицинских наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Якутск, Россия)

Савельева Наталья Николаевна, доктор биологических наук, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Сетков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, Сибирский федеральный университет (Красноярск, Россия)

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Стецов Григорий Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального Алтайский научный центр агробиотехнологий (Барнаул)

Суханова Светлана Фаилевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева (Лесниково, Россия)

Сычев Виктор Гаврилович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (Москва, Россия)

Тармаева Инна Юрьевна, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (Москва, Россия)

Терещенко Сергей Юрьевич, доктор медицинских наук, профессор, Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Торопова Елена Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Трифопова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Трунов Юрий Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Мичуринский госу-

дарственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

Ткачёв Александр Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ветеринарной медицины, старший научный сотрудник ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

Тыщенко Елизавета Алексеевна, доктор технических наук, доцент, Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия (Кемерово, Россия)

Упадышев Михаил Тарьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, ФГБНУ Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства (Москва, Россия)

Черных Наталья Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, Московский государственный институт международных отношений (университет) (Москва, Россия)

Чернявских Владимир Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса (Лобня, Россия)

Шнайдер Наталья Алексеевна, доктор медицинских наук, профессор, Национальный медицинский исследовательский центр психиатрии и неврологии им. В.М. Бехтерева (Санкт-Петербург, Россия)

Юшков Андрей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)

Editorial Board Members

Oksana Yu. Alexandrova, Doctor of Medical Sciences, Professor, National Research Institute of Public Health named after N.A. Semashko (Moscow, Russia)

Vladimir N. Ananiev, Doctor of Medical Sciences, Professor, State Scientific Center of the Russian Federation - Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

Andrey P. Anisimov, Doctor of Medical Sciences, Professor, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology of Rospotrebnadzor (Obolensk, Russia)

Irina V. Arinicheva, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Alexander V. Arutyunyan, Doctor of Biological Sciences, Professor, Research Institute of Obstetrics, Gynecology and Reproductology named after D. O. Ott (St. Petersburg, Russia)

Tamara S. Astarkhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

Lyudmila F. Ashmarina, Doctor of Agricultural Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Petr N. Balabko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Nikolai A. Balakirev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K. I. Skryabin (Moscow, Russia)

Anatoly T. Barabanov, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia)

Svetlana Ye. Batyrbekova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan)

Aleksey I. Belenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Anatoly A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Evgenia A. Berseneva, Doctor of Medical Sciences, Professor, All-Russian Research and Testing Institute of Medical Equipment (Moscow, Russia)

Vyacheslav U. Buko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (Grodno, Republic of Belarus)

Yury Yu. Byalovsky, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlova (Ryazan, Russia)

Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev (Ryazan, Russia)

Tatyana I. Vitkina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration (Blagoveshchensk, Russia)

Galina V. Volkova, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)

Vladimir A. Volynkin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Valentina P. Voronina, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Volgograd, Russia)

Endon Zh. Garmaev, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude, Russia)

Murat S. Gins, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Vegetable Growing (VNISSOK, Russia)

Aleksandr G. Glotov, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Sergey E. Golovin, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Scientific Breeding and Technological Center for Horticulture and Nursery (Moscow, Russia)

Kirill S. Golokhvast, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Education, Professor of the Russian Academy of Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Bair O. Gomboev, Doctor of Geography, Professor, Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude, Russia)

Sergey V. Goncharov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Anatoly V. Gryazkin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Saint-Petersburg State Forest Technical

University named after S.M. Kirova (St. Petersburg, Russia)

Sergey A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Larisa E. Deryagina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Y. Kikot (Moscow, Russia)

Marina P. Dyakovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Angarsk State Technical University (Angarsk, Russia)

Pavel Yu. Zhmylev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, State University "Dubna" (Moscow, Russia)

Vladimir V. Zaitsev, Doctor of Biological Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Samara, Russia)

Sergey V. Zalesov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg, Russia)

Sergey N. Zudilin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Samara State Agrarian University (Samara, Russia)

Maisa A. Ivanova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute for the Organization and Informatization of Healthcare" of the Ministry of Health of the Russian Federation (Moscow, Russia)

Vyacheslav I. Ivanchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol, Russia)

Elena A. Ivantsova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State University (Volgograd, Russia)

Aliya S. Kazakova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Azov-Chernomorsk Engineering Institute, Donskoy State Agrarian University (Zernograd, Russia)

Nina G. Kazydub, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Omsk State Agrarian University named after P. Stolypin (Omsk, Russia)

Aleksey N. Kalyagin, Doctor of Medical Sciences, Professor, MBA, Irkutsk State Medical University (Irkutsk, Russia)

Mikhail Yu. Karganov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Research Institute of General Pathology and Pathophysiology (Moscow, Russia)

Nikolay I. Kashevarov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Academician of the Russian Academy of Sciences, Siberian Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia)

Viktor P. Klimenko, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Nikolai N. Kovalev, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Far Eastern State Technical Fisheries University (Vladivostok, Russia)

Vasily V. Kozlov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Moscow, Russia)

Sergey I. Kolesnikov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)

Larisa N. Korobova, Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Andrey I. Kuzin, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

Sergey V. Kuzmin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman (Mytishchi, Russia)

Marina I. Lesovskaya, Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University (Krasnoyarsk, Russia)

Anatoly A. Lisnyak, Candidate of Agricultural Sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University (Kharkiv, Ukraine)

Vladimir V. Likhovskoy, Doctor of Agricultural Sciences, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)

Mikhail A. Mazirov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Alexander S. Manaenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia)

Valery T. Manchuk, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Nurbiy S. Marzanov, Doctor of Biological Sciences, Professor, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (Podolsk, Russia)

Alexander I. Melchenko, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Larisa I. Menshikova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (Moscow, Russia)

Ilzira A. Minigalieva, Doctor of Biological Sciences, Yekaterinburg Medical Research Center for Prevention and Health Protection of Industrial Workers (Yekaterinburg, Russia)

Andrei G. Moiseenok, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the National

Academy of Sciences of Belarus, Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (Grodno, Republic of Belarus)

Sokrat G. Monakhos, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Lyudmila V. Muzurova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky (Saratov, Russia)

Dmitry I. Mukhortov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Volga State Technological University (Yoshkar-Ola, Russia)

Galia M. Nasybullina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ural State Medical University (Yekaterinburg, Russia)

Ainash P. Nauanova, Doctor of Biological Sciences, Professor, S.Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University (Astana, Republic of Kazakhstan)

Dmitry B. Nikityuk, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, L.K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry (Podolsk, Russia)

Alla N. Pankrushina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Tver State University (Tver, Russia)

Vladimir S. Pashtetsky, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture of the Crimea (Simferopol, Russia)

Valeriy S. Polunin, Doctor of Medical Sciences, Professor, Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

Natalya V. Polunina, Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

Nina A. Popolzhikhina, Doctor of Agricultural Sciences, Omsk State Agrarian University named after P. Stolypin (Omsk, Russia)

Galina I. Pronina, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Anatoly S. Pulikov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Excellence in Public Health of the Russian Federation, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Zhan Zh. Rapoport, Doctor of Medical Sciences, Professor, Excellence in Public Health of the USSR, Honored Inventor of the USSR, Research Institute of the Ministry of Railways (Russia/Israel)

Alexander I. Rakhimov, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Nadezhda A. Rakhimova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia)

Igor A. Rodin, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin (Krasnodar, Russia)

Tatyana V. Rozhko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasenetsky (Krasnoyarsk, Russia)

Alexander S. Rulev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Volgograd, Russia)

Nadezhda V. Savvina, Doctor of Medical Sciences, Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University in Yakutsk (Yakutsk, Russia)

Natalya N. Savelyeva, Doctor of Biological Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

Nikolai A. Setkov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)

Viktor A. Smelik, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Agrarian University (St. Petersburg, Russia)

Grigory Ya. Stetsov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies (Barnaul, Russia)

Svetlana F. Sukhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev (Lesnikovo, Russia)

Viktor G. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov (Moscow, Russia)

Inna Yu. Tarmaeva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)

Sergey Yu. Tereshchenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)

Elena Yu. Toropova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)

Tatyana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Yury V. Trunov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Michurinsk State Agrarian University (Michurinsk, Russia)

Alexander V. Tkachev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Veterinary Medicine, Senior Researcher Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)

Elizaveta A. Tyshchenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russia)

Mikhail T. Upadyshev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery (Moscow, Russia)

Natalya A. Chernykh, Doctor of Biological Sciences, Professor, Moscow State Institute of International Relations (University) (Moscow, Russia)

Vladimir I. Chernyavskikh, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Lobnya, Russia)

Natalya A. Schneider, Doctor of Medical Sciences, Professor, Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology (St. Petersburg, Russia)

Andrey N. Yushkov, Doctor of Agricultural Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY**

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1299

EDN: JVLLGU

UDC 619:611.018:616-097:618.36]:636.42/.48



Original article

**IDENTIFICATION OF DE-EPITHELIZED
STRUCTURES OF PIG PLACENTA**

***A.V. Agarkov, N.V. Agarkov, R.A. Tsyganskiy,
N.V. Belugin, N.A. Pisarenko***

Abstract

The article presents the structural features of de-epithelized structures in the placenta of sows. A systematic histological examination of placentas in pregnant animals allowed us to identify new methods for assessing their condition, taking into account the embryonic periods of fetal development, substantiate critical periods of newborn development, and put forward a scientific position on maintaining the rhythm of labor activity in animals. In addition, this paper discusses some issues of neonatal development of newborn offspring.

The study of sow placentas revealed clear differences in the structure of the epithelial layer. Foci of diepithelialization of the main chorionic villi have been identified. According to the signs of the difference, two groups of sows were identified. The main criterion for the correlation of animals by contact groups was the identification of de-epithelized structures in the placenta of pigs. Individuals with pronounced de-epithelized structures of placental tissue were identified in the first group, while the second group acted as a control without obvious changes in the epitheliochoric layer.

When organizing therapeutic and preventive measures in pig farms, it is necessary to take into account this change in placental tissue in pigs as a predictor of a later (indirect) pathological condition of the offspring obtained with a high infectious risk group.

We consider it necessary to continue research in this area to study the effect of the identified destructive changes in the placental barrier of the fetoplacental

complex in pigs on changes in immunobiological reactivity, natural resistance and adaptive characteristics of animals.

Keywords: de-epithelized structures of the placenta; intrauterine period of development; placental insufficiency; sows; placental barrier

For citation. Agarkov, A. V., Agarkov, N. V., Tsyganskiy, R. A., Belugin, N. V., & Pisarenko, N. A. (2025). Identification of de-epithelized structures of pig placenta. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 17(5), 11-27. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1299>

Научная статья

ВЫЯВЛЕНИЕ ДИЭПИТЕЛИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР ПЛАЦЕНТЫ СВИНЕЙ

*А.В. Агарков, Н.В. Агарков, Р.А. Цыганский,
Н.В. Белугин, Н.А. Писаренко*

Аннотация

В статье описано исследование по выявлению особенности строения диэпителизированных структур в плаценте свиней. Системное проведение гистологических исследований плацент у беременных животных, результаты которых представлены в данной работе, позволило выявить новые методы оценки состояния беременных животных с учётом эмбриональных периодов развития плода, обосновать критические периоды развития новорождённого и выдвинут научное положение о сохранении ритма родовой деятельности животных, а также вскрыть некоторые вопросы неонатального развития новорожденного потомства.

При исследовании плацент свиноматок определены явные различия в структуре строения эпителиального слоя. Установлены очаги диэпителизации основных ворсин хориона. По признакам различия определены две группы свиноматок. Основным критерием соотнесения животных по интактным группам стало выявление диэпителизированных структур в плаценте свиней. В первую группу определены особи с выраженными диэпителизированными структурами плацентарной ткани, а вторая выступала контролем – без явных изменений эпителиохориального слоя.

При организации профилактических и превентивных лечебных мероприятий свиноводческих хозяйствах необходимо учитывать выявленные изменения плацентарной ткани у свиней как предиктор более позднего (опосредованного)

патологического состояния полученного потомства с соотнесением в группу высокого инфекционного риска.

Считаем необходимым продолжение исследований в данном направлении по изучению влияния обозначенных деструктивных изменений плацентарного барьера фетоплацентарного комплекса у свиней на изменения становления иммунобиологической реактивности, естественной резистентности и адаптивных особенностей животных.

Ключевые слова: диэпителизированные структуры плаценты; внутриутробный период развития; плацентарная недостаточность; свиноматки; плацентарный барьер

Для цитирования. Агарков, А. В., Агарков, Н. В., Цыганский, Р. А., Белугин, Н. В., & Писаренко, Н. А. (2025). Выявление диэпителизированных структур плаценты свиней. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 11-27. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1299>

Introduction

The main task of modern productive animal husbandry is to produce healthy offspring. Recent studies have established that the assessment of the immune status of an animal's body in normal and pathological conditions is necessary for immunoprophylaxis and epizootological forecasting [1; 5; 9; 11].

However, the formation of immunobiological parameters in newborn animals is determined by the time interval during which it is possible to assess the dynamic change in the studied parameters [8; 10; 15; 18].

In this regard, the search for the earliest and most informative criteria for the diagnosis of abnormalities in the immunological relationship in the functional system "mother-fetus-newborn", as well as the expansion of knowledge about the conditions of fetoplacental development are of critical importance [3; 4; 12; 14; 17].

It is known that the fetoplacental barrier is the main link in the transmission chain of the causative agent of an infectious disease [2; 13; 16; 19]. The direct effect of changes in the fetoplacental barrier on the formation of immune tension from the first days of life has also been proven [6; 7; 20].

One of the important conditions for physiological pregnancy is the principle of complete structural and functional differentiation of the fetoplacental complex. Therefore, the study of the placental barrier can be used as the earliest method of assessing the functional maturity of the offspring obtained in animals. Taking into account the pathological changes in the future, it is possible to predict epizootics and plan preventive measures.

Purpose

Study of pathomorphological features of de-epithelized structures of sow placenta based on histological research methods

Materials and methods*Materials:*

Placentas of sows with normal immunological reactivity (control group – 10 heads) and with a change in the immunological profile of the blood (experimental group – 10 heads).

Equipment:

- Binocular with double layer stage, B-159, Optica;
- Cabinet Exhaust Fan IIIB-1,0 «Laminar-C»;
- AB Veriti Thermal Cycler;
- Software VideoTest 4.0 (Build 353);
- Software «Biostatistics 4.03»;
- Ocular micrometer (Leica DM 2500);
- Fluorescence microscope Olympus BX41;
- Histology sample preparation system Tissue-Tek;
- Microtome Microm HM 340E (Microm GmbH, Germany).

Reagents and medications:

Histological stains: Hematoxylin (150 ml) – to overview staining of placental sections; eosin hydroalcoholic solution (500 ml).

Melted paraffin Histomix.

Buffered formalin 10% – to fixate of placental sections.

Electrolytic decalcifying solution (150 ml).

IzoPrep reagents – to increase the penetrating power of histological stains in tissues.

The object of research:

The object of research was the placentas of sows with different receptive profiles.

Methods:

The prepared sections were stained hematoxylin and eosin. Changes in placenta thickness was measured by ocular micrometer (Leica DM 2500). The relative area, diameter, perimeter, length and width of the placenta tissues were determined by VideoTest 4.0 software (Build 353). The morphological characteristics of the arterial and venous vascular bed were also studied.

All histological material was fixed in a 10% solution of neutral formalin. Histological sections were formed using a microtome Microm HM 340E (Mi-

crom GmbH, Germany). Fixed sections were stained using the method of increasing alcohol concentration and the Mallory's staining method [11].

Microscopic analysis was performed by Olympus BX41 microscope under magnification $\times 4$, $\times 10$, $\times 20$, $\times 40$, $\times 100$.

Research procedure:

The experimental part of the study was performed on two groups of sows (15 heads each) in the conditions of the Glushchenko's agricultural production cooperative (Krasnodar Krai).

In order to study the histological structure of placental tissue, the placentas of sows with normal immunological reactivity (control group – 10 heads) and with a change in the immunological profile of blood (experimental group – 10 heads) were analyzed.

Placentas were taken immediately after the end of labor. The subject of the study was the epitheliochoric layer of the placenta. Immediately after taking the material, the placenta was dissected into segments with a thickness of at least 5 mm with a total area of up to 3 cm² and fixed in neutral formalin. The fixed material was embedded in paraffin wax. A series of sections were made to cover the entire thickness of the placental wall, which made it possible to evaluate the entire surface and internal structural parts of the placenta.

Data analysis:

The analysis of microdensitometric data allowed us to identify clear differences in the structure of sow placentas. Foci of diepithelialization of the main chorionic villi were identified and, according to the signs of difference, the sows were divided into two groups. Individuals with clear de-epithelized structures of placental tissue were identified in the first group (experimental), while the second group (control) showed no obvious changes in the epitheliochoric layer.

The obtained digital data were analyzed using the statistical method of single-factor analysis of variance with the program "Biostatistics 4.03" for Windows. The differences were considered significant at $P \leq 0,05$.

Ethical aspects:

The experimental procedures were conducted in accordance with European Union Directive 2010/63/EU.

There is no conflict of interest between the authors in the field of related scientific research.

Research results

Significant differences in immunological reactivity were observed in the studied animals during pregnancy. This was expressed over the entire research period in a

significant decrease in the main subpopulations of Th and Tm (table 1). Dynamics of IFN- γ and TNF changes indicates a decrease in TLR7/8 at 46%, TLR1/2 at 36,4%, TLR1/2 + 9 at 34,7%, TLR1/2+ 7/8 + 9 at 19,0% in experimental group of sows. This trend causes a significant immunosuppressive state in this group of animals.

Table 1.
Changes in the main subpopulations of Th and Tm in sows during pregnancy

Groups of animals	Immunological parameters				
	TLR1/2	TLR7/8	TLR9	TLR1/2 + 7/8 + 9	TLR1/2 + 9
Control group	1,98 $\pm$ 0,14*	2042,0 $\pm$ 2,03*	1125,3 $\pm$ 0,98	904,6 $\pm$ 0,22	1258,0 $\pm$ 0,25
Experimental group	0,72 $\pm$ 0,11*	940,8* $\pm$ 1,66	851,2 $\pm$ 0,47	725,5 $\pm$ 0,97	823,0 $\pm$ 0,01

*Note: * significant difference $p\leq 0.05$ with the control group*

The illustrative material was obtained using a digital camera of Olympus BX41 microscope.

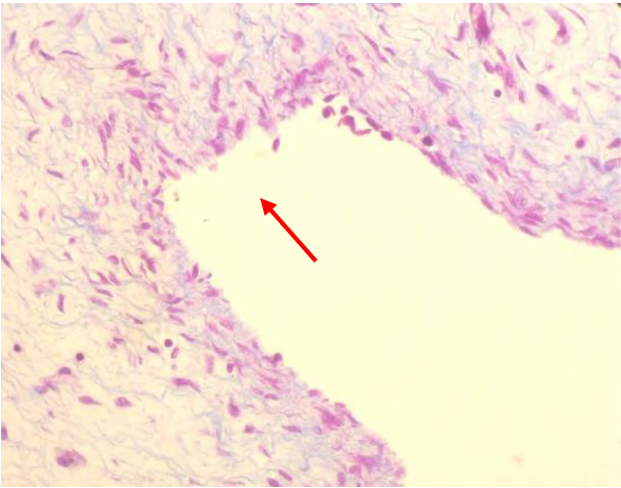


Fig. 1. Diepithelialization of the main villi of the chorion of the sow placenta

Figure 1a shows the characteristic absence of epithelial cells. The epithelial layer is cubic in shape, with explicit nuclear polymorphism at this stage of pregnancy. The basal part of individual epithelial cells is characterized by the presence of a spherical cluster of homogeneous material. In the material of the experimental group of sows, dystrophic increment of the epithelium of the main and terminal villi of the chorion of the placenta is common.

Morphological analysis showed clear changes in epithelial structures. However, there were no obvious changes in the chorial part of the fetoplacental complex in the placental tissue of pigs from the experimental group.

Figure 2 shows the complete formation of the epithelium of the main chorionic villi of the placenta of pigs from the control group. Microscopic examination shows extensive development of the main symplast, with the proliferation of multiple round (oval) shaped nuclei in the oxyphilic cytoplasm.

We have identified an extensive expansion of placental septa, where the main distribution of adjacent chorial complexes of a single fetoplacental complex occurs.

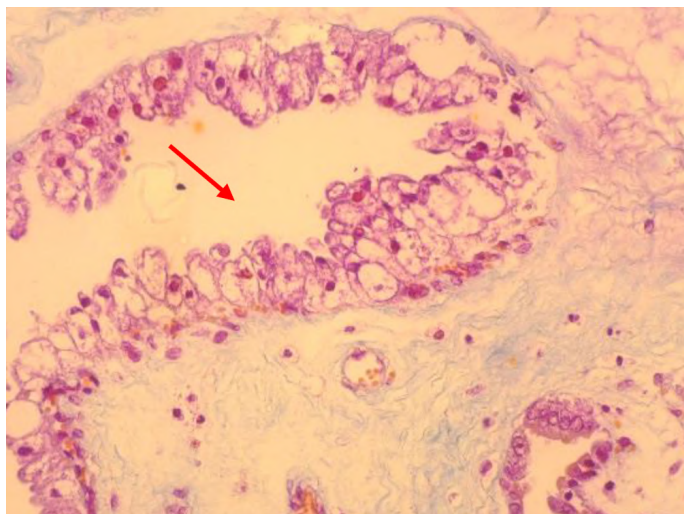


Fig. 2. Formation of a complete epithelium of the main villi of the chorion of the sow placenta

In the placentas of sows with signs of chorionic diepithelialization, reactive changes in vascular wall elements (Figure 3), erythrocyte aggregation, active proliferation of endothelium and adventitia cells with signs of accumulation of polymorphocellular infiltrates in the perivascular zone were also found.

The main unfavorable feature of the structural organization of placental tissue is the predominance of the substitutive nature of epithelial elements by interstitial fragments. This phenomenon affects the intramembrane transport of nutrients, oxygen, and metabolites, leading to a focal dystrophic (necrobiotic) process of the chorial epithelial layer.

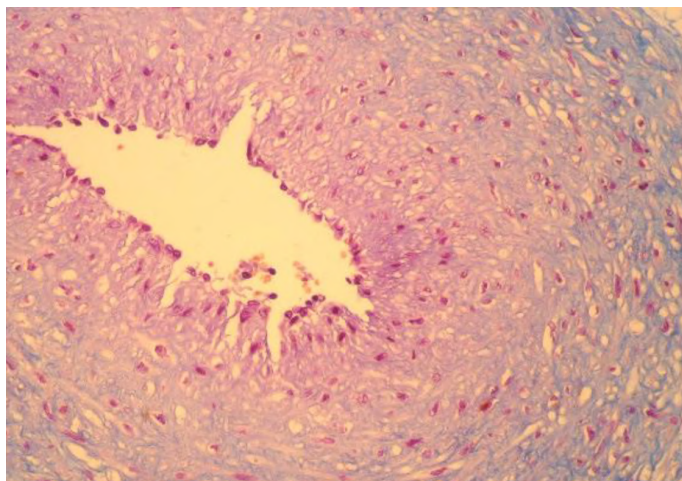


Fig. 3. Destructive formation of intravascular endothelial plate of sow placenta

The above changes were not detected in animals in the experimental group (Figure 4). The epithelial layer is not thickened, without significant densification of the nuclear apparatus. There is no pattern of discharged chromatin. There is no obvious distribution of dystrophic impregnated material in all areas of the placental tissue.

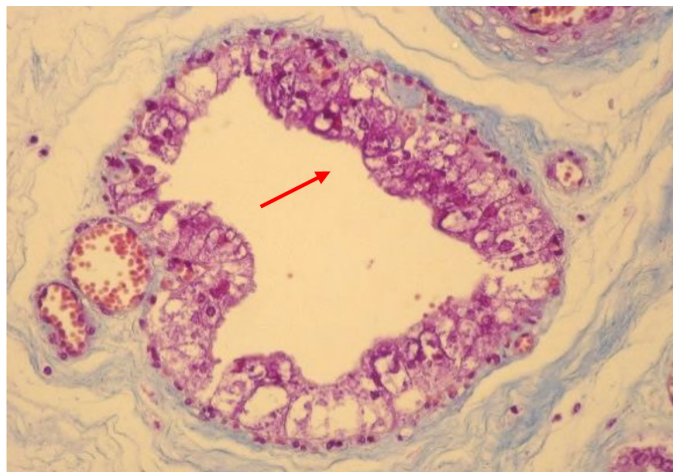


Fig. 4. Formed intravascular endothelial plate of sow placenta

The revealed morphological characteristics indicate the lowest connective tissue proliferative activity of epithelial cells in the control group in relation to the material obtained from the experimental group of animals.

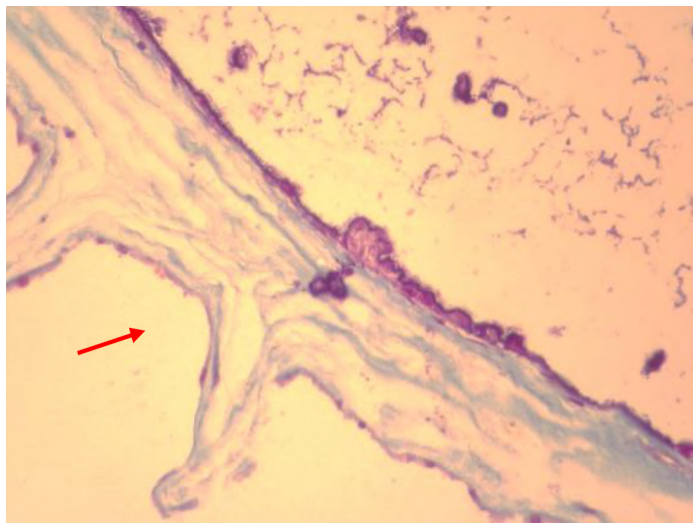


Fig. 5. Transformation of the terminal epitheliochoric layer of sow placenta

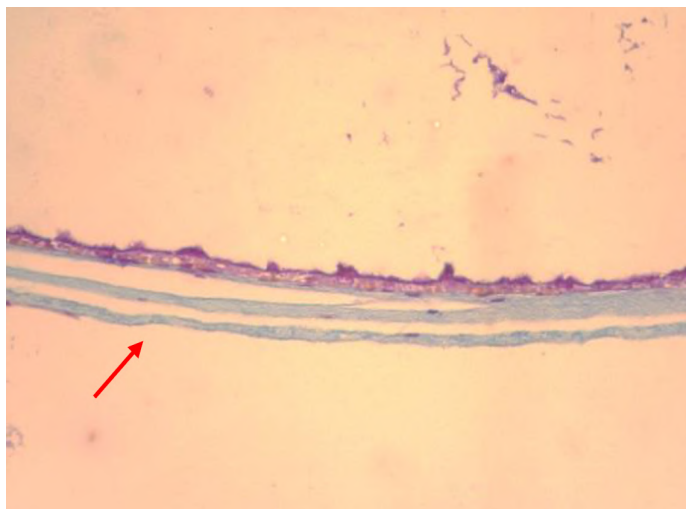


Fig. 6. Formed terminal epitheliochoric layer of sow placenta

In the experimental group, specific changes in the vascular bed (Figure 5) were caused by significant invaginations of the terminal epitheliochoric layer of the placenta. The main feature of specific epithelialization of placental tissue is the transformation and invagination of elements of the terminal epitheliochoric layer when correlating the integral terminal epitheliochoric layer of the placenta.

Signs of destruction are also observed in the deep layers of the placenta. The accumulation of collagen in the vascular bed of the terminal chorionic villi is associated with a predictor transformation of the perivascular atherotic process.

Figure 6 shows the formation of an integral terminal epitheliochoric layer of the placenta of pigs in the control group. An explicit pattern of chorial layer vascularization in the initial, middle and distal sections of the placental surface is identified.

Discussion

The study made it possible to identify the structural features of de-epithelized structures in the pig placenta. When organizing therapeutic and preventive measures in pig farms, it is necessary to take into account this change in placental tissue in pigs as a predictor of a later (indirect) pathological condition of the offspring obtained with a high infectious risk group.

Based on practical experience, we conclude that the morphological state of the placenta can show how the fetus developed in placental conditions, and whether there were pathological changes that could affect the viability of newborns.

We consider it necessary to continue research on the effect of destructive changes in the placental barrier of the fetoplacental complex in pigs on changes in the development of immunobiological reactivity, natural resistance and adaptive characteristics of animals.

Conclusion

The use of established changes in the fetoplacental complex (the presence of de-epithelized structures) based on the principles of histomorphometric analysis of the placenta in animals can be the main focus in the study of the pathogenesis of a number of diseases and will allow to form groups of the most healthy individuals.

The morphological method of predicting the degree of physiological maturity of the offspring of productive animals obtained, in relation to their further growth and development, makes it possible to identify among newborn animals the most suitable for breeding purposes and identify examples with low adaptive potential or reduced viability.

The integrity parameters of the placental wall structure also make it possible to determine productive longevity. At the same time, it becomes possible to prevent the identified changes in the fetoplacental complex during pregnancy, which makes it possible to reduce the mortality of young animals at an early age, improve the quality and increase the quantitative composition of the breeding and production stock.

The use of the proposed criteria for evaluating placental tissue in combination with veterinary and sanitary measures can provide significant economic benefits in pig farming.

Ethics committee conclusion. The study was conducted in accordance with the principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Conflict of interest information. There was no conflict of interest in the field of related scientific research between the teams of authors.

References

1. Shabunin, S. V., Alekhin, Yu. N., & Nezhdanov, A. G. (2015). Perinatal pathology in cattle — an urgent problem of veterinary medicine. *Veterinariya*, (1), 3–10. EDN: <https://elibrary.ru/TKOSGH>
2. Sukhikh, G. T., & Vanko, L. V. (2018). *Immunology of pregnancy*. Moscow: Publishing House of the Russian Academy of Medical Sciences. 400 p.
3. Sudakov, K. V. (2008). Immune mechanisms of systemic activity of the organism: facts and hypotheses. *Immunologiya*, 24(6), 372–381.
4. Petrishchev, N. N. (2023). *Endothelial dysfunction. Causes, mechanisms, pharmacological correction*. Saint Petersburg: Publishing House of Saint Petersburg State Medical University. 184 p.
5. Palieva, N. V., Botasheva, T. L., & Linde, V. A. (2016). Influence of morphofunctional asymmetries of the “motherplacentafetus” system on hemodynamic processes in the uteroplacental complex depending on the nature of metabolism in the female body. *Bulletin of Adygea State University*, (2), 108–114. EDN: <https://elibrary.ru/WLSUWL>
6. Krishtoforova, B. V., & Saenko, N. V. (2018). *Provisional organs and viability of newborn animals: monograph*. Saint Petersburg: Lan Publishing House. 404 p. ISBN: 9785811428168. EDN: <https://elibrary.ru/XQARGP>
7. Ivanova, L. A., & Mozgovaya, E. V. (2013). The role of cytokines in the pathogenesis of gestosis. *Medical Immunology*, 5(3–4), 335.
8. Drozdova, L. I. (2021). *Pathomorphology of the placental barrier in animals: monograph* / Ministry of Agriculture of the Russian Federation;

- Federal State Educational Institution of Higher Education “Ural State Agricultural Academy”. Yekaterinburg: Ural SAA. 245 p.
9. Baimishev, Kh. B., Krishtoforova, B. V., Lemeshchenko, V. V., Khrustaleva, I. V., & Stegney, Zh. G. (2015). *Biological foundations of veterinary neonatology: monograph*. Samara: Publishing and Printing Center of Samara State Agricultural Academy. 452 p.
 10. Ailamazyan, E. K. (2017). *Obstetrics: national guidelines* / Ed. by V. I. Kulakov, V. E. Radzinsky, G. M. Savelyeva. Moscow: GEOTARMedia. 1200 p.
 11. Semchenko, V. V., Barashkova, S. A., Nozdrin, V. I., & Artemyev, V. N. (2006). *Histological technique*. Omsk: Omsk Regional Printing House. 290 p. ISBN: 5873670250. EDN: <https://elibrary.ru/QKOWOD>
 12. Seguel, M., Perez Venegas, D., & Gutierrez, J. (2014). Parasitism elicits a stress response that allocates resources for immune function in South American fur seals (*Arctocephalus australis*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 92, 326–338. <https://doi.org/10.1086/702960>
 13. Karussis, D., & Petrou, P. (2018). Immune reconstitution therapy (IRT) in multiple sclerosis: The rationale. *Immunologic Research*, 66(6), 642–648. <https://doi.org/10.1007/s12026-018-9032-5>. EDN: <https://elibrary.ru/TNHSSQ>
 14. Dai, J., Yang, X., Zhu, Y., & Wang, C. (2017). Immune tolerance induced by decitabine combined with multiple allogeneic bone marrow mononuclear cell infusion. *Cell Therapy Against Cerebral Stroke*, 50, 3797–3803. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2018.05.019>
 15. Karussis, D., & Petrou, P. (2018). Immune reconstitution therapy (IRT) in multiple sclerosis: The rationale. *Immunologic Research*, 66(6), 642–648. <https://doi.org/10.1007/s12026-018-9032-5>. EDN: <https://elibrary.ru/TNHSSQ>
 16. Alvarez Rodriguez, M., Atikuzzaman, M., Venhoranta, H., Wright, D., & Rodriguez Martinez, H. (2019). Expression of immune regulatory genes in the porcine internal genital tract is differentially triggered by spermatozoa and seminal plasma. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(3), 513. <https://doi.org/10.3390/ijms20030513>
 17. Battist, V., Maders, L., Bagatini, M., & Battisti, E. (2013). Ectonucleotide pyrophosphatase/phosphodiesterase (ENPP) and adenosine deaminase (ADA) activities in prostate cancer patients: Influence of Gleason score, treatment and bone metastasis. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 67, 203–208. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2012.12.004>
 18. Kim, V., Pham Huy, A., & Grunebaum, E. (2018). Neutropenia among patients with adenosine deaminase deficiency. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 143, 403–405. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2018.04.029>

19. Overley Adamson, B., & Baez, J. (2016). Chapter 59 — Feline mammary carcinoma. In *August's Consultations in Feline Internal Medicine* (Vol. 7, pp. 578–584). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-22652-3.00059-1>
20. Garden, O., Volk, S., Masson, N., & Perry, J. (2018). Companion animals in comparative oncology: One Medicine in action. *The Veterinary Journal*, 240, 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.08.008>

Список литературы

1. Шабунин, С. В., Алехин, Ю. Н., & Нежданов, А. Г. (2015). Перинатальная патология у крупного рогатого скота — актуальная проблема ветеринарной медицины. *Ветеринария*, (1), 3–10. EDN: <https://elibrary.ru/TKOSGH>
2. Сухих, Г. Т., & Ванько, Л. В. (2018). *Иммунология беременности*. Москва: Издво РАМН. 400 с.
3. Судаков, К. В. (2008). Иммунные механизмы системной деятельности организма: факты и гипотезы. *Иммунология*, 24(6), 372–381.
4. Петрищев, Н. Н. (2023). *Дисфункция эндотелия. Причины, механизмы, фармакологическая коррекция*. СанктПетербург: Издво СПбГМУ. 184 с.
5. Палиева, Н. В., Боташева, Т. Л., & Линде, В. А. (2016). Влияние морфофункциональных асимметрий системы «мать — плацента — плод» на гемодинамические процессы в маточноплацентарном комплексе в зависимости от характера метаболизма в женском организме. *Вестник Адыгейского государственного университета*, (2), 108–114. EDN: <https://elibrary.ru/WLSUWL>
6. Криштофорова, Б. В., & Саенко, Н. В. (2018). *Провизорные органы и жизнеспособность новорождённых животных: монография*. Санкт-Петербург: Издво «Лань». 404 с. ISBN: 9785811428168. EDN: <https://elibrary.ru/XQARGP>
7. Иванова, Л. А., & Мозговая, Е. В. (2013). Роль цитокинов в патогенезе гестоза. *Медицинская иммунология*, 5(3–4), 335.
8. Дроздова, Л. И. (2021). *Патоморфология плацентарного барьера животных: монография* / Мво сельского хозва Российской Федерации; ФГОУ ВО «Уральская гос. с.-х. акад.». Екатеринбург: УрГСХА. 245 с.
9. Баймишев, Х. Б., Криштофорова, Б. В., Лемещенко, В. В., Хрусталёва, И. В., & Стегней, Ж. Г. (2015). *Биологические основы ветеринарной неонатологии: монография*. Самара: РИЦ СГСХА. 452 с.
10. Айламазян, Э. К. (2017). *Акушерство: национальное руководство* / под ред. В. И. Кулакова, В. Е. Радзинского, Г. М. Савельевой. Москва: ГЭОТАРМедиа. 1200 с.

11. Семченко, В. В., Барашкова, С. А., Ноздрин, В. И., & Артемьев, В. Н. (2006). *Гистологическая техника*. Омск: Омская областная типография. 290 с. ISBN: 5873670250. EDN: <https://elibrary.ru/QKOWOD>
12. Seguel, M., PerezVenegas, D., & Gutierrez, J. (2014). Parasitism elicits a stress response that allocates resources for immune function in South American fur seals (*Arctocephalus australis*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 92, 326–338. <https://doi.org/10.1086/702960>
13. Karussis, D., & Petrou, P. (2018). Immune reconstitution therapy (IRT) in multiple sclerosis: The rationale. *Immunologic Research*, 66(6), 642–648. <https://doi.org/10.1007/s12026-018-9032-5>. EDN: <https://elibrary.ru/TNHSSQ>
14. Dai, J., Yang, X., Zhu, Y., & Wang, C. (2017). Immune tolerance induced by decitabine combined with multiple allogeneic bone marrow mononuclear cell infusion. *Cell Therapy Against Cerebral Stroke*, 50, 3797–3803. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2018.05.019>
15. Karussis, D., & Petrou, P. (2018). Immune reconstitution therapy (IRT) in multiple sclerosis: The rationale. *Immunologic Research*, 66(6), 642–648. <https://doi.org/10.1007/s12026-018-9032-5>. EDN: <https://elibrary.ru/TNHSSQ>
16. AlvarezRodriguez, M., Atikuzzaman, M., Venhoranta, H., Wright, D., & RodriguezMartinez, H. (2019). Expression of immune regulatory genes in the porcine internal genital tract is differentially triggered by spermatozoa and seminal plasma. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(3), 513. <https://doi.org/10.3390/ijms20030513>
17. Battist, V., Maders, L., Bagatini, M., & Battisti, E. (2013). Ectonucleotide pyrophosphatase/phosphodiesterase (ENPP) and adenosine deaminase (ADA) activities in prostate cancer patients: Influence of Gleason score, treatment and bone metastasis. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 67, 203–208. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2012.12.004>
18. Kim, V., PhamHuy, A., & Grunebaum, E. (2018). Neutropenia among patients with adenosine deaminase deficiency. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 143, 403–405. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2018.04.029>
19. OverleyAdamson, B., & Baez, J. (2016). Chapter 59 — Feline mammary carcinoma. In *August's Consultations in Feline Internal Medicine* (Vol. 7, pp. 578–584). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-22652-3.00059-1>
20. Garden, O., Volk, S., Masson, N., & Perry, J. (2018). Companion animals in comparative oncology: One Medicine in action. *The Veterinary Journal*, 240, 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.08.008>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander V. Agarkov: development of the concept of scientific work, editing the draft of the manuscript, writing the manuscript.

Nikolay V. Agarkov: development of the concept of scientific work, drafting of the manuscript.

Roman A. Tsyganskiy: statistical processing.

Natalia A. Pisarenko: data collection and analysis.

Nikolay V. Belugin: data collection and analysis.

All the authors have made an equivalent contribution to the preparation of the article for publication.

ВКЛАД АВТОРОВ

Агарков А.В.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Агарков Н.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Цыганский Р.А.: статистическая обработка.

Писаренко Н.А.: сбор и анализ данных.

Белугин Н.В.: сбор и анализ данных.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Agarkov, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Therapy and Pharmacology, Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology

Stavropol State Agrarian University

12, Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355035, Russian Federation

SPIN-code: 2445-7271

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7496-6797>

Scopus Author ID: 57188716230

Nikolay V. Agarkov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Parasitology and Veterinary Medicine, Anatomy and Pathanatomy, Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology
Stavropol State Agrarian University

12, Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355035, Russian Federation

SPIN-code: 2663-9704

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8679-8655>

Scopus Author ID: 57214116133

Roman A. Tsyganskiy, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology
Stavropol State Agrarian University
12, Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355035, Russian Federation
fvmstgau@mail.ru
SPIN-code: 8714-5675
Scopus Author ID: 57188728055

Nikolay V. Belugin, Candidate of Veterinary Sciences, Professor of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology
Stavropol State Agrarian University
12, Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355035, Russian Federation
fvm-fvm@mail.ru
SPIN-code: 8634-7797
Scopus Author ID: 57192083276

Natalia A. Pisarenko, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology
Stavropol State Agrarian University
12, Zootekhnicheskoy Lane, Stavropol, 355035, Russian Federation
fvmstgau@yandex.ru
SPIN-code: 4177-0760
Scopus Author ID: 57192086996

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Агарков Александр Викторович, доктор биологических наук, профессор кафедры терапии и фармакологии, Институт ветеринарии и биотехнологий
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355035, Российская Федерация
agarkov_a.v@mail.ru

Агарков Николай Викторович, кандидат биологических наук, доцент кафедры паразитологии и ветсанэкспертизы, анатомии и патанатомии, Институт ветеринарии и биотехнологий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355035, Российская Федерация
agarkov_n.v@mail.ru

Цыганский Роман Александрович, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, хирургии и акушерства, Институт ветеринарии и биотехнологий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355035, Российская Федерация
fvmstgau@mail.ru

Белугин Николай Васильевич, кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры физиологии, хирургии и акушерства, Институт ветеринарии и биотехнологий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355035, Российская Федерация
fvm-fvm@mail.ru

Писаренко Наталья Александровна, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры физиологии, хирургии и акушерства, Институт ветеринарии и биотехнологий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355035, Российская Федерация
fvmstgau@yandex.ru

Поступила 10.02.2025

После рецензирования 02.04.2025

Принята 25.04.2025

Received 10.02.2025

Revised 02.04.2025

Accepted 25.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290

EDN: LPRNHK

УДК 36.4:636.087.69



Научная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЛЕАЛЬНОЙ ПЕРЕВАРИМОСТИ МУКИ ИЗ ЛИЧИНКИ *HERMETIA ILLUCENS*, РЫБНОЙ МУКИ И СТАНДАРТНОГО НИЗКОПРОТЕИНОВОГО РАЦИОНА

*К.С. Остренко, Р.В. Некрасов, Н.В. Боголюбова, И.В. Кутыин,
А.И. Бутенко, К.С. Кольцов, Ю.А. Волченков*

Аннотация

Обоснование. Интенсивному развитию животноводства требуются в достаточном количестве эффективные, сбалансированные корма. Идеальным белковым компонентом корма является рыбная мука, но себестоимость качественной рыбной муки и объемы производства ее недостаточны. Наиболее перспективным для покрытия дефицита белка и создания устойчивости системы обеспечения кормами является массовое производство инсектопротеина на основе личинки *Hermetia illucens*.

Цель исследования – изучить показатели кажущейся и истинной илеальной переваримости, усвояемости личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*) в сравнительном аспекте с рыбной мукой на поросятах в период доращивания.

Материалы и методы. Из массива помесных боровков (♂ дюрок х ♀ ланд-рас) в период доращивания отобрали 10 особей живой массой 27-35 кг в возрасте 97-105 дней. Для проведения физиологического опыта было сформировано три группы поросят по три головы в каждой, по принципу пар-аналогов. Животным контрольной группы скармливали комбикорм с низким содержанием протеина, 1-й опытной группе задавали аналогичный комбикорм с добавлением 3% муки из личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*), во 2-й опытной группе поросята получали стандартный низкопротеиновый комбикорм с добавлением 3% рыбной муки. В рамках физиологического опыта проводили оценку переваримости и усвояемости опытных рационов на оперированных поросятах (имплантации Т-образной канюли в подвздошный отдел кишечника).

Результаты. При установлении параметров кажущейся илеальной переваримости (КИП) были получены данные, что переваримость сырого протеина в

контрольной группе находилась в пределах 74,8%, а незаменимых аминокислот от 71,6 до 89,3%, соответственно. При вводе муки из личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens*) переваримость сырого протеина повысилась до 78,1%, что превышает показатели по стандартному рациону на 4,7%, также наблюдалось повышение переваримости большинства аминокислот: аспартата – 93,3%; глутамин – 87,8; гистидина – 92,1; серин – 87,4; аргинина – 93,4; глицина – 90,5; треонина – 89,1; аланина – 92,6; пролина – 90,1; лейцин + изолейцин – 92,4; фенилаланина – 88,5; лизина – 93,4; триптофана – 90,2. Данные показатели превышают аналогичные показатели переваримости в контрольной группе и при использовании рыбной муки. Истинная илеальная переваримости сырого протеина в рыбной муке составляла 89,0%, а аминокислот – лизина, треонина, лейцина, гистидина и других незаменимых аминокислот находилась на высоком уровне для высокопротеиновых добавок и составляла от 81,6 до 90,7%.

Заключение. Исследования по изучению основных показателей переваримости нового алиментарного фактора как мука из личинки черной львинки показали высокое содержание протеина и доступность аминокислот. Структура белка соответствует животному протеину, что позволяет рассматривать *Hermetia illucens* в качестве потенциального источника полноценного фактора питания свиней.

Ключевые слова: свиньи; чёрная львинка; илеальная переваримость; рыбная мука; аминокислоты

Для цитирования. Остренко, К. С., Некрасов, Р. В., Боголюбова, Н. В., Кутын, И. В., Бутенко, А. И., Кольцов, К. С., & Волченков, Ю. А. (2025). Определение илеальной переваримости муки из личинки *Hermetia illucens*, рыбной муки и стандартного низкопротеинового рациона. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 28-57. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290>

Original article

DETERMINATION OF ILEAL DIGESTIBILITY OF *HERMETIA ILLUCENS* LARVAE MEAL, FISH MEAL AND STANDARD LOW-PROTEIN RATION

K.S. Ostrenko, R.V. Nekrasov, N.V. Bogolyubova, I.V. Kutyn,
A.I. Butenko, K.S. Koltsov, Y.A. Volchenkov

Abstract

Background. Intensive development of livestock requires sufficient quantities of efficient, balanced feed. The ideal protein component of fodder is fish meal, but

the cost of quality fish meal and its production volumes are insufficient. Mass production of insectoprotein based on *Hermetia illucens* larvae is the most promising for covering the protein deficit and creating sustainability of the feed supply system.

Purpose. The aim of the study was to investigate the indices of apparent and true ileal digestibility and digestibility of the black lion grub (lat. *Hermetia illucens*) in comparative aspect with fish meal on piglets during the period of growing up.

Materials and methods. From an array of crossbred hogs (♂ Duroc x ♀ Landrace) 10 live weight 27-35 kg at the age of 97-105 days were selected during the growing-up period. For the physiological experiment three groups of piglets were formed with three heads in each group, according to the principle of pair-analogs. The animals of the control group were fed with low protein feed, the 1st experimental group was fed with similar feed with addition of 3% meal from black soldier fly (*Hermetia illucens*), in the 2nd experimental group piglets received standard low protein feed with addition of 3% fish meal. As part of the physiological experiment, the digestibility and digestibility of experimental diets were evaluated on operated piglets (implantation of a T-shaped cannula into the ileum).

Results. In establishing the parameters of apparent ileal digestibility (AID), data were obtained that the digestibility of crude protein in the control group was within 74.8% and of essential amino acids from 71.6 to 89.3%, respectively. When meal from black soldier fly (*Hermetia illucens*) was introduced, the digestibility of crude protein increased to 78.1%, which is 4.7% higher than in the standard diet, and there was also an increase in the digestibility of most amino acids: aspartate - 93.3%; glutamine - 87.8; histidine - 92.1; serine - 87.4; arginine - 93.4; glycine - 90.5; threonine - 89.1; alanine - 92.6; proline - 90.1; leucine + isoleucine - 92.4; phenylalanine - 88.5; lysine - 93.4; tryptophan - 90.2. These values are higher than similar digestibility values in the control group and when fish meal was used. True ileal digestibility of crude protein in fish meal was 89.0%, and amino acids - lysine, threonine, leucine, histidine and other essential amino acids were at a high level for high-protein supplements and ranged from 81.6 to 90.7%.

Conclusion. Thus, studies on the main indices of digestibility of a new alimentary factor as flour from meal from black soldier fly showed high protein content and availability of amino acids. The structure of protein corresponds to animal protein, which allows us to consider *Hermetia illucens* as a potential source of a complete nutritional factor for pigs.

Keywords: pigs; black soldier fly; ileal digestibility; fish meal; amino acids

For citation. Ostrenko, K. S., Nekrasov, R. V., Bogolyubova, N. V., Kutvin, I. V., Butenko, A. I., Koltsov, K. S., & Volchenkov, Y. A. (2025). Determination of ileal digestibility of *Hermetia illucens* larvae meal, fish meal and standard low-protein ration. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 28-57. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1290>

Введение

Сбалансированное кормление животных и птиц является одним из ключевых факторов интенсивной и высокорентабельной технологии получения продукции в сельском хозяйстве [5]. Баланс кормов в первую очередь должен осуществляться по протеино-жировому соотношению, и также включает в себя уровень различной (растворимой и нерастворимой) клетчатки, различных нутриенты (макро- и микроэлементы, витамины). Одним из алиментарных факторов позволяющих нормировать аминокислотный состав в рационе является белок животного происхождения [7]. Идеальным белковым компонентом корма является рыбная мука, но себестоимость качественной рыбной муки и объемы недостаточны, чтоб обеспечить такую все отрасли, в том числе свиноводства, тем более требуются особые условия хранения данного продукта. Белковые продукты растительного происхождения из-за своего особенного аминокислотного состава и ферментативного аппарата моногастричных животных не могут в полной мере обеспечивать интенсивный обмен веществ и является полноценными кормовыми факторами [12]. Одновременно с этим наблюдается нарастающий дефицит белковых кормовых ресурсов, который в Российской Федерации уже превышает 2 млн тонн в год, а в глобальном масштабе достигает более 30 млн тонн ежегодно. Частичное решение данной проблемы обеспечивается посредством производства кормовых дрожжей, выращиваемых на основе растительного сырья и спиртовой барды, а также путем вовлечения в кормовые рационы отрубей и иных побочных продуктов перерабатывающей промышленности и аграрного сектора [13]. С учетом сложившейся ситуации использование традиционных кормов не позволяет заложить основу для интенсивного роста животных и создать кормовую базу обеспечивающую продовольственную безопасность страны и высокую конкурентоспособность. Одним из перспективных нетрадиционных кормовых факторов покрытия недостатка протеина является массовое производство инсектопротеина, особенно из личинки *чёрной львинки* (лат. *Hermetia illucens*) как доступного кормового сырья. Изучение пищевой ценности биомассы личинок продемонстрировало высокое содержание белка и жира - 39 и 38%, соответственно, тогда как на долю золы, пищевых волокон и углеводов приходилось менее 20% [14].

Ключевым фактором в балансе протеина является оптимальное соотношение легкоусвояемого протеина и обменной энергией [16]. Помимо высокой доли общего протеина в рационе необходимо такое соотношение

аминокислот в этом белке, которое позволит использовать данные структурные компоненты для интенсивного роста и развития с минимальными потерями обменной энергией. Данное соотношение необходимо поддерживать в оптимуме, иначе может превзойти обратное отклонение – избыток энергии и отсутствие необходимых аминокислот. Избыток энергии превращается в жировую массу, что сразу негативно влияет на категорию туши. Поэтому подбор белкового компонента в рационе играет одну из главенствующих ролей при откорме свиней.

Применение муки из личинки чёрной львинки (лат. *Hermetia illucens*), с высоким процентным содержанием незаменимых аминокислот, позволять регулировать основной рацион по общему белку и аминокислотному составу [18; 19]. При применении технологии «пусто-занято» в кормлении свиней нетрадиционные высокопротеиновые кормовые добавки занимают ведущие роли [7; 15].

Для определения эффективности применения новых кормовых продуктов используется особый тип физиологического исследования – исследование на животных с наложением фистул [2; 3].

Исследования показывают, что для оценки усвоения белка и всасывания аминокислот более точны илеальные показатели переваримости, а не фекальные [8]. Величины илеальной переваримости различаются не только между разными кормами, но и у одного и того же корма, что может быть связано с особенностями его подготовки и переработки [10; 11].

Термин «илеальный метод» обусловлен исследованиями физиологии питания моногастрических животных, которые показали, что переваривание кормового белка и эффективное всасывание аминокислот завершаются в дистальном отделе подвздошной кишки, непосредственно перед её переходом в слепую кишку [1]. В связи с этим наиболее объективным подходом к оценке доступности аминокислот является анализ их содержания в подвздошной кишке (СПК) на расстоянии 7–15 см от илеоцекального сфинктера. Этот метод позволяет исключить возможные искажения, обусловленные метаболической активностью микрофлоры толстого кишечника, которые могут влиять на результаты, полученные при традиционной оценке показателей переваримости при фекальном методе [1; 8].

Цель исследования – изучить показатели кажущейся и истинной илеальной переваримости, усвояемости личинки чёрной львинки (лат. *Hermetia illucens*) в сравнительном аспекте с рыбной мукой на поросё-

тах в период дорастивания при имплантации т-образной канюли в подвздошную кишку.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП - филиала ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени ак. Л.К. Эрнста». Поголовье – 10 голов помесных боровков (F-1(♂ дюрок х ♀ ландрас) в период откорма с начальной живой массой 27-35 кг в возрасте 97-105 дней, приобретенных в ООО «ЭКО ФЕРМА «Климовская»» Калужская обл., Боровский район, дер. Климовское. Для проведения физиологического опыта было сформировано три группы поросят по три головы в каждой, по принципу пар-аналогов.

Разработан общий план опыта, схема которого представлена в табл. 1.

Таблица 1.

Схема проведения физиологических исследований

Группа	Голов в группе	Характеристика кормления
Предварительный период 7 дней		
контрольная	3	Низкопротеиновый комбикорм (СР)
1-опытная	3	СР + 3% муки из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)
2-опытная	3	СР + 3% рыбной муки.
Учетный период балансового опыта – 3 дней		
контрольная	3	Низкопротеиновый комбикорм (СР)
1- опытная	3	СР + 3% муки из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)
2 -опытная	3	СР+ 3% рыбной муки.

В контрольной группе использовали низкопротеиновый рацион.

Животным контрольной группы скармливали комбикорм с низким содержанием протеина, 1-й опытной группе задавали аналогичный комбикорм с добавлением 3% муки из личинки чёрной львинки (лат. *Hermetia illucens*), в 2-й опытной группе поросята получали стандартный низкопротеиновый комбикорм с добавлением 3% рыбной муки.

Состав и питательность опытных партий комбикормов оценены, и результаты представлены в табл. 2.

Основной рацион и условия содержания всех групп животных (температурный, влажностный световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) были одинаковы и в пределах зоогигиенических норм.

Таблица 2.

Состав и питательность опытных партий комбикормов

Компонент, %	Рецепт комбикорма		
	№1	№2	№3
Пшеница	25,000	25,000	25,000
Отруби пшеничные	20,860	20,860	20,860
Ячмень	20,000	20,000	20,000
Кукуруза	13,000	13,000	13,000
Жмых подсолнечный	15,000	15,000	15,000
Дрожжи кормовые	3,000	3,000	3,000
Соль поваренная	0,420	0,420	0,420
Монокальцийфосфат	0,220	0,220	0,220
Известняковая мука	1,300	1,300	1,300
Премикс КС-4	1,000	1,000	1,000
Монохлоргидрат лизина	0,200	0,200	0,200
Оксид хрома(III), Cr_2O_3	+	+	+
Мука из личинки чёрной львинки (<i>lat. Hermetia illucens</i>)	-	+	-
Рыбная мука	-	-	+
ИТОГО	100,0	100,0	100,0
В 1 кг содержится:			
сырого протеина, г	163,5	181,4	181,9

Дополнительно включено: +3% от рациона муки из личинки Чёрной львинки (*lat. Hermetia illucens*), +3 % от рациона рыбной муки.

В условиях лаборатории института были проведены хирургические манипуляции по имплантации Т-образной канюли в подвздошную кишку поросятах (ландрас × дюрок) в количестве 9 голов в возрасте 4,0 месяцев. Т-образные канюли были изготовлены на 3D принтер Picaso Designer XL S2 с использованием пластика для медицинского применения TPU Total Pro CF-5 черный. Т – образная канюля представлена на рис. 1.

Для обеспечения положительного исхода при хирургическом вмешательстве нарушения целостности подвздошной кишки по имплантации Т-образной канюли [1], поросят выдерживали на голодной диете с последующим введением смеси золетил 100 – 6,6 мг//кг + ксилазин 2%-ый – 1,8 мг/кг внутримышечно.

Для оценки усвояемости аминокислот в тонком кишечнике проводили физиологические опыты на оперированных поросятах. В течение семи суток животных кормили опытными комбикормами без сбора содержимого илеума, а затем в течение трех суток осуществляли его сбор. Корма слегка

увлажняли, фиксировали их потребление. Животных кормили дважды в сутки, а воду предоставляли в объеме 3 литров на голову в сутки.



Рис. 1. Т-образная канюля для имплантации в подвздошный отдел кишечника

Процесс имплантации Т-образной канюли представлены на рисунках 2.

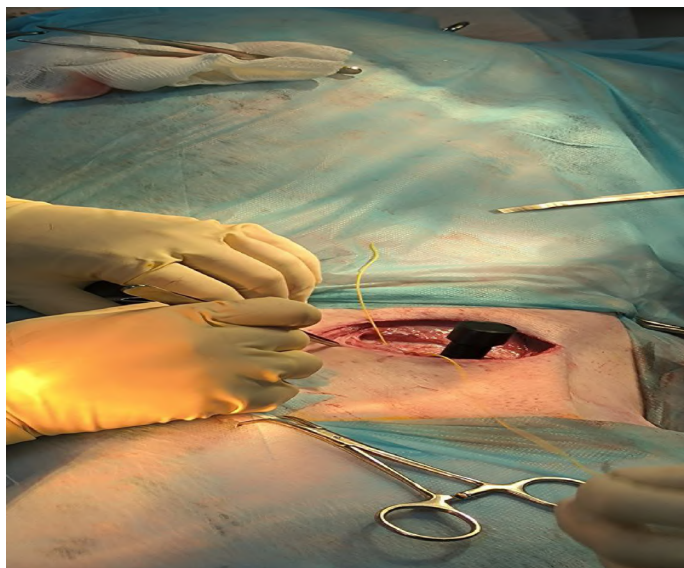


Рис. 2. Имплантация Т-образной канюли в подвздошный отдел тонкого кишечника свиньи

Илеальное содержимое отбирали в резиновые контейнеры, прикрепленные к фистуле. Содержимое илеума хранили в морозильной камере при $-15 - 20^{\circ}\text{C}$. В последующем образцы объединяли, гомогенизировали и отбирали для исследования аликвоты содержимого. В связи с тем, что переваримость сырого протеина изучалась илеальным традиционным методами (с применением инертного маркера – 0,5% (Оксид хрома (III), Cr_2O_3), входящего в состав всех опытных рационов), в учётный период проводили отбор пятипроцентных аликвот содержимого подвздошной кишки (СПК) и кала [9]. Свиньи с установленной канюлей и резиновыми мешочками для отбора химуса представлены на рисунке 3 и 4.



Рис. 3. Прооперированное животное в балансовой клетке с установленной канюлей и резиновым мешочком для сбора химуса

Для определения переваримости (доступность к всасыванию) аминокислот производили количественный учёт содержимого нижнего участка подвздошной кишки и анализ аминокислотного состава белков содержимого, а расчёт показателей кажущейся фекальной (КФП) и илеальной переваримости (КИП) (доступность к всасыванию), (без учёта эндогенных потерь) проводили по формулам [9].



Рис. 4. Прооперированное животное в загоне в предбалансовый период

Кажущуюся фекальную (КФП) и илеальную переваримость (КИП) определяли путем вычитания из общего количества аминокислоты, попавшей в организм с кормом, того количества аминокислоты, которое было обнаружено в содержимом подвздошной кишки: по формуле:

$$\text{КФП} = [(АК - АПК)/АК] \times 100$$

и

$$\text{КИП} = [(АК - АПК)/АК] \times 100,$$

где КФП – кажущаяся переваримость аминокислоты в %; АК – количество аминокислоты в потреблённом корме; АПК – количество аминокислоты в кале или СПК,

с инертным метчиком:

$$X = 100 - [100 \times (A \times C)/(B \times D)],$$

где X – кажущаяся переваримость аминокислоты в %; A – концентрация инертного метчика в корме; B – концентрация инертного метчика в СПК или кале; C – концентрация исследуемой аминокислоты в СПК или кале; D – концентрация исследуемой аминокислоты в корме.

Истинная илеальная переваримость (ИИП) показывает, какая часть аминокислот корма усвоилась в желудочно-кишечном тракте, при этом учитываются и эндогенные потери аминокислот. Расчёт истинной илеальной переваримости (доступности) осуществляли по формуле:

$$\text{ИИП} = АК - (АПК - АОВ)/АК \times 100,$$

где ИИП – истинная илеальная переваримость аминокислоты в %; АК – количество аминокислоты в потреблённом корме; АПК – количество аминокислоты в СПК; АОБ – количество эндогенной (обменной) аминокислоты, выделенной в СПК на низкобелковом рационе [9].

В кормах, химусе и кале определяли содержание сухого вещества, сырого протеина по азоту – по Кьельдалю на приборе Кьельтек (Velp, Италия), общие аминокислоты – методом капиллярного электрофореза на приборе Капель 105 М (Люмикс, Россия), в соответствии с методикой для определения свободных аминокислот в кормах.

По завершении периода скормливания проведен балансовый опыт по изучению переваримости (доступность к всасыванию) питательных веществ комбикорма, использования азота, фосфора и протеина по общепринятой методике.

Для определения влияния вариантов испытываемой кормовой добавки на поедаемость кормов проводился ежедневный индивидуальный учет задаваемых кормов и их остатков на протяжении всего учетного периода. После окончания опыта средние пробы кормов, кала и мочи были подвергнуты химическому анализу в лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии ВНИИФБиП по общепринятым методикам.

Высушиванием образцов при температуре 60–70°C до постоянной массы определяли первоначальную влагу, высушиванием при температуре 100–105°C – гигроскопическую.

В пробах образцов в воздушно-сухом состоянии определяли содержание:

- сырой золы – сжиганием навески в муфельной печи при температуре 600-700°C;
- общего азота – методом Кьельдаля;
- содержание сырого протеина – путем умножения процентного содержания азота на коэффициент 6,25;

Полученные экспериментальные данные обрабатывали биометрически с использованием одно- и двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе STATISTICA 13 («StatSoft, Inc.», США). Вычисляли среднеарифметические значения (M), ошибку средней (m), среднеквадратическую ошибку ($\pm$ SEM) и уровень значимости (p).

Результаты исследования

Прием корма стимулирует работу пищеварительных желез через нервные, гормональные, химические и механические механизмы. В процессе переваривания в желудочно-кишечный тракт выделяются раз-

личные азотсодержащие соединения, включая аминокислоты, пептиды и белки.

Исследование *in vitro* показали, что содержание сырого протеина в муке из личинки чёрной львинки находилось на уровне 58,6%. В рыбной муке данный показатель находился на уровне 60,3%. Данные по аминокислотному составу проценту сырого протеина представлены в таблице 3. Содержание общих незаменимых аминокислот в муке из личинки чёрной львинки (*лат. Hermetia illucens*) и рыбной муке, колеблется в пределах: лизина – 1,3–4,8, треонина – 1,05–2,4, метионина – 0,53–2,0, лейцина – 0,34–6,6, валина – 1,50–2,9, гистидина – 1,1–9,7, фенилаланина – 0,75–2,3 и аргинина – 2,3–3,3%.

Таблица 3.

**Массовая доля сырого протеина и общих аминокислот
в белковых продуктах (%)**

Показатели	Мука из личинки чёрной львинки (<i>лат. Hermetia illucens</i>)	Рыбная мука
Сырой протеин	58,6	60,3
Аспарагиновая кислота	3,54	4,7
Глутаминовая кислота + глутамин	5,28	8,2
Гистидин	9,70	1,1
Серин	0,66	2,9
Аргинин	2,33	3,3
Глицин	1,22	5,2
Треонин	1,05	2,4
Аланин	1,45	3,8
Тирозин	1,12	1,8
Валин	1,50	2,9
Пролин	1,29	3,3
Лейцин + Изолейцин	0,34	6,6
Фенилаланин	0,75	2,3
Лизин	1,30	4,8
Метионин	0,53	2,0
Цистин + Цистеин	0,43	0,6
Триптофан	4,23	0,6

При определении кажущейся илеальной переваримости (КИП) было установлено, что переваримость сырого протеина низкопротеиновом рационе в контрольной группе составляла 74,8%, а переваримость аминокислот варьировала от 71,6% до 89,3% (табл. 4).

При вводе муки из личинки чёрной львинки (*Hermetia illucens*) переваримость сырого протеина повысилась до 78,1%, что превышает показатели по стандартному рациону на 4,7%, также наблюдалось повышение переваримости большинства аминокислот от 87,8 до 94,1%. В тонком кишечнике всасывание лизина, треонина, метионина+цистина, лейцина, валина и гистидина было значительно выше при использовании муки из личинок чёрной львинки по сравнению рационом в контрольной группе.

Добавление в рацион рыбной муки также способствовало повышению доступности и всасывания аминокислот. При этом показатели кажущейся илеальной переваримости (КИП) сырого протеина достигали 89,0 %, а аминокислот — 81,6 – 90,7 % по сравнению с соответствующими показателями в контрольной группе.

Таблица 4.

Показатели кажущейся илеальной переваримости (КИП) сырого протеина и аминокислот в кормах, г/кг корма и % (M±m, n=3)

Аминокислоты	контрольная группа			1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	КИП**	г/кг	%	КИП**	г/кг	%	КИП**
Сырой протеин	163,08	74,8	122,2±13,1	181,4	90,1	163,4±18,7**	181,9	89,0	161,9±19,4*
Аспарагиновая кислота	4,6	71,6	3,3±0,5	5,7	93,3	5,3±0,4*	6,0	85,2	5,1±0,6*
Глутаминовая кислота + Глутамин	3,7	76,7	2,8±0,7	5,3	87,8	4,7±0,7*	6,2	82,2	5,1±0,5*
Гистидин	11,6	75,2	8,7±0,9	14,5	92,1	13,4±0,7*	11,9	86,7	10,3±0,9
Серин	2,1	73,1	1,5±0,1	2,3	87,4	2,0±0,2	3,0	81,6	2,4±0,2*
Аргинин	23,1	79,2	18,3±1,4	23,8	93,4	22,2±2,1*	24,1	88,1	21,2±2,5*
Глицин	4,2	80,5	3,4±0,3	4,6	90,5	4,2±0,7	5,8	87	5,0±0,5*
Треонин	5,1	77,5	4,0±0,6	5,4	89,1	4,8±0,5	5,8	85,4	5,0±0,5
Аланин	2,6	78,5	2,0±0,1	3,0	92,6	2,8±0,1*	3,7	87,4	3,2±0,5*
Тирозин	1,4	80,1	1,1±0,5	1,7	87,2	1,5±0,3	1,9	88,5	1,7±0,6
Валин	8,0	80,6	6,4±0,4	8,5	92,1	7,8±0,6	8,9	90,0	8,0±0,8
Пролин	5,4	79,2	4,3±0,3	5,8	90,1	5,2±0,4	6,4	88,4	5,7±1,0
Лейцин + Изолейцин	14,1	84,1	11,9±0,2	14,2	92,4	13,1±0,8	16,1	90,2	14,5±0,6
Фенилаланин	13,9	76,8	10,7±0,2	14,1	88,5	12,5±0,4*	14,6	88,1	12,9±0,6*
Лизин	8,7	84,2	7,3±0,9	9,1	93,4	8,5±0,4	10,2	90,7	9,3±0,8
Метионин	2,7	89,3	2,4±0,1	2,9	94,1	2,7±0,1	3,3	89,4	3,0±0,1*
Цистин + Цистеин	3,3	85,7	2,8±0,1	3,4	92,3	3,1±0,2	3,5	89,2	3,1±0,1
Триптофан	23,4	83,1	19,4±1,9	24,7	90,2	22,3±1,6	23,6	86,4	20,4±0,9

Различия достоверны: * - $p < 0,05$ соответственно, по сравнению с контролем, **содержание доступных аминокислот, г /кг корма

По результатам исследования были получены данные определяющие содержание экзогенных аминокислот в подвздошном отделе тонкого кишечника, что позволило нам определить показатели истинной илилеальной переваримости исследуемых алиментарных факторов. Данные представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Показатели истинной илеальной переваримости (ИИП) сырого протеина и аминокислот в рационах на основе муки черной львинки и рыбной муки г/кг корма и % ($M \pm m$, $n=3$)

Аминокислоты	1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	ИИП*	г/кг	%	ИИП*
Сырой протеин	586	90,3	529,2 $\pm$ 27,3	603	89	536,7 $\pm$ 56,1
Аспарагиновая кислота	35,4	93,3	33,0 $\pm$ 4,2	47	85,2	40,0 $\pm$ 6,2
Глутаминовая кислота + Глутамин	52,8	87,8	46,4 $\pm$ 8,4	82	82,2	67,4 $\pm$ 12,1
Гистидин	9,7	92,1	8,9 $\pm$ 2,3	11	86,7	9,5 $\pm$ 1,9
Серин	6,6	87,4	5,8 $\pm$ 0,8	9,2	81,6	7,5 $\pm$ 1,6
Аргинин	23,3	93,7	21,8 $\pm$ 6,4	33,1	88,1	29,2 $\pm$ 7,3
Глицин	12,2	90,5	11,0 $\pm$ 1,6	52,1	87,0	45,3 $\pm$ 6,2
Треонин	10,5	90,8	9,5 $\pm$ 3,4	24,1	85,4	20,6 $\pm$ 1,5
Аланин	14,5	92,6	13,4 $\pm$ 3,1	38,3	87,4	33,5 $\pm$ 3,6
Тирозин	11,2	87,2	9,8 $\pm$ 2,6	18	88,5	15,9 $\pm$ 3,1
Валин	15	87,9	13,2 $\pm$ 3,5	29,6	90	26,6 $\pm$ 6,2
Пролин	12,9	90,1	11,6 $\pm$ 2,9	33	88,4	29,2 $\pm$ 3,9
Лейцин + Изолейцин	3,4	95,1	3,2 $\pm$ 0,7	66,1	90,2	59,6 $\pm$ 9,3
Фенилаланин	7,5	89,0	6,7 $\pm$ 0,5	23,2	88,1	20,4 $\pm$ 0,9
Лизин	13	92,7	12,1 $\pm$ 0,7	48,7	90,7	44,2 $\pm$ 8,7
Метионин	5,3	89,0	4,7 $\pm$ 0,7	20,1	89,4	18,0 $\pm$ 2,4
Цистин + Цистеин	4,3	83,7	3,6 $\pm$ 0,5	6,4	89,2	5,7 $\pm$ 0,6
Триптофан	42,3	90,2	38,2 $\pm$ 3,5	6,2	86,4	5,4 $\pm$ 0,9

*содержание доступных аминокислот, г /кг корма

Истинная илеальная доступность белка и аминокислот муки из личинки чёрной львинки составила (%): для сырого протеина – 90,3; аспартата – 93,3%; глутамин – 87,8; гистидина – 92,1; серин – 87,4; аргинина – 93,7; глицина – 90,5; треонина – 90,8; аланина – 92,6; пролина – 90,1; лейцин + изолейцин – 95,1; фенилаланина – 89,0; лизина – 92,7; триптофан – 90,2. Данные показатели превышают аналогичные показатели переваримости

в контрольной группе и при использовании рыбной муки. Истинная или-альная переваримости сырого протеина в рыбной муке составляла 89,7%, а аминокислот – лизина, треонина, лейцина, гистидина и других незаменимых аминокислот находилась на высоком уровне для высокопротеиновых добавок и составляла от 80 до 91%.

Результаты исследования по определению косвенной (кажущейся) фекальной переваримости (КФП) муки из личинки *чёрной львинки* и рыбной муки показал, обе высокопротеиновые добавки содержат основной пул незаменимых аминокислот, принимающих непосредственное участие в метаболизме растущих свиней, но также было зафиксирован отличительный состав по аминокислотному составу. Данные представлены в таблице 6. Кажущаяся переваримость в опытной и контрольной группе существенно отличалась. В опытных группах, переваримость была выше, но наибольшая переваримость была в группе где применялась кормовая добавка в виде муки из черной львинки на 5,7% по сырому протеину и аналогично по всему пулу определяемых аминокислот. Аналогичная тенденция наблюдалась и в группе где применялась рыбная мука, но в переваримость по сырому протеину была выше в 1 опытной группе на 1,2% относительно второй опытной группы. Представленные данные позволяют комплексно оценить высокую кормовую и энергетическую значимость муки из личинок черной львинки.

Таблица 6.

Кажущаяся фекальная переваримость сырого протеина и аминокислот в кормах, г/кг корма и %, ($M \pm m$, $n=3$)

Аминокислоты	контрольная группа			1 опытная группа			2 опытная группа		
	г/кг	%	КФП**	г/кг	%	КФП*	г/кг	%	КФП**
Сырой протеин	163,1	77,5	126,4 $\pm$ 11,3	181,4	83,2	150,9 $\pm$ 6,8	181,9	82,0	149,2 $\pm$ 8,1*
Аспарагиновая кислота	4,6	75,2	3,5 $\pm$ 0,5	5,7	85,7	4,9 $\pm$ 0,3*	6,0	83,1	5,0 $\pm$ 0,4*
Глутаминовая кислота + Глутамин	3,7	78,2	2,9 $\pm$ 0,3	5,3	84,7	4,5 $\pm$ 0,8	6,2	78,1	4,8 $\pm$ 0,6*
Гистидин	11,6	79,2	9,2 $\pm$ 0,8	14,5	83,2	12,1 $\pm$ 0,5*	11,9	83,1	9,9 $\pm$ 0,9
Серин	2,1	76,5	1,6 $\pm$ 0,3	2,3	81,7	1,9 $\pm$ 0,6	3,0	80,1	2,4 $\pm$ 0,2
Аргинин	23,1	72,2	16,7 $\pm$ 1,2	23,8	87,9	20,9 $\pm$ 0,4*	24,1	85,5	20,6 $\pm$ 1,3
Глицин	4,2	78,7	3,3 $\pm$ 0,5	4,6	86,7	4,0 $\pm$ 0,6	5,8	83,6	4,8 $\pm$ 0,8*
Треонин	5,1	75,2	3,8 $\pm$ 0,3	5,4	83,2	4,5 $\pm$ 0,8	5,8	82,2	4,8 $\pm$ 0,7

Аланин	2,6	71,6	1,9±0,2	3,0	84,6	2,5±0,5	3,7	84,0	3,1±0,4*
Тирозин	1,4	72,7	1,0±0,4	1,7	87	1,5±0,6	1,9	86,4	1,6±0,3
Валин	8,0	73,2	5,9±0,3	8,5	88,2	7,5±0,5*	8,9	86,3	7,7±0,9
Пролин	5,4	79,0	4,3±0,8	5,8	90,1	5,2±0,7	6,4	88,4	5,7±0,8
Лейцин + Изолейцин	14,1	74,1	10,4±0,4	14,2	92,4	13,1±0,6*	16,1	90,2	14,5±0,7*
Фенилаланин	13,9	76,8	10,7±0,6	14,1	88,5	12,5±1,2	14,6	88,1	12,9±1,2
Лизин	8,7	74,2	6,5±0,5	9,1	93,4	8,5±0,3*	10,2	90,7	9,3±1,0*
Метионин	2,7	79,3	2,1±0,3	2,9	94,1	2,7±0,6	3,3	89,4	3,0±0,6
Цистин + Цистеин	3,3	75,7	2,5±0,1	3,4	92,3	3,1±0,5	3,5	89,2	3,1±0,5
Триптофан	23,4	73,1	17,1±1,2	24,7	90,2	22,3±0,9*	23,6	86,4	20,4±0,7*

Различия достоверны: * - $p < 0,05$ соответственно, по сравнению с контролем, **содержание доступных аминокислот, г /кг корма, **Содержание в г/кг доступных аминокислот

В сравнительном аспекте илеальная переваримость позволяет с более высокой долей оценить истинную способность пищеварительной системы использовать протеиновый компонент корма из личинки чёрной львинки.

Обсуждение

Интенсивное использование *Hermetia illucens* обусловлено высоким содержанием белка и доказанной кормовой ценностью его протеина [21–24]. Однако в научной литературе вопросы комплексной оценки биологической ценности белка насекомых освещены недостаточно. В то же время для формирования доказательной базы и обоснования возможности использования этого источника в качестве нового кормового компонента класса *Insecta* необходима полная и объективная информация о качестве белка, а также данные о его безопасности.

Преобладание протеина в личинках насекомых, в особенности у личинки черной львинки, позволяет отнести данный кормовой ингредиент, по соевй биологической и питательной ценностью к продуктам животного происхождения, что позволяет их использовать как нетрадиционный корм в рационах многострочных животных [25-28].

Исследования в области новых кормовых продуктов позволяют выделить ключевые этапы оценки, среди которых, наряду с токсикологическими тестами, важное значение имеют определение биологической ценности и усвояемости протеина. Оценка биологической ценности белкового источника основана на комплексном использовании химического

и биологического методов. Биологический метод предполагает изучение азотистого баланса в растущем организме, тогда как химический метод включает расчет аминокислотного сора [13].

Биологический метод основан на измерении степени ретенции азота и оценке эффективности его утилизации для поддержания азотистого баланса в эксперименте. Традиционный дизайн исследования включает два ключевых аспекта. Во-первых, используется пищевой белок животного происхождения (например, белок куриного яйца или казеин) в качестве стандарта. Во-вторых, в рационах применяется сравнительно низкий уровень белка (не более 12% по калорийности), что позволяет наиболее однозначно выявить анаболические свойства исследуемого белка [10; 11].

Применение аминокислотного спектра методом, основанным на капиллярном электрофорезе, позволяет получить полный перечень аминокислот, формирующих данный белок, что дает представление о потенциальном метаболизме изучаемого корма в комплексе или конкретного ингредиента. Аминокислотный состав является качественным показателем характеризующий белок и его питательную, энергетическую ценность и основные параметры его биодоступности для того или иного организма [10].

Методика определения аминокислотного сора, и его интерпретация за последнее время претерпели целый ряд существенных изменений: широкое распространение получили рекомендованные экспертами FAO/WHO [12; 29-32] аминокислотный сор с поправкой на усвояемость белка (Protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS) и аминокислотный сор с поправкой на усвояемость незаменимых аминокислот (Digestible indispensable amino acid score, DIAAS). В отличие от PDCAAS, основанном на усвояемости сырого протеина в пищеварительном тракте, DIAAS более точный, поскольку базируется на истинной илеальной (от лат. *Peum* – подвздошная кишка) усвояемости каждой из незаменимых аминокислот, являющейся в высшей степени достоверным критерием их биодоступности [13; 34; 35].

При традиционном методе оценки переваримости питательных веществ особое значение имеет толстый кишечник, где микроорганизмы участвуют в расщеплении корма, повышая его усвоение [20; 33]. Кишечная микрофлора выполняет множество важных функций: защищает организм от патогенных микроорганизмов, регулирует активность пищеварительных ферментов на финальном этапе расщепления белков, а также синтезирует полезные соединения, включая короткоцепочечные жирные кислоты и витамины [16; 30].

Анализ результатов эксперимента (см. табл. 4-6) продемонстрировал высокую биологическую ценность белка насекомых в сравнительном аспекте. Отмечено повышение косвенной илеальной и фекальной переваримости кормов, в состав которых введена мука из личинки *H. Illucens* и рыбная мука на 15,6% ($p<0,05$), 14,4% ($p<0,05$) и 5,7 % ($p<0,05$), 4,5 % ($p<0,05$), соответственно.

Основные показатели переваримости у животных опытных групп преваляировали на соответствующими показатели свиней контрольной группы. Отмечено достоверное увеличение косвенной переваримости белка и аминокислот в опытных группах (табл. 4), высокая доля истинной илеальной переваримости в организме свиней при вводе в основной рацион муки из личинки черной львинки и рыбной муки (табл. 5), свидетельствует о сравнительно высокой биологической ценности белка насекомых.

На основании полученных данных проведена сравнительная оценка биологической ценности различных белковых источников и их влияния на усвоение аминокислот (табл. 4, 6) и установлено, что мука из личинки *H. illucens* характеризуется относительно высоким содержанием глутаминовой и аспарагиновой кислоты, аргинина, глицина, а также является источником основных лимитирующих аминокислот – лизина, метионина, цистеина.

Сравнительный анализ аминокислотного состава и показателей переваримости белка муки из личинок чёрной львинки и рыбной муки подтверждает высокую биологическую ценность белка насекомых.

Заключение

Проведенные исследования подтверждают высокую питательную ценность муки из личинок *Hermetia illucens* как перспективного источника кормового белка. Установлено, что данный продукт обладает высоким содержанием белка, сбалансированным аминокислотным составом и высокой биологической ценностью. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования муки из личинок чёрной львинки в качестве полноценной альтернативы традиционным источникам белка животного происхождения, таким как рыбная мука. Полученные результаты по определению аминокислотного состава белка, содержащегося в муке из черной львинки показывают высокую биологическую значимость и усвояемость, что непосредственно будет отражаться на показателях продуктивности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию условий включения этого компонента в рационы сельскохозяйственных

животных и птицы, а также на оценку его влияния на продуктивность и метаболические процессы.

Заключение комитета по этике. «Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-16-00021.

Список литературы

1. Алиев, А. А. (1998). *Экспериментальная хирургия*. Москва: НИЦ Инженер. 445 с. ISBN: 5-7013-0021-8. EDN: <https://elibrary.ru/TUSMKP>
2. Головкин, Е. Н. (2009). Биодоступность аминокислот у свиней (обзор). *Проблемы питания продуктивных животных*, (2), 27–43. EDN: <https://elibrary.ru/KPOFQT>
3. Головкин, Е. Н., Омаров, М. О., & Рядчиков, В. Г. (1999). Переваримость аминокислот в кормлении свиней. В *Научные основы ведения животноводства и кормопроизводства* (с. 234–243). Краснодар: СКНИЖ.
4. Кирилов, М. П., Махаев, Е. А., Первов, Н. Г., Пузанова, В. В., & Аникин, А. С. (2008). *Методика расчёта обменной энергии в кормах на основе содержания сырых питательных веществ (для крупного рогатого скота, овец, свиней)*. Дубровицы.
5. Махаев, Е. А., Мысик, А. Т., & Стрекозов, Н. И. (2016). *Рекомендации по детализированному кормлению свиней мясного типа: справочное пособие*. Дубровицы. ISBN: 978-5-902483-42-7. EDN: <https://elibrary.ru/XGBOPZ>
6. Некрасов, Р. В., Головин, А. В., Махаев, Е. А., Аникин, А. С., Первов, Н. Г., Стрекозов, Н. И., Мысик, А. Т., Дуборезов, В. М., Чабаев, М. Г., Фомичев, Ю. П., & Гусев, И. В. (2018). *Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография*. Москва. ISBN: 978-5-906906-77-9. EDN: <https://elibrary.ru/XVLDML>
7. Некрасов, Р. В., Зеленченкова, А. А., Чабаев, М. Г., & Ушакова, Н. А. (2018). Меланиновая белково-энергетическая добавка из личинок *Hermetia illucens* в питании телят. *Сельскохозяйственная биология*, 53(2), 374–384. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.374rus>. EDN: <https://elibrary.ru/XOQUZF>

8. Ниязов, Н. С., & Пьянкова, Е. В. (2021). Истинная идеальная доступность аминокислот высокобелковых кормов у молодняка свиней. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (2), 83–91. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.83-91>. EDN: <https://elibrary.ru/OMJNZX>
9. Ниязов, Н. С. (2021). Кажущаяся и истинная идеальная доступность аминокислот зерна злаковых кормов у растущих свиней. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (1), 101–111. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111>. EDN: <https://elibrary.ru/EFAURE>
10. Омаров, М. О. (2021). Особенности питательности и переваримости кормов, используемых в свиноводстве. *Сборник научных трудов Краснодарского научного центра по зоотехнии и ветеринарии*, 10(1), 181–185. <https://doi.org/10.48612/hkfl-kpzf-34ze>. EDN: <https://elibrary.ru/DOUUNH>
11. Раецкая, Ю. И., & Сухарева, В. Н. (1970). *Методика зоотехнического и биохимического анализа кормов, продуктов обмена и животноводческой продукции*. Дубровицы.
12. Садыкова, Э. О., Шумакова, А. А., Шестакова, С. И., & Тышко, Н. В. (2021). Пищевая и биологическая ценность биомассы личинок *Hermetia illucens*. *Вопросы питания*, 90(2), 73–82. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2>. EDN: <https://elibrary.ru/FIZIQH>
13. Степаненко, Е. С. (2019). Переваримость и использование питательных веществ коровами при введении различных кормовых добавок. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (1 (171)), 148–151.
14. Тышко, Н. В., Жминченко, В. М., Никитин, Н. С., Требух, М. Д., Шестакова, С. И., Пашорина, В. А., & Садыкова, Э. О. (2021). Комплексные исследования биологической ценности белка личинки *Hermetia illucens*. *Вопросы питания*, 90(5), 49–58. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58>. EDN: <https://elibrary.ru/USDMIO>
15. Ушакова, Н. А., Бастраков, А. И., Карагодин, В. П., & Павлов, Д. С. (2018). Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Успехи современной биологии*, 138(2), 172–182. <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>. EDN: <https://elibrary.ru/XMRNTN>
16. Харитонов, Е. Л. (1998). Использование инертных индикаторов для изучения процессов пищеварения. В *Методы исследований питания сельскохозяйственных животных* (с. 47–52). Боровск: ВНИИФБиП. EDN: <https://elibrary.ru/UCSRHP>
17. Aepli, A. (2017). Industrializing the production of Black Soldier Fly larvae for animal feed. В *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin* (p. 94). Potsdam.

18. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0055>. EDN: <https://elibrary.ru/YJOWNB>
19. Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dosse-
na, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and
systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and
chitin. *Food Research International*, 105, 812–820. [https://doi.org/10.1016/j.
foodres.2017.12.012](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012). EDN: <https://elibrary.ru/YEFCGL>
20. Fan, M. Z., & Sauer, W. C. (2002). Determination of true ileal amino acid di-
gestibility and the endogenous amino acid outputs associated with barley sam-
ples for growing-finishing pigs by the regression analysis technique. *Journal of
Animal Science*, 80, 1593–1605. <https://doi.org/10.2527/2002.8061593x>
21. Delicato, C., Schouteten, J., Dewettinck, K., Gellynck, X., & Tzompa Sosa,
D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial
butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79. [https://doi.org/10.1016/j.
foodqual.2019.103755](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755). EDN: <https://elibrary.ru/MBUMNZ>
22. Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K.
(2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly
larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. [https://doi.org/10.1007/
s12649-011-9079-1](https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1). EDN: <https://elibrary.ru/GTUMME>
23. Gonzalez, C. M., Garzon, R., & Rosell, C. (2018). Insects as ingredients for
bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor*
flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018>
24. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountouleki, E. (2015). Review on the use
of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and
Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>. EDN:
<https://elibrary.ru/UUAGTT>
25. Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black sol-
dier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet:
an in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 10(12), 1439–1446.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446>
26. Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q.,
Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient
composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*,
12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
27. Mlcek, J., Rop, O., Borkovcová, M., & Bednářová, M. (2014). A comprehen-
sive look at the possibilities of edible insects as food in Europe — a review.

- Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3), 147–157. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0099-8>
28. Müller, A., Wolf, D., & Gutzeit, H. O. (2017). The black soldier fly, *Hermetia illucens* — a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 351–363. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0030>. EDN: <https://elibrary.ru/YHCLBI>
29. Niu, Y., Zheng, D., Yao, B., Cai, Z., Zhao, Z., Wu, S., Cong, P., & Yang, D. (2017). A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, 61, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.054>
30. Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2017). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>
31. Stamer, A. (2015). Insect proteins — a new source for animal feed. *EMBO Reports*, 16(6), 676–680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>
32. Stein, H. H., Seve, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J., & De Lange, C. F. (2007). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*, 85, 172–180.
33. Tschirner, M., & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
34. Ushakova, N. A., Brodskii, E. S., Kovalenko, A. A., Bastrakov, A. I., Kozlova, A. A., & Pavlov, D. S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 468(1), 209–212. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030145>. EDN: <https://elibrary.ru/WUHQLX>
35. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
36. Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein rich feed ingredient in pig and poultry diet. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.

References

1. Aliev, A. A. (1998). *Experimental surgery*. Moscow: Research and Innovation Center “Inzher”. 445 p. ISBN: 5-7013-0021-8. EDN: <https://elibrary.ru/TUSMKP>

2. Golovko, E. N. (2009). Bioavailability of amino acids in pigs (review). *Problems of Farm Animal Nutrition*, (2), 27–43. EDN: <https://elibrary.ru/KPOFQT>
3. Golovko, E. N., Omarov, M. O., & Ryadchikov, V. G. (1999). Digestibility of amino acids in pig feeding. In *Scientific foundations of animal husbandry and feed production* (pp. 234–243). Krasnodar: North Caucasus Research Institute of Animal Husbandry.
4. Kirilov, M. P., Makhaev, E. A., Pervov, N. G., Puzanova, V. V., & Anikin, A. S. (2008). *Method for calculating metabolizable energy in feeds based on the content of crude nutrients (for cattle, sheep, and pigs)*. Dubrovitsy.
5. Makhaev, E. A., Mysik, A. T., & Strekozov, N. I. (2016). *Guidelines for detailed feeding of meat-type pigs: a reference manual*. Dubrovitsy. ISBN: 978-5-902483-42-7. EDN: <https://elibrary.ru/XGBOPZ>
6. Nekrasov, R. V., Golovin, A. V., Makhaev, E. A., Anikin, A. S., Pervov, N. G., Strekozov, N. I., Mysik, A. T., Duborezov, V. M., Chabaev, M. G., Fomichev, Yu. P., & Gusev, I. V. (2018). *Nutrient requirements of dairy cattle and pigs: a monograph*. Moscow. ISBN: 978-5-906906-77-9. EDN: <https://elibrary.ru/XVLDML>
7. Nekrasov, R. V., Zelenchenkova, A. A., Chabaev, M. G., & Ushakova, N. A. (2018). Melanine protein-energy supplement from *Hermetia illucens* larvae in calf nutrition. *Agricultural Biology*, 53(2), 374–384. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.374rus>. EDN: <https://elibrary.ru/XOQUZF>
8. Niyazov, N. S., & Pyankova, E. V. (2021). True ideal availability of amino acids from high-protein feeds in young pigs. *Problems of Productive Animal Biology*, (2), 83–91. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.2.83-91>. EDN: <https://elibrary.ru/OMJNZX>
9. Niyazov, N. S. (2021). Apparent and true ideal availability of amino acids from cereal grains in growing pigs. *Problems of Productive Animal Biology*, (1), 101–111. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.1.101-111>. EDN: <https://elibrary.ru/EFAURE>
10. Omarov, M. O. (2021). Features of nutrient value and digestibility of feeds used in pig farming. *Proceedings of the Krasnodar Scientific Center for Animal Science and Veterinary Medicine*, 10(1), 181–185. <https://doi.org/10.48612/hkfl-kpzf-34ze>. EDN: <https://elibrary.ru/DOUUNH>
11. Raetskaya, Yu. I., & Sukhareva, V. N. (1970). *Methods of zootechnical and biochemical analysis of feeds, metabolic products, and animal products*. Dubrovitsy.
12. Sadykova, E. O., Shumakova, A. A., Shestakova, S. I., & Tyshko, N. V. (2021). Nutritional and biological value of *Hermetia illucens* larval biomass. *Nutrition Issues*, 90(2), 73–82. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2>. EDN: <https://elibrary.ru/FIZIQH>

13. Stepanenko, E. S. (2019). Digestibility and utilization of nutrients by cows with the introduction of various feed additives. *Bulletin of Altai State Agricultural University, (1 (171))*, 148–151.
14. Tyshko, N. V., Zhminchenko, V. M., Nikitin, N. S., Trebukh, M. D., Shestakova, S. I., Pashorina, V. A., & Sadykova, E. O. (2021). Comprehensive studies of the biological value of *Hermetia illucens* larval protein. *Nutrition Issues*, 90(5), 49–58. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58>. EDN: <https://elibrary.ru/USDMIO>
15. Ushakova, N. A., Bastrakov, A. I., Karagodin, V. P., & Pavlov, D. S. (2018). Features of bioconversion of organic waste by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758) larvae. *Advances in Modern Biology*, 138(2), 172–182. <https://doi.org/10.7868/S0042132418020060>. EDN: <https://elibrary.ru/XMRNTN>
16. Kharitonov, E. L. (1998). Use of inert indicators to study digestion processes. In *Methods of research in farm animal nutrition* (pp. 47–52). Borovsk: All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Farm Animals. EDN: <https://elibrary.ru/UCSRHP>
17. Aepli, A. (2017). Industrializing the production of Black Soldier Fly larvae for animal feed. B *Proc. INSECTA Conference, September 2017, Germany, Berlin* (p. 94). Potsdam.
18. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed — a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0055>. EDN: <https://elibrary.ru/YJOWNB>
19. Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dosse-
na, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International*, 105, 812–820. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>. EDN: <https://elibrary.ru/YEFCGL>
20. Fan, M. Z., & Sauer, W. C. (2002). Determination of true ileal amino acid digestibility and the endogenous amino acid outputs associated with barley samples for growing-finishing pigs by the regression analysis technique. *Journal of Animal Science*, 80, 1593–1605. <https://doi.org/10.2527/2002.8061593x>
21. Delicato, C., Schouteten, J., Dewettinck, K., Gellynck, X., & Tzompa Sosa, D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>. EDN: <https://elibrary.ru/MBUMNZ>
22. Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly

- larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>. EDN: <https://elibrary.ru/GTUMME>
23. Gonzalez, C. M., Garzon, R., & Rosell, C. (2018). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domestica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018>
24. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountouleki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>. EDN: <https://elibrary.ru/UUAGTT>
25. Jayanegara, A., Novandri, B., Yantina, N., & Ridla, M. (2017). Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: an in vitro rumen fermentation study. *Veterinary World*, 10(12), 1439–1446. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446>
26. Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z., & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
27. Mlcek, J., Rop, O., Borkovcová, M., & Bednářová, M. (2014). A comprehensive look at the possibilities of edible insects as food in Europe — a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(3), 147–157. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0099-8>
28. Müller, A., Wolf, D., & Gutzeit, H. O. (2017). The black soldier fly, *Hermetia illucens* — a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72(9–10), 351–363. <https://doi.org/10.1515/znc-2017-0030>. EDN: <https://elibrary.ru/YHCLBI>
29. Niu, Y., Zheng, D., Yao, B., Cai, Z., Zhao, Z., Wu, S., Cong, P., & Yang, D. (2017). A novel bioconversion for value-added products from food waste using *Musca domestica*. *Waste Management*, 61, 455–460. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.054>
30. Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2017). Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>
31. Stamer, A. (2015). Insect proteins — a new source for animal feed. *EMBO Reports*, 16(6), 676–680. <https://doi.org/10.15252/embr.201540528>

32. Stein, H. H., Seve, B., Fuller, M. F., Moughan, P. J., & De Lange, C. F. (2007). Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *Journal of Animal Science*, 85, 172–180.
33. Tschirner, M., & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 1–12. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>
34. Ushakova, N. A., Brodskii, E. S., Kovalenko, A. A., Bastrakov, A. I., Kozlova, A. A., & Pavlov, D. S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 468(1), 209–212. <https://doi.org/10.1134/S1607672916030145>. EDN: <https://elibrary.ru/WUHQLX>
35. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
36. Veldkamp, T., & Bosch, G. (2015). Insects: a protein rich feed ingredient in pig and poultry diet. *Animal Frontiers*, 5(2), 45–50.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Остренко Константин Сергеевич, доктор биологических наук, заведующий лабораторией иммунобиотехнологии и микробиологии, ведущий научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»
п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
ostrenkos@gmail.com

Некрасов Роман Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, доцент, заведующий отделом кормления сельскохозяйственных животных, главный научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
nek_roman@mail.ru

Боголюбова Надежда Владимировна, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
652202@mail.ru

Кутын Иван Владимирович, научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
Kurookami@mail.ru

Бутенко Алексей Иванович, ведущий специалист отдела кормления сельскохозяйственных животных

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская область, 142132, Российская Федерация
hugo_st@inbox.ru

Кольцов Кирилл Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного

ственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
kirukhai5@mail.ru

Волченков Юрий Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии и микробиологии

Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

п. Институт, г. Боровск, Боровский район, Калужская область, 249013, Российская Федерация
y.volchenkov@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology, Leading Researcher

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation
ostrenkoks@gmail.com

SPIN-code: 6609-9581

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2235-1701>

ResearcherID: E-2898-2019

Scopus Author ID: 57201719569

Roman V. Nekrasov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of RAS, Associate Professor, Head of the Department of Feeding of Farm Animals, Chief Scientific Associate

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

nek_roman@mail.ru

SPIN-code: 1539-8087

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4242-2239>

Researcher ID: P-7028-2016

Scopus Author ID: 55760119900

Nadezhda V. Bogolyubova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Agricultural Animals, Leading Researcher

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

652202@mail.ru

SPIN-code: 4007-2980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

Researcher ID: J-3771-2018

Scopus Author ID: 57191954598

Ivan V. Kutyin, Scientific Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

Kurookami@mail.ru

SPIN-code: 8893-1346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4605-9417>

Researcher ID: E-2898-2019

Scopus Author ID: 57217588743

Alexey I. Butenko, Leading Specialist of the Department of Feeding of Farm Animals

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

60, Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russian Federation

hugo_st@inbox.ru

SPIN-code: 7239-9921

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2729-389X>

Kirill S. Koltsov, Junior Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Scientific Research Institute of Physiology, Biochemistry and Animal Nutrition, a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernst

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

kirukhai5@mail.ru

SPIN-code: 4818-4454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3267-7994>

Yuri A. Volchenkov, Junior Researcher at the Laboratory of Immunobiotechnology and Microbiology

All-Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Animals – Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

Institute, Borovsk, Kaluga Region, 249013, Russian Federation

y.volchenkov@mail.ru

SPIN-code: 6732-9733

Поступила 15.02.2025

После рецензирования 01.04.2025

Принята 17.04.2025

Received 15.02.2025

Revised 01.04.2025

Accepted 17.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314

EDN: GPFIRS

УДК 57.044:636.22/28



Научная статья

О ВЛИЯНИИ МАЛЫХ МОЛЕКУЛ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РУБЦЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА IN SITU

Д.Е. Шошин, К.Н. Атландерова

Аннотация

Обоснование. Отказ от антибиотиков в животноводстве побуждает к поиску новых более эффективных альтернатив, одной из которых являются фитохимические вещества – малые молекулы с выраженным биоактивным действием.

Цель исследования – анализ влияния транс-коричного альдегида, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и ванилина, а также их комбинаций на метаболические процессы в рубце жвачных: переваримость сухого вещества, обмен азота, синтез летучих жирных кислот и метана, целлюлозолитическую и амилолитическую активность микрофлоры, углеводный обмен.

Материалы и методы. В статье рассмотрены физиологические свойства дигидрокверцетина, 7-гидроксикумарина, ванилина и транс-коричного альдегида, как действующих веществ из экстрактов некоторых растений. Проведена их аттестация по методу «in situ» на бычках породы казахская белоголовая, включая определение переваримости сухого вещества корма (метод нейлоновых мешочков), динамики концентраций метана и летучих жирных кислот (газовая хроматография), форм азота (метод Кьельдаля), амилолитической и целлюлозолитической активности (ручной метод) микробиоты.

Результаты. Исследуемые фитобиотические вещества способствуют повышению переваримости сухого вещества кормового субстрата in situ в диапазоне от +5,5 % до +12,8 %, модулируют амилолитическую и целлюлозолитическую активность, дигидрокверцетин и его комплекс с ванилином обладает максимальным потенцирующим эффектом в выработке летучих жирных кислот. Ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид нивелируют выработку CH_4 .

Заключение. Проведенные исследования демонстрируют существенный потенциал транс-коричного альдегида, ванилина, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и их комбинаций в качестве модификаторов ферментативных процессов в рубце.

Ключевые слова: фитохимические вещества; малые молекулы; дигидро-кверцетин; 7-гидроксикумарин; ванилин; транс-коричный альдегид; переваримость; рубец; жвачные; метан; азот; летучие жирные кислоты

Для цитирования. Шошин, Д. Е., & Атландерова, К. Н. (2025). О влиянии малых молекул растительного происхождения на пищеварительные процессы в рубце крупного рогатого скота *in situ*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 58-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314>

Original article

ON THE EFFECT OF SMALL MOLECULES OF PLANT ORIGIN ON DIGESTIVE PROCESSES IN THE RUMEN OF CATTLE IN SITU

D.E. Shoshin, K.N. Atlanderova

Abstract

Background. The abandonment of antibiotics in animal husbandry leads to the search for new more effective alternatives, one of which is phytochemicals – small molecules with pronounced bioactive effects.

Purpose. Analysis of the effect of trans-cinnamic aldehyde, 7-hydroxycoumarin, dihydroquercetin and vanillin, as well as their combinations on metabolic processes in ruminant rumen: digestibility of dry matter, nitrogen metabolism, synthesis of volatile fatty acids and methane, cellulolytic and amylolytic activity of microflora, carbohydrate metabolism.

Materials and methods. The article discusses the physiological properties of dihydroquercetin, 7-hydroxycoumarin, vanillin and trans-cinnamic aldehyde as active ingredients from extracts of some plants. Their certification was carried out using the “in situ” method on Kazakh white-headed gobies, including determination of the digestibility of dry matter of feed (nylon bag method), dynamics of concentrations of methane and volatile fatty acids (gas chromatography), nitrogen forms (Kjeldahl method), amylolytic and cellulolytic activity (manual method) of microbiota.

Results. The studied phytobiotic substances increase the digestibility of the dry matter of the feed substrate *in situ* in the range from +5.5% to +12.8%, modulate

amylolytic and cellulolytic activity, dihydroquercetin and its complex with vanillin have a maximum potentiating effect in the production of volatile fatty acids. Vanillin, dihydroquercetin and transcoric aldehyde neutralize the production of CH₄.

Conclusion. The conducted studies demonstrate the significant potential of trans-cinnamic aldehyde, vanillin, 7-hydroxycoumarin, dihydroquercetin and their combinations as modifiers of enzymatic processes in the rumen.

Keywords: phytochemicals; small molecules; dihydroquercetin; 7-hydroxycoumarin; vanillin; trans-cinnamic aldehyde; digestibility; rumen; ruminants; methane; nitrogen; volatile fatty acids

For citation. Shoshin, D. E., & Atlanderova, K. N. (2025). On the effect of small molecules of plant origin on digestive processes in the rumen of cattle in situ. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 58-96. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1314>

Введение

Успешность, эффективность и самодостаточность национальной экономики любого независимого государства базируется на широком спектре инкорпорированных в единую систему, взаимосвязанных и в то же время обособленных производственных отраслей, как материальных (промышленность и сельское хозяйство), так и нематериальных (транспорт, финансы, торговля). При этом каждая из них обладает определенным удельным весом. В частности, выступая в роли источника продуктов питания, составляющие компоненты которых (белки, жиры, углеводы, биологически активные вещества) непосредственно детерминируют возможность существования здоровой нации, животноводство и растениеводство являются не только гарантом продовольственной безопасности, но и, как правило, формируют ядро национального благосостояния [115]. Тем не менее даже при высокой степени интеграции мирового хозяйства, сопряженной с переходом на интенсивные технологии производства, отдельные регионы планеты, не исключая высокоразвитые страны, зачастую сталкиваются с дефицитом некоторых продовольственных товаров, чаще всего - источников полноценного белка (различные виды мяса) [44, 75]. Последнее ощущается особенно остро на фоне увеличения численности населения планеты: по данным FAO за период с 2012 по 2022 год прирост составил более 825 млн человек, при этом потребление животного белка на душу населения выросло с 34,5 до 38,1 г в сутки. Структурно эта величина составляет около 40% от общего количества протеинов в рационе при рекомендуемой норме – 50% (FAO; Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21) [2, 32]. Важно

также отметить, что в развивающихся странах, в отличие от развитых, ситуация еще более обостряется. Иными словами, существует определенный крен в сторону растительных полипептидов, связанный с большей легкостью их получения. Однако ввиду природных отличий фитогенный белковый компонент не способен заместить животный аналог по фактору незаменимых аминокислот, и более того обладает меньшей усвояемостью и анаболическим эффектом, а также, как правило, характеризуется большей гидрофобностью и агрегированностью [22, 111]. Все это в совокупности на фоне расширения национальных требований к качеству мясной продукции, побуждает животноводческий комплекс к активному поиску возможных решений и способов глубокой интенсификации производства. Последние же условно можно дифференцировать на две созависимые группы. Первая линейка методов подразумевает выведение высокопродуктивных или совершенствование уже существующих пород скота и птицы по достижению ими максимально возможных приростов живой массы за минимальные сроки, что даже при существующем уровне технологий и способах генетического маркирования остается весьма время- и трудозатратным [31, 96]. Более того, новые породы, типы и кроссы нуждаются в длительных периодах аттестации и адаптации, и как правило, имеют изнеженную конституцию, с присущей для нее меньшей сопротивляемостью в отношении различных экологических факторов – климатических, микробиологических и кормовых [46]. Таких животных иногда крайне трудно адаптировать к условиям, отличным от природы мест их выведения без прилития крови аборигенной сельскохозяйственной фауны [34, 63, 94]. Вторая линейка методов предлагает совершенствовать технологии кормления и содержания животных, тем самым обеспечивая лучшую и максимально полную реализацию заложенного в них генетического потенциала при большей рентабельности производства [24, 37, 106]. В этой области исследуется как различные эвентуальные вариации по составу кормосмесей, срокам и методам их скармливания сказываются на пищеварительных процессах, усвояемости питательных веществ и конверсии последних в продукцию, будь то мясо, сало, яйца или молоко [69, 79]. Отдельным направлением является оценка эффективности применения отходов пищевого производства в качестве дополнительных источников метаболической энергии взамен дорогостоящих концентратов [99, 108], а также разработка и внедрение в рационы биоактивных компонентов (кормовых добавок) с каталитическими, антибиотическими, микробиоммодулирующими, противогрибковыми и противовоспалительными свойствами [89], что также

актуально на фоне запрета применения фармацевтических антибиотиков в терапевтических целях в животноводстве из-за растущих рисков распространения резистентности к широкому спектру патогенов [68]. Среди подобных веществ особое внимание уделяется изучению роли энзимов [Ошибка! Источник ссылки не найден.], антимикробных пептидов [114, 117], наночастиц [53, 92], олигосахаридов [101] и фитобиотиков [8] в регуляции и стимуляции метаболических процессов различной физиологической направленности. При этом если первые три группы представлены достаточно дорогостоящими или трудносинтезируемыми материалами, то четвертая является наиболее доступной и весьма многообещающей, поскольку включает растительные экстракты, смолы, живицы, перемолотую растительную массу [61], или выделенные из них полифункциональные фитогеники (малые молекулы – вторичные метаболиты растений) [55, 120]. Это, например, тимол [126], эвгенол [97] и карвакрол [112], получаемые, соответственно из эфирных масел тимьяна (*Thymus vulgaris* L.), гвоздики (*Dianthus* sp.) и душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), пиперин [84] и капсаицин [86] из черного (*Piper nigrum* L.) и стручкового перцев (*Capsicum annuum* L.), различные олеорезины [118], лимонен [51] цитрусовых (*Citrinae*), ментол [56] из мяты перечной (*Mentha × piperita* L.) и многие другие вещества, показавшие значительный потенциал в качестве ростстимулирующих [Ошибка! Источник ссылки не найден., 127], антибактериальных [83], противопаразитарных [73] и микробиоммодулирующих агентов [185].

Иными словами, использование различных по своей структуре и составу вторичных метаболитов растений в качестве альтернативы фармацевтическим антибиотикам - стимуляторам роста в животноводстве является весьма рациональным и обнадеживающим решением. Но и в этом случае существуют определенные ограничения, обусловленные, во-первых, природным многообразием фитогеников, а также потенциалом их совместного использования и химической модификации; во-вторых, возможностями взаимодействия последних с иными кормовыми ингредиентами (особенно про- или пребиотиками и органическими кислотами); в-третьих, неопределенностью метаболических превращений малых молекул в условиях сложно организованной пищеварительной системы и наконец, отсутствием полного понимания механизмов действия фитогеников, опосредующих стимуляцию роста, регуляцию иммунитета и ингибирование окислительного стресса [119, 127]. Следовательно, перед внедрением в практику кормления определенной группы сельскохозяйственных животных каких-либо фито-

генных молекул, или же их синтетических аналогов как в чистом виде, так и в комплексе необходимо проводить детальную оценку направленности и степени воздействия последних на различные процессы в организме, в том числе для определения оптимальных доз вводимых компонентов [90].

Цель исследования – анализ влияния транс-коричного альдегида, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и ванилина, а также их комбинаций на метаболические процессы в рубце жвачных: переваримость сухого вещества, обмен азота, синтез летучих жирных кислот и метана, целлюлозолитическая и амилолитическая активность микрофлоры, углеводный обмен – в субингибиторных дозировках, выявленных с помощью тестов подавления бактериальной люминесценции и систем «*Quorum sensing*» на рекомбинантных штаммах *Escherichia coli*, несущих гибридные плазмиды *pUC19* и *pAL103* [1, 3].

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНИЦ БСТ РАН (<https://цкп-бст.рф>).

Переваримость сухого вещества корма in situ (метод нейлоновых мешочков). Динамику переваримости сухого вещества рациона у бычков казахской белоголовой породы возрастом 12-13 месяцев и живой массой 310-320 кг оценивали методом «*in situ*», для этого использовали 5,0 г высушенного и измельченного образца корма (Таблица 1).

Таблица 1.

Структура рациона подопытных животных

Вид корма / кормовой добавки	Доля в рационе, кг
сено разнотравное	4,5
сено люцерновое	5
зерносмесь	3
отруби пшеничные	1
соль поваренная	0,038
премикс	0,004

Туда же добавляли исследуемые вещества в необходимых дозировках (Таблица 2):

1) Ванилин (Acros Organics, Бельгия) – фенольный альдегид с молекулярной формулой $C_8H_8O_3$, в структуре которого присутствуют также гидроксильная и эфирная функциональные группы, прикрепленные к аро-

матическому кольцу. Это основной компонент экстракта стручков орхидеи *Vanilla planifolia* с выраженными противоопухолевыми, нейропротекторными, антибиотическими и антикворумными характеристиками [7].

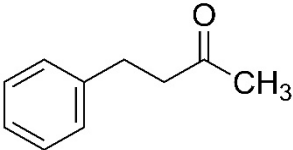
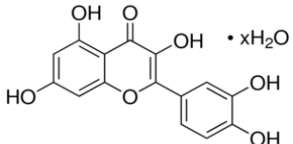
2) 7-гидроксикумарин (Acros Organics, Бельгия) – лактон о-окискоричной кислоты, гетероциклическое соединение из класса бензопиринов состава $C_9H_6O_3$, получаемое из бобов тонка – семян *Dipteryx odorata*. Кумарины и их производные обладают широким спектром биологически активных свойств, в частности: антикоагулянтными, бактерицидными, противовоспалительными, антиоксидантными, противовирусными и фермент-ингибирующими [36].

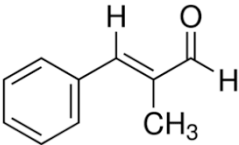
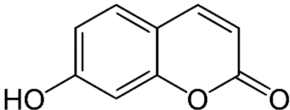
3) Дигидрокверцетин (Acros Organics, Бельгия) – флавоноидное соединение структуры $C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$, обнаруженное во многих растениях и обладающее антиоксидантной, антибактериальной и противопаразитарной активностью в купе с вазопротекторными и антииммуносупрессионными свойствами, демонстрирующее также способность смягчать действие микотоксинов [98].

4) Транс-коричный альдегид, или циннамаль (Acros Organics, Бельгия) – основной компонент эфирного масла *Cinnamomum sp.*, монотерпеновый углеводород C_9H_8O , применяемый в народной медицине как антиоксидантное, противовоспалительное и антибактериальное средство при лечении диабета, заболеваний сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной системы, синдромов Паркинсона и Альцгеймера [11].

Таблица 2.

Тестируемые фитобиотические агенты

Название: тривиальное, CAS	Брутто- формула	Структурная формула	Мо- лярная масса	Дози- ровка, моль/л
Ванилин (VN), CAS 121-33-5	$C_8H_8O_3$		152,1	$2,5 \times 10^{-4}$
Дигидрокверцетин (QC), CAS 6151-25-3	$C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$		338,3	$4,9 \times 10^{-4}$

Транс-коричневый альдегид (CN), CAS 104-55-2	C_9H_8O		132,2	$1,5 \times 10^{-5}$
7-гидроксикумарин (CM), CAS 93-35-6	$C_9H_6O_3$		162,1	$2,5 \times 10^{-4}$

Полученную кормосмесь помещали в нейлоновые мешочки для анализа (Ankom F57), пористостью 25 микрон, которые предварительно были взвешены и пронумерованы. Затем спаянные мешочки погружали через фистулу в рубец бычков на 9 часов [41]. По окончании инкубации образцы промывали и высушивали при температуре $+60^\circ\text{C}$ до константного веса, параллельно отбирали пробы рубцовой жидкости. В качестве контроля использовали корм без добавок. Коэффициент переваримости определяли по формуле:

$$K = \frac{(m_1 - m_2)}{5000} \times 100\% \quad (1)$$

где m_1 – масса высушенного мешочка с кормом, после переваривания;
 m_2 – масса мешочка без корма

На втором этапе исследований определяли эффективность применения бинарных комбинаций фитогеников: CN+QC, CN+CM, CN+VN, QC+VN с целью выявления синергетических или антагонистических эффектов.

Содержание метана. По завершении инкубации проводили отбор проб воздуха для определения уровня метана на приборе «Кристаллюкс-2000М» методом газовой хроматографии. Определение содержания предельных углеводов в газовой пробе основано на газохроматографическом разделении компонентов на колонке, заполненной окисью алюминия, модифицированной едким натром, с последующей их регистрацией пламенно-ионизационным детектором. Газовые цельностеклянные шприцы с анализируемыми пробами предварительно выдерживали в помещении до комнатной температуры. Ввод пробы в хроматограф осуществлялся краном-дозатором не менее 3 раз. Кран-дозатор переводили в положение «отбор», подсоединяли шприц и вытесняли пробу (в объеме 20 - 30 см³). Вытеснение проб из шприца осуществлялось насыщенным раствором хлористого натрия. Затем отсоединяли шприц от крана-доза-

тора для выравнивания в нём давления, далее переводили кран-дозатор в положение «анализ».

Амилолитическая активность. В пробирке смешивали 1,6 мл 6,25 %-ного раствора крахмального субстрата с 7,4 мл фосфатного буфера (рН 6,8). После 10-минутного нагревания пробирки в водяной бане LOIP LB-160 (АО «Лабораторное оборудование и приборы») при +40 °С добавляли 1 мл жидкости рубца, процеженной через 2 слоя марли. Содержимое пробирки тщательно взбалтывали и сразу же пипеткой переносили 0,5 мл этой жидкости в мерную колбу на 50 мл с 2 мл 2 н. раствора HCl для прекращения действия микробных ферментов. В колбу добавляли 2 мл раствора калия йод-йодистого и дистиллированной водой доводили объем до 50 мл (проба до инкубации). После этого пробирку выдерживали 1 ч в водяной бане при температуре +40 °С, периодически (через 10–15 мин) перемешивая содержимое пробирки встряхиванием. По завершении инкубации из пробирки отбирали пробу 0,5 мл и переносили в мерную колбочку на 50 мл с 2 мл 2 н. раствора HCl. Добавляли 2 мл калия йод-йодистого и дистиллированную воду до метки (проба после инкубации). Полученные растворы проб до инкубации и через 1 ч после нее исследовали на спектрофотометре СФ-2000 («ОКБ СПЕКТР», Россия) в кюветах на 10 мм при красном светофильтре (620 нм) против дистиллированной воды.

По калибровочной кривой определяли количество крахмала (мг) в растворах до инкубации и после нее. Разница между этими показателями дает количество крахмала, расщепленного микробной амилазой за 1 ч инкубации. Степень переваримости крахмала выражали в мг/ч на 1 мл рубцовой жидкости:

$$A_a = (m_1 - m_2) \times 20 \quad (2)$$

где m_1 – масса крахмала в растворе до инкубации, мг;

m_2 – масса крахмала в растворе после инкубации, мг;

20 – коэффициент пересчета на 1 мл рубцовой жидкости;

Целлюлозолитическая активность. В пробирке смешивали 10 мл рубцовой жидкости и 0,3 мл 16 %-ного раствора глюкозы, сюда же помещали заранее взвешенную (≈ 100 мг) обезжиренную хлопчатобумажную нить, заливали вазелиновым маслом и плотно закрывали резиновой пробкой. Далее пробирку помещали в термостат ТС-1/80 СПУ (ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», Россия) при +40 °С на 48 часов, после чего доставали нить, промывали ее и сушили до постоянной массы, фиксируя изменение веса. Степень переваримости целлюлозы выражали в мг/ч на 1 мл рубцовой жидкости:

$$A_c = \frac{(m_1 - m_2)}{48 \times 10}, \quad (3)$$

где m_1 – масса нити до переваривания, мг;

m_2 – масса нити после переваривания, мг;

48 – время экспозиции, ч;

10 – коэффициент пересчета на 1 мл рубцовой жидкости.

Уровень ЛЖК и показатели обмена азотистых метаболитов. Летучие жирные кислоты в содержимом рубца определяли методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием на хроматографе газовом «Кристаллюкс-4000М» (ООО «НПФ Мета-хром», Россия). Общий и остаточный азот устанавливали методом Кьельдаля. Концентрацию водородных ионов (рН) определяли с помощью иономера рН-150МИ (ООО «Измерительная техника», Россия).

Динамика углеводного обмена. Оценку влияния фитохимических веществ на углеводный обмен проводили по содержанию растворимых и легкогидролизуемых углеводов в кормовом субстрате. Сущность метода заключается в экстракции из навески кормового субстрата дистиллированной водой при температуре $+50^{\circ}\text{C} \dots +60^{\circ}\text{C}$ растворимых углеводов (сахаров), последующем гидролизе 1%-ным раствором серной кислоты легкогидролизуемых углеводов (крахмала) в остатке, дегидратации сахаров экстракта и гидролизата, окрашивании растворов антроновым реактивом и фотометрическом определении оптической плотности растворов.

Заключение по биоэтике. При проведении работ были предприняты все необходимые меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых образцов в соответствии с International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Дизайн и методика эксперимента были рассмотрены и одобрены комитетом по биоэтике (Протокол № 2 от 11 марта 2024 г.).

Статистическая обработка. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью программного пакета «Statistica 12» («Stat Soft Inc.», США) и «Microsoft Excel» («Microsoft», США). Рассчитывали среднее (M) и стандартную ошибку ($\pm SE$), коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r). Для сравнения вариантов использовали непараметрический метод анализа. Различия считали статистически значимыми при * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$.

Результаты исследований

Внесение фитогеников в рубец позволило значительно улучшить переваримость сухого вещества корма (Рисунок 1). Так в случае с чистыми ве-

ществами – ванилином, дигидрокверцетином, транскоричным альдегидом и 7-гидроксикумарином коэффициент переваримости увеличился на 11,3 % ($P = 0,012$); 10,1 % ($P = 0,012$); 10,2 % ($P = 0,012$) и 12,8 % ($P = 0,012$) соответственно. Несколько меньшим интенсифицирующим действием, в диапазоне от 5,5 до 9,6 % ($P = 0,012$), обладали составленные на основе этих же соединений комбинации.

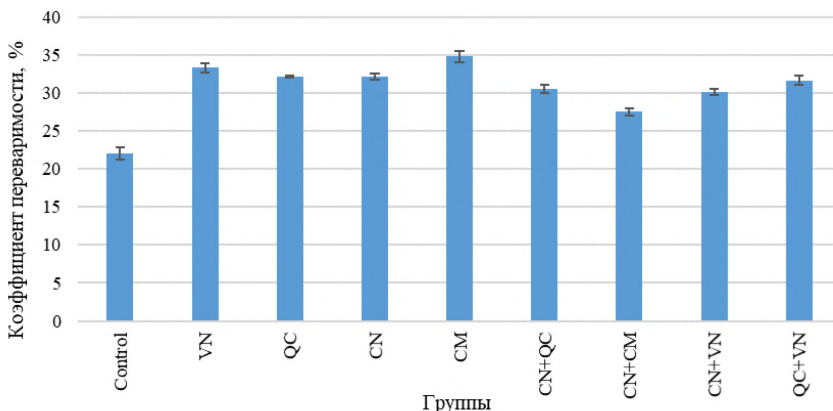


Рис. 1. Переваримость сухого вещества корма при введении в рубец фитогеников ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

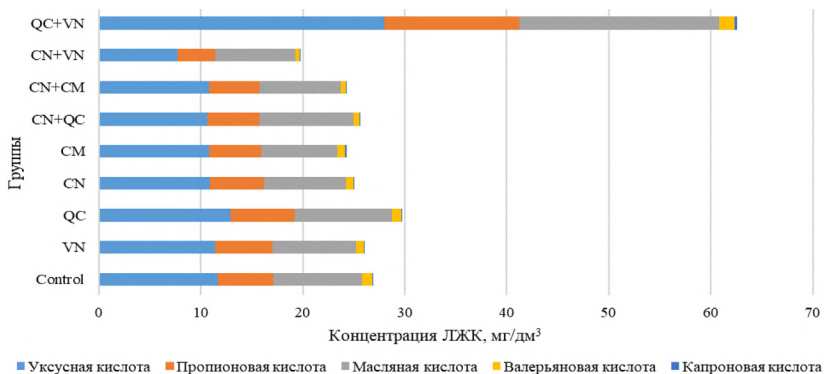


Рис. 2. Концентрация летучих жирных кислот

в рубцовом содержимом после инкубирования с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин

В то же время фитогеники показали дифференцированный эффект относительно концентрации летучих жирных кислот в рубцовой жидкости (Рисунок 2; Таблица 3). По истечению 9-часовой экспозиции исследуемые фитохимические вещества снижали процесс образования ЛЖК, и только дигидрокверцетин, как в отдельности, так и в комплексе с ванилином стимулировал его.

Таблица 3.

Динамика изменения концентрации ЛЖК в рубцовой жидкости при инкубировании с фитогениками и их комплексами (n = 5)

Летучие жирные кислоты	Группы							
	VN	QC	CN	CM	CN+QC	CN+CM	CN+VN	QC+VN
Уксусная кислота	↓-2,6	↑+10,3	↓-6,8	↓-7,7	↓-8,5	↓-7,7	↓-33,8	↑+139,3
P-value	0,676	0,144	0,210	0,210	0,210	0,210	0,012	0,012
Пропионовая кислота	↑+4,6	↑+16,8	↓-3,0	↓-5,5	↓-5,5	↓-8,1	↓-31,6	↑+144,0
P-value	0,676	0,022	0,676	0,210	0,210	0,210	0,012	0,012
Масляная кислота	↓-6,8	↑+8,8	↓-7,9	↓-14,2	↑+4,9	↓-8,7	↓-10,4	↑+124,3
P-value	0,210	0,210	0,210	0,037	0,531	0,210	0,060	0,012
Валерьяновая кислота	↓-14,9	↓-1,1	↓-18,1	↓-18,1	↓-35,1	↓-45,7	↓-57,4	↑+64,9
P-value	0,022	0,676	0,022	0,022	0,012	0,012	0,012	0,012
Капроновая кислота	↓-11,1	↑+11,1	↑+11,1	↑+0,0	↓-22,2	↓-33,3	↑+11,1	↑+122,2
P-value	0,060	0,022	0,210	0,676	0,012	0,012	0,060	0,012

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин. Отмечены различия значимые на уровне $P \leq 0,05$.

Так, введение дигидрокверцетина способствовало достоверному увеличению концентрации пропионовой и капроновой кислот на 16,8 % ($P = 0,022$) и 11,1 % ($P = 0,022$), соответственно. Транскоричный альдегид, как в чистом виде, так и в различных сочетаниях, во всех опытах ингибировал выработку валериановой кислоты в диапазоне от 18,1 % (CN, $P = 0,022$) до 57,4 % (CN+VN, $P = 0,012$). В частности, его комбинация с ванилином демонстрировала максимальный подавляющий эффект: снижалась концентрация всех ЛЖК, кроме капроновой. Напротив, комплекс QC+VN продемонстрировал наибольший потенцирующий эффект: уровень всех ЛЖК увеличился более чем в 2 раза. Следует также отметить, что концентрация уксусной и пропионовой кислот в определенной степени коррелировала с коэффициентом переваримости сухого вещества базового субстрата ($r = 0,30$ при $P = 0,042$; $r = 0,38$ при $P = 0,009$).

Амилолитическая активность рубцовой микробиоты менялась неоднозначно (Рисунок 3). При введении ванилина, транскоричного альдегида, 7-гидроксиумарина, а также комплексов CN+CM и QC+VN она снижалась на 13,1 % ($P = 0,012$); 9,1 % ($P = 0,012$) 47,9 % ($P = 0,012$) 33,4 % ($P = 0,012$) и 13,1 % ($P = 0,012$), соответственно.

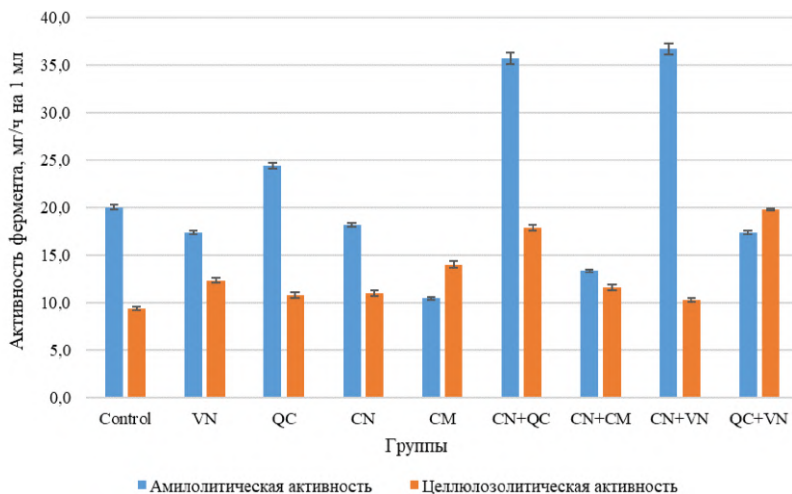


Рис. 3. Амилолитическая и целлюлозолитическая активность рубцовой жидкости при внесении в нее фитогеников ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

В свою очередь, дигидрокверцетин и сочетания CN+QC и CN+VN, обладали противоположным действием, стимулируя расщепление крахмала, разница с контролем – +21,8 % ($P = 0,012$) +78,6 % ($P = 0,012$) и +83,3 % ($P = 0,012$). Аналогичным образом, целлюлозолитическая активность увеличивалась во всех опытах в диапазоне от +9,6 % (CN+VN; $P = 0,022$) до +110,9 % (QC+VN; $P = 0,012$), коррелируя с показателями переваримости сухого вещества ($r = 0,49$ при $P < 0,001$).

Что касается азотного обмена, то его динамика, судя по всему, затрагивалась в наименьшей степени (Рисунок 4). Значимым было только снижение общего и белкового азота при внесении в реактор 7-гидроксиумарина – на 10,1 и 11,8 %, соответственно. Аналогичным эффектом обладал комплекс CN+VN (-9,2 %; $P = 0,022$). CN+CM снижал концентрацию белкового азота на 7,6 % ($P = 0,022$), а QC+VN – небелкового на 8,0 % ($P = 0,022$). При этом

количество общего азота закономерно возрастало при повышении доли белкового ($r = 0,98$ при $P < 0,001$) и небелкового азота ($r = 0,50$ при $P < 0,001$).

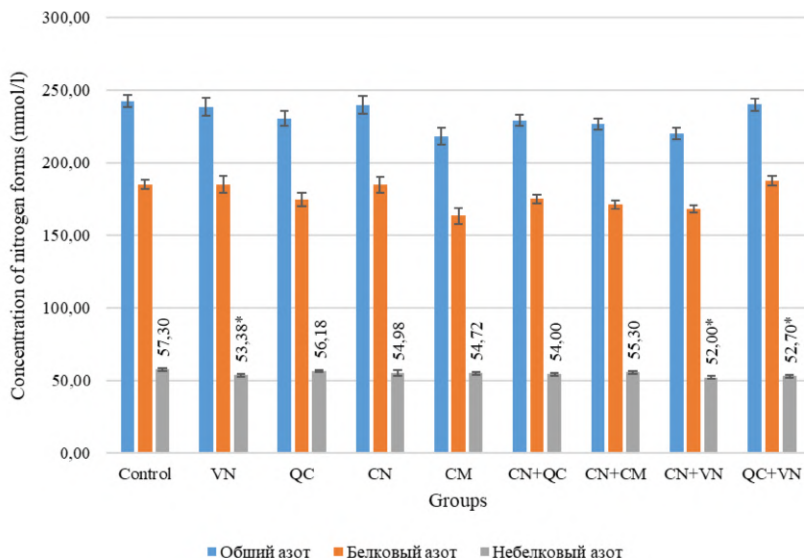


Рис. 4. Концентрация форм азота (ммоль/л) в рубцовой жидкости после инкубации с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскоричный альдегид; CM – 7-гидроксикумарин; * - $P \leq 0,05$

В то же время концентрация растворимых углеводов в рубцовой жидкости снижалась во всех группах (Рисунок 5) в диапазоне от -23,1 % (QC, $P = 0,012$) до -57,7 % (CN+CM, $P = 0,012$). При этом уровень легкогидролизуемых углеводов в опытах с ванилином, транскоричным альдегидом и комплексом CN+VN увеличился на 12,1 % ($P = 0,012$); 17,7 % ($P = 0,012$); 26,2 % ($P = 0,012$), соответственно. Показательно, что концентрация легкогидролизуемых углеводов отрицательно коррелировала с амилалитической активностью рубцовой жидкости ($r = -0,43$ при $P = 0,003$), а растворимых – с целлюлозолитической ($r = -0,33$ при $P = 0,029$).

Выработка метана в рубцовой жидкости также зависела от вида вводимых фитогеников (Рисунок 6; Таблица 4). Ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид ингибировали этот процесс, снижая концентрацию метана на 51,8 % ($P = 0,012$); 49,3 % ($P = 0,012$), 23,8 % ($P = 0,012$), соответственно. 7-гидроксикумарин, а также сочетания CN+CM и CN+VN,

действовали противоположным образом: +38,7 % ($P = 0,012$), +17,9 % ($P = 0,022$) и +17,9 % ($P = 0,022$). Комплексы CN+QC и QC+VN, в свою очередь не имели значимых эффектов.

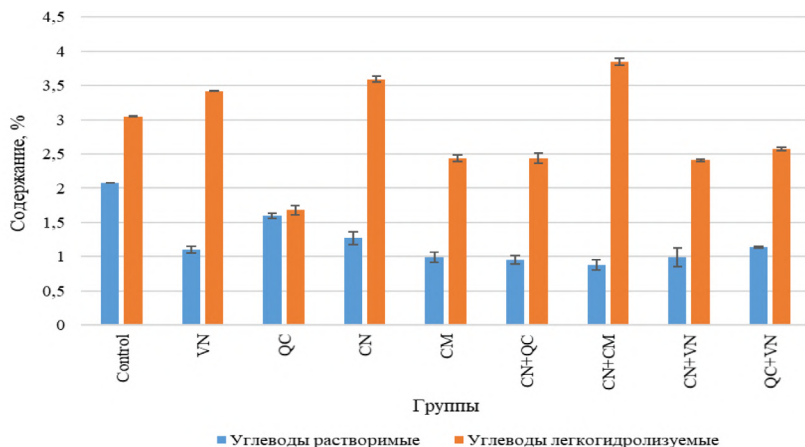


Рис. 5. Углеводы растворимые и легкогидролизуемые в рубцовой жидкости после инкубации с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Трансхоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

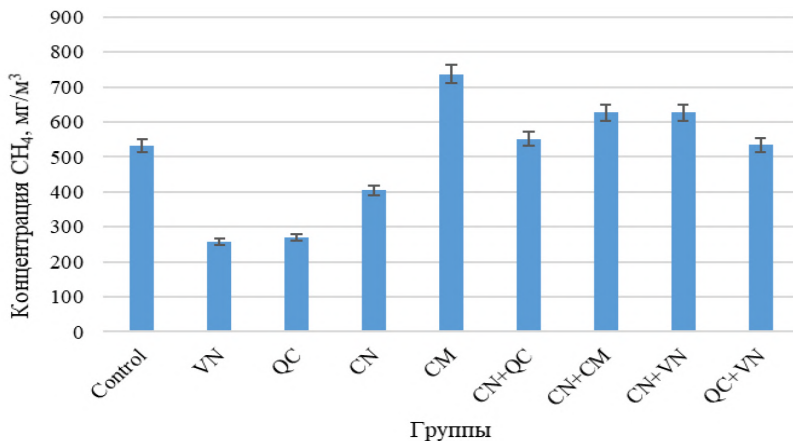


Рис. 6. Концентрация метана в реакторе с рубцовой жидкостью после инкубирования с фитогениками ($n = 5$)

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Трансхоричный альдегид; CM – 7-гидроксиумарин; * - $P \leq 0,05$

Таблица 4.

**Эквивалент CO₂ в реакторе с рубцовой жидкостью
после инкубирования с фитогениками (n = 5)**

Группы	Эквивалент CO ₂ , е/г	P-value
Control	13,29±0,47	-
VN	6,41±0,227*	0,012
QC	6,75±0,239*	0,012
CN	10,12±0,358*	0,012
CM	18,44±0,652*	0,012
CN+QC	13,81±0,488	0,676
CN+CM	15,67±0,554*	0,022
CN+VN	15,67±0,554*	0,022
QC+VN	13,35±0,472	0,676

Примечание: VN – Ванилин; QC – Дигидрокверцетин; CN – Транскориичный альдегид; CM – 7-гидроксимуарин; * - $P \leq 0,05$

Таким образом, представленные фитогеники обладают существенным потенциалом в аспекте регуляции метаболических процессов в рубце жвачных, поскольку способны повышать коэффициент переваримости сухого вещества корма, стимулировать или ингибировать выработку летучих жирных кислот, а также амилалитическую и целлюлозолитическую активность микробиоты.

Обсуждение

Частные аспекты реструктуризации пищеварительных процессов в рубце жвачных под влиянием фитобиотических добавок могут быть сопряжены с реализацией нескольких альтернативных стратегий в отношении микробиома, ведущих к селективному бактерицидному или антибиотическому эффекту, сопряженному к тому же с индукцией или ингибированием отдельных ферментативных функций и метаболических путей, а также прямым или косвенным воздействием на экспрессию генов [5, 40, 65]. К примеру, ранее было показано, что коричный альдегид и его производные эффективно подавляют рост и размножение *Bacillus cereus* [62], *Escherichia coli* [14, 71, 80, 95, 113, 124], *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Chromobacterium violaceu* [71], *Bacillus subtilis* [80, 113, 124], *Staphylococcus* spp. [33, 95, 113, 124], *Listeria* spp., *Salmonella* spp. [14, 33, 80, 113, 124,], *Lactobacillus sakei* [124], *Campylobacter jejuni* [14, 109], *Vibrio* spp. [80, 103, 113,], *Pseudomonas* spp. [80, 95, 113], *Porphyromonas gingivalis* [113], *Streptococcus pyogenes* [103] и *Cronobacter sakazakii* [33,

113]. Причем, следует отметить, что коричный альдегид, как правило, действует преимущественно на патогенные формы, такие как *Clostridium perfringens* и *Bacteroides fragilis*, не затрагивая полезную микробиоту, например, *Bifidobacterium longum* и *Lactobacillus acidophilus* [64]. Аналогичным образом, растительный флавоноид кверцетин подавляет грамположительные и грамотрицательные бактерии, грибки и вирусы [49], ингибируя, к примеру, пролиферацию *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus sanguis*, *Actinobacillus actinomycetecomitans* и *Prevotella intermedia* при минимальной пороговой концентрации (МПК) в диапазоне от 1 до 8 мг/мл [102], а также *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* при МПК 20 мкг/мл. Более того, структурные модификации кверцетина усиливают его антимикробную активность по сравнению с родительской молекулой, например, кверцетин-5,3'-диметилловый эфир проявлял антибактериальные эффекты в отношении *Micrococcus luteus* и *Shigella sonnei* при МПК 25 мкг/мл [72]. Также было показано, что кверцетин подавляет рост различных лекарственно-устойчивых микроорганизмов, например, метициллин-резистентного золотистого стафилококка (MRSA) [66]. Он же демонстрирует противогрибковый потенциал в отношении *Aspergillus fumigatus* [125], *Candida* spp. [45], *Candida albicans* и *Saccharomyces cerevisiae* [66]. В целом, грамотрицательные бактерии более устойчивы к бактерицидному действию кверцетина, чем грамположительные виды [116].

Несколько противоречивые данные получены в отношении бактерицидных свойств 7-гидроксикумарина (умбеллиферона), выделяемого из экстрактов различных представителей семейства Зонтичные (*Umbelliferae*) – сельдерея, тмина, петрушки, фенхеля и др. [74]. В частности, с помощью метода микроразведений были установлены минимальные ингибирующие концентрации (МИК) умбеллиферона в отношении золотистого стафилококка, синегнойной палочки, а также метициллин-резистентных *Staphylococcus aureus* (MRSA) и *Escherichia coli*, составившие, соответственно, 500 мкг/мл и 1000 мкг/мл [54]. Чистый умбеллиферон показал умеренную антибактериальную активность с зонами ингибирования (количество образца 500 мкг) 1-4 мм в отношении *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus epidermidis*. Кумарин был неактивен в отношении бактериальных штаммов *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus* и *Staphylococcus aureus*, а также против грибковых штаммов *Candida albicans*, *Saccharomyces cerevisiae* и *Aspergillus niger*. Также оценивали активность умбеллиферона с помощью дискового диффузного метода в отношении растительных патогенных грибов. Он силь-

но подавлял рост *Fusarium culmorum* и был неактивен в отношении штаммов *Heterobasidium annosum*, *Botrytis cinerea*, *Phytophthora (cactorum)*, *Rhizoctonia solani* и *Rhizoctonia uninucleate* [85]. Аналогично, умбеллиферон в концентрации 5×10^{-3} М был совершенно неактивен в отношении *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus lysodeicticus* и *Bacillus megatherium*, *Escherichia coli*, *Aerobacter aerogenes* и *Serratia marcescens* [21]. Умбеллиферон в концентрации 500 ppm не мог подавлять рост *Bacillus cereus*, *Sarcina lutea*, *Staphylococcus aureus* SG8A, *Streptococcus lactis*, *Alcaligenes faecalis* B170, *Escherichia coli* ML30, *Pseudomonas aeruginosa* 111, *Salmonella typhimurium* Tml, *Serratia marcescens*, а также грибковых штаммов *Zygosaccharomyces* spp, *Candida* spp, *Pichia chodatii*, *Hansenula anomala*, *Saccharomyces* spp, *Torula uilis*, *Hanseniaspora melligeri*, *Aspergillus* spp, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus senti*, *Botrytis cinerea* и *Alienaria* spp, в то время как рост *Byssoschlamys fulva* был эффективно подавлен [52]. Минимальная пороговая концентрация в отношении фитопатогена *Ralstonia solanacearum* составила 256 мг/л [121]. Такие отличия могут быть обусловлены различной структурой поверхностного антигенного аппарата у дифференцированных штаммов одного и того же вида бактерий, либо же условиями экспериментов и взаимодействием с компонентами питательных растворов. В частности, в опыте с *Fusarium oxysporum* при введении чистого умбеллиферона в количестве 1,6 мг/мл интенсивность ингибирования достигала 93,66 % и оставалась на этом же уровне после обработки светом, окислителем, восстановителем, Ca^{2+} , но значительно повышалась в кислой среде и снижалась в щелочной; после обработки Co^{2+} и Ni^{2+} ингибирующий эффект достигал 100 %, а противогрибковый эффект значительно усиливался после воздействия Mn^{2+} , напротив K^{+} подавлял противогрибковую активность [42].

Менее всего изучены антибиотические свойства ванилина [70], однако и в этом случае имеется ряд исследований, подтверждающих возможность его воздействия на бактериальные сообщества. Так, в частности, Ngarmasak M. et al. (2006), продемонстрировали, что ванилин эффективно подавляет рост и размножение бактерий *Pantoea agglomerans*, *Aeromonas enteropelogenes*, *Micrococcus lylae* и *Sphingobacterium spiritovorun* (МПК от 10 до 13,3 мМ), грибов *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. и *Fusarium* sp. (МПК от 12,5 до 13,3 мМ) и трех неопознанных дрожжей (МПК от 5,0 до 6,7 мМ), вызывающих порчу манго. Микробиологический анализ при хранении до 14 суток показал, что обработка 80 мМ ванилином значительно задерживает ($P < 0,05$) развитие общих аэробных бактерий и популяций дрожжей и плесени [81].

Иными словами, все исследуемые вещества в той или иной степени обладают антибиотическими свойствами, и соответственно, могут выступать в качестве метаболизм-регулирующих агентов. При этом, однако, не следует оценивать эффекты от их применения как тривиальные или однонаправленные, поскольку они в широком спектре определяются не только нагрузочной дозой, но и молекулярной структурой биоактивных центров (функциональный групп) малых молекул. Последние же, в свою очередь детерминируют перечень возможных механизмических моделей, согласно которым фитобиотики взаимодействуют с клеткой. Так, к примеру биологические свойства кверцетина и 7-гидроксикумарина связывают с наличием в их структуре гидроксильных групп [88], транскоричного альдегида – с присутствием электрофильных участков (β -углерод на сопряженной двойной связи и углерод карбонильной группы) [27], ванилина, соответственно – с альдегидной, фенольной и эфирной составляющими [9, 30]. При этом, считается, что основные механизмы действия фитобиотиков, как показано на примере кверцетина, направлены на повреждение клеточных мембран или изменение их проницаемости, угнетение синтеза нуклеиновых кислот и белков, снижение экспрессии факторов вирулентности, митохондриальную дисфункцию, а также предотвращение образования биопленки [82]. В частности, известно, что малые молекулы, в структуре которых имеются фенольные группы -ОН, могут проникать через бактериальную плазматическую мембрану и связывать АТФ, или одновалентные катионы, такие как K^+ , транспортируя их из бактериальной клетки, и влияя тем самым на мембранный потенциал и гомеостаз [43, 122]. Кроме того, гидроксильная группа способна связывать и ингибировать ферменты, такие как АТФаза [38].

В свою очередь, терпены, в том числе и коричный альдегид, продемонстрировали способность изменять липидный профиль бактериальной плазматической мембраны, вызывая увеличение в ней концентрации насыщенных жирных кислот, что ведет к повышению жесткости последней [25], и как итог – к деполяризации, потере целостности мембраны, снижению дыхательной активности и коагуляции цитоплазматического материала [12, 47]. Так, например, обработка клеток *Bacillus cereus* и *Escherichia coli* в экспоненциальной фазе роста коричным альдегидом приводила к филаментации и ингибированию процессов деления за счет связывания фитобиотика с нитевидным температурочувствительным мембранным белком FtsZ, участвующим в цитокинезе: образование перегородок в этом случае было начато, но не завершено [26]. В других исследованиях было проде-

монстрировано, что транс-коричный альдегид снижает экспрессию генов *curl* и *Shiga-like toxin stx2* у кишечной палочки [59], а различные его производные предотвращают адгезию *Vibrio parahaemolyticus* и *Vibrio harveyi* к инфицируемым клеткам, уменьшают секрецию протеазы и производство сигнальной молекулы индола, ингибируют образование биопленок и экспрессию связанных с этим процессом генов (*aphA*, *cpsA*, *luxS* и *opaR*), а также генов вирулентности (*fliA*, *tdh* и *vopS*) и генов мембранной целостности (*fadL* и *nusA*) [28].

Схожим действием обладает и умбеллиферон. Так, в 2022 г. *Giovannuzzi S. et al.* сообщили о том, что он ингибирует бактериальные α -карбоангидразы (α -CAs) из патогенов *Neisseria gonorrhoeae* (NgCA α) и холерного вибриона (VchCA α) в среднемоярном диапазоне $K_a = 77,1$ мкМ и 68,5 мкМ, соответственно [39]. В другой работе, было установлено, что 7-гидрохикумарин также подавляет и тирозиназу [50]. Аналогичным образом, было показано, что ванилин ингибирует дыхание и рассеивает градиенты калия, бактериостатически действуя на *Escherichia coli*, *Lactiplantibacillus plantarum* и *Listeria innocua* при МПК 15, 75 и 35 ммоль/л, соответственно. При этом он, однако почти не повреждает цитоплазматическую мембрану и не затрагивает внутриклеточные пулы АТФ (за исключением *Lactiplantibacillus plantarum*, где выработка АТФ увеличивалась) [30].

Таким образом, исходя из вышесказанного, будет обоснованным предполагать, что малые молекулы растительного происхождения, попадая в микробную экосистему рубца, так или иначе способны модифицировать ее структуру и свойства за счет подавления деятельности одних, индифферентности по отношению к другим, или даже путем стимулирования третьих видов бактерий или простейших; доказательством тому - обилие исследований, подчеркивающих микробиом-модулирующие свойства фитобиотиков [48, 1, 55]. Согласно последним различные фитогеники способны дифференцированно стимулировать или ингибировать пищеварительные процессы в рубце, в том числе - ферментативную активность, выработку летучих жирных кислот, форм азота, сахаров и метана [19].

Так, например, Yang, Y. Y. et al. (2021) обнаружили, что введение в рацион телят голштинской породы инкапсулированного коричневого альдегида не влияет на интенсивность роста, однако снижает частоту диареи и индекс разнообразия микробиоты по Симпсону, при этом разнообразие по Шеннону растет, увеличивается численность *Firmicutes* и *Actinobacteria* на уровне типа и *Prevotella* на уровне рода [123]. Однако установленная в этом случае положительная динамика по концентрации летучих жирных

кислот в рубце, в том числе ацетата, пропионата, бутирата и валерата, не согласуется с представленными выше опытными данными, что может быть обусловлено породными и возрастными особенностями животных, а также различиями по составу рациона и используемыми дозировками [13, 17]. В частности, в другом исследовании на той же породе было установлено, что эфирное масло корицы не влияет на концентрацию аммиачного азота и летучих жирных кислот в рубце, но относительная численность простейших и метаногенов при этом снижается, сокращаются популяции *Fibrobacter succinogenes* и *Ruminococcus albus* [57], что гармонирует со снижением выработки CH_4 (Опыт CN). Тенденцию по нивелированию доли метана и аммиака в рубцовой жидкости подтверждают также работы Cobellis G. et al. (2016) и Li Y. et al. (2012) [19, 67]. Аналогично, в эксперименте с ферментерами Russitec и рубцовой жидкостью овец коричный альдегид увеличивал разнообразие и модифицировал структуру бактериальных сообществ при 9-дневной инкубации, но снижал концентрацию бактериальной ДНК после 14 дней. Тем не менее относительная численность грибов, архей, *Fibrobacter succinogenes*, *Ruminococcus flavefaciens* и *Ruminococcus albus* не менялась относительно контроля, а выработка микробного белка увеличивалась [35], что говорит о возможностях адаптации микробиоты к циннамальдегиду при длительном воздействии. Примечательно, что в этой работе амилолитическая активность рубцовой жидкости при воздействии коричневого альдегида также имела тенденцию к снижению, как и в проведенном нами эксперименте. Таким образом, коричный альдегид обладает существенным потенциалом в роли модификатора ферментации в рубце жвачных, в частности в области снижения выбросов метана, однако его эффекты по отношению к выработке летучих жирных кислот и концентрации различных форм азота меняются в зависимости от вида животного, состава базового рациона и сроков скормливания.

Аналогичным образом, Sinz et al. (2018) сообщили, что флавоноиды, такие как дубильная кислота, эпикатехин, кверцетин, изокверцетин и лютеолин-7-глюкозид, уменьшают количество производимого метана по отношению к общему объему выделяемого газа в рубце [105]. Тестируемые флавоноиды, по их мнению, обладают таким же потенциалом, как и дубильная кислота для смягчения образования метана и аммиака во время ферментации в рубце *in vitro*, что благоприятно для окружающей среды. Похожие данные были получены и в экспериментах Oskoueian E. et al. (2013), показавших, что кверцетин в концентрации 4,5 % сни-

жает общую микробную популяцию в рубце, в том числе численность метаногенов и простейших, а также в определенной степени ингибирует выработку микробного белка, что согласуется с представленными выше данными по концентрации белкового азота [87]. Тем не менее, рутин – производное кверцетина, в дозе 3,0 мг/кг рациона способствовал снижению pH, концентрации аммонийного и мочевинового азота, а также белка простейших в рубце дойных коров, при этом стимулируя выработку летучих жирных кислот и микробного сырого протеина, а также повышал содержание лизоцима сыворотки крови, надои и усвояемость кормов [20]. В другой работе было показано, что добавки кверцетина значительно улучшают разнообразие кишечного бактериального сообщества у мышей, получавших антибиотики. При этом восстанавливается барьерная функция кишечника, о чем свидетельствует снижение содержания D-молочной кислоты в сыворотке крови и активности сывороточной диаминоксидазы. Длина кишечных ворсинок и толщина слизистых оболочек также были значительно увеличены в ответ на лечение кверцетином. Кроме того, выработка бутирата в фекалиях была значительно увеличена у мышей, получавших кверцетин [100]. Аналогично, Mi, W. et al. (2022) установили, что у мышей, введение в рацион кверцетина после приема антибиотиков увеличивает численность полезных для здоровья видов бактерий в кишечнике, включая *Faecalibaculum rodentium* (103,13%), *Enterorhabdus caecimuris* (4,13%), *Eggerthella lenta* (4%), *Roseburia hominis* (1,33%) и *Enterorhabdus mucosicola* (1,79%), по сравнению с модельной группой. Эти виды бактерий положительно связаны с экспрессией бутирата, пропионата и белков плотных соединений кишечного эпителия (zonula occludens-1 и occludin), но отрицательно – с уровнем липополисахаридов сыворотки крови и фактора некроза опухоли α . Кроме того, анализ метаболических путей показал, что пищевой кверцетин значительно усиливает сплайсосомы (111,11%), плотные соединения (62,96%), цитратный цикл (10,41%), метаболизм пирувата (6,95%) и биосинтез лизина (5,06%), но снижает биосинтез жирных кислот (23,91%) и биосинтез N-гликана (7,37%). Иными словами, диетический кверцетин увеличивал долю бутират-продуцирующих видов бактерий, а ацетил-КоА-опосредованный бутират ускорял углеводный и энергетический обмен, снижал подвижность клеток и эндотоксемию, увеличивал барьерную функцию кишечника.

Что касается кумарина и ванилина, то данных о их микробиом-модулирующих свойствах не так много, поскольку они в большей степени тести-

руются как аналоги лекарственных препаратов [7, 93]. Но, тем не менее, сам этот факт, а также описанные выше бактерицидные эффекты этих соединений говорят о возможности такого действия. В частности, было установлено, что кумарин и кумариновая кислота способны ингибировать утилизацию сахаров анаэробными грибами рубца *Neocallimastix frontalis* и *Neocallimastix patriciarum* [15]. Ванилин же дозозависимо в концентрациях 0,76 и 1,52 г/л снижал выработку метана, коэффициент переваримости кормового субстрата, концентрацию аммиака и летучих жирных кислот *in vitro*. При этом популяция простейших сократилась, но численность *Ruminococcus flavefaciens*, *Prevotella bryantii*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Prevotella ruminicola*, *Clostridium aminophilum* и *Ruminobacter amylophilus* увеличилась с увеличением доз ванилина [91].

Таким образом, ванилин, 7-гидроксикумарин, транскоричный альдегид и дигидрокверцетин могут существенным образом модифицировать микробиальную экосистему жвачных, однако эффект от их применения во многом зависит от возраста, вида и породы, а также рациона подопытных животных и используемых дозировок. В частности, в перечисленных здесь работах как правило не было установлено положительного влияния фитогеников на переваримость сухого вещества корма, в то время как в проведенном нами эксперименте она достоверно увеличивалась во всех группах. Возможно это связано с использованием значительно меньших концентраций в сравнении с описанными ранее.

Также следует отметить, что свойства фитобиотических добавок могут существенно меняться в результате их метаболических превращений и разложения в рубце жвачных [58], и тем более при взаимодействии с другими биоактивными компонентами [23]. Так, к примеру, кверцетин действовал синергетически с другими химиотерапевтическими соединениями и антибиотиками, подавляя рост метициллин-резистентного *Staphylococcus aureus* [6]. Аналогичным образом, минимальные ингибирующие концентрации были значительно ниже, когда *Pseudomonas fluorescens*, обрабатывали кверцетином вместе с лактоферрином и гидроксиапатитом, чем, когда их обрабатывали только кверцетином [78]. Ванилин, в свою очередь модулировал активность гентамицина и имипенема в отношении золотистого стафилококка и кишечной палочки, но не влиял на результативность норфлоксацина, тетрациклина и эритромицина в отношении этих же микроорганизмов, однако в отношении *Pseudomonas aeruginosa* ассоциация ванилина с норфлоксацином действовала синергетически [10]. Различные синтетические соединения на основе умбеллиферона также показали наличие противовоспалительных, антиоксидантных, нейропротекторных, противоэпилепти-

ческих, противодиабетических, противомикробных и противовирусных свойств [60]. Примечательно наличие синергетического бактерицидного эффекта в случае комбинации ванилина с эфирным маслом корицы [16], что согласуется с максимальным снижением выработки ЛЖК в опыте VN+CN.

Заключение

Проведенные исследования демонстрируют существенный потенциал транс-коричного альдегида, ванилина, 7-гидроксикумарина, дигидрокверцетина и их комбинаций в качестве модификаторов ферментативных процессов в рубце. Показано, что они способствуют повышению переваримости сухого вещества кормового субстрата *in situ* в диапазоне от +5,5 % (CN+CM) до +12,8 % (CM), модулируют амилолитическую и целлюлозолитическую активность, дигидрокверцетин и его комплекс с ванилином обладает максимальным потенцирующим эффектом в выработке летучих жирных кислот. Между тем, установлено, что ванилин, дигидрокверцетин и транскоричный альдегид нивелируют выработку CH_4 . Таким образом, перечисленные фитогеники могут выступать в качестве потенциальных регуляторов рубцового пищеварения, однако для полного понимания механизмов их действия на фоне существующих расхождений в результатах современных экспериментов необходимо провести детальный анализ не только качественного и количественного состава микробиоты, но и динамики метаболических путей в рубце жвачных при внесении фитобиотических компонентов в рационы различного состава для животных отличающихся по полу, возрасту, породе и условиям содержания.

Заключение комитета по этике. Дизайн и методика эксперимента были рассмотрены и одобрены комитетом по биоэтике (Протокол № 2 от 11 марта 2024 г.).

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 22-76-10008, <https://rscf.ru/project/22-76-10008/>

Список литературы / References

1. Власенко, Л. В., Атландерова, К. Н., Дускаев, Г. К., & Шошин, Д. Е. (2023). Влияние фитохимических веществ на сигнальные молекулы системы

- «Quorum Sensing» у бактерий. *Международный вестник ветеринарии*, (2), 25–31. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.2.25>. EDN: <https://elibrary.ru/DUSZLN> (Vlasenko, L. V., Atlanderova, K. N., Duskaev, G. K., & Shoshin, D. E. (2023). Effect of phytochemicals on signaling molecules of the “Quorum Sensing” system in bacteria. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (2), 25–31. <https://doi.org/10.52419/issn2072-2419.2023.2.25>. EDN: <https://elibrary.ru/DUSZLN>)
2. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.). <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=m6638an2zk797764414#review> (*Methodological recommendations MP 2.3.1.0253-21 “Norms of physiological requirements for energy and nutrients for various population groups of the Russian Federation”* (approved by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing on July 22, 2021). Retrieved from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=m6638an2zk797764414#review>)
 3. Шошин, Д. Е., Дускаев, Г. К., Атландерова, К. Н., & Власенко, Л. В. (2023). Влияние фитомолекулярных комплексов на бактериальную люминесценцию in vitro. *Ветеринария и кормление*, (5), 91–93. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-5-22>. EDN: <https://elibrary.ru/TWCLTQ> (Shoshin, D. E., Duskaev, G. K., Atlanderova, K. N., & Vlasenko, L. V. (2023). Effect of phytomolecular complexes on bacterial bioluminescence in vitro. *Veterinary Medicine and Feeding*, (5), 91–93. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-5-22>. EDN: <https://elibrary.ru/TWCLTQ>)
 4. Ahmed, M. G., Elwakeel, E. A., El-Zarkouny, S. Z., & Al-Sagheer, A. A. (2024). Environmental impact of phytobiotic additives on greenhouse gas emission reduction, rumen fermentation manipulation, and performance in ruminants: an updated review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33664-5>. EDN: <https://elibrary.ru/MMDRZT>
 5. Álvarez-Martínez, F. J., Barrajón-Catalán, E., Herranz-López, M., & Micol, V. (2021). Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: an updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine*, 90, 153626. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>. EDN: <https://elibrary.ru/DWJXCJ>
 6. Amin, M. U., Khurram, M., Khattak, B., & Khan, J. (2015). Antibiotic additive and synergistic action of rutin, morin and quercetin against methicillin-resistant *Staphy-*

- lococcus aureus*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 15, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12906-015-0580-0>. EDN: <https://elibrary.ru/XYTOBQ>
7. Arya, S. S., Rookes, J. E., Cahill, D. M., & Lenka, S. K. (2021). Vanillin: a review on the therapeutic prospects of a popular flavouring molecule. *Advances in Traditional Medicine*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13596-020-00531-w>. EDN: <https://elibrary.ru/LVFOER>
 8. Bagno, O. A., Prokhorov, O. N., Shevchenko, S. A., Shevchenko, A. I., & Dyadichkina, T. V. (2018). Use of phytochemicals in farm animal feeding. *Agricultural Biology*, 53(4), 687–697. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.4.687eng>. EDN: <https://elibrary.ru/UZBLPC>
 9. Banerjee, G., & Chattopadhyay, P. (2019). Vanillin biotechnology: the perspectives and future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 499–506. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9303>
 10. Bezerra, C. F., Camilo, C. J., do Nascimento Silva, M. K., de Freitas, T. S., Ribeiro-Filho, J., & Coutinho, H. D. M. (2017). Vanillin selectively modulates the action of antibiotics against resistant bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 113, 265–268. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.10.052>
 11. Błaszczak, N., Rosiak, A., & Kałużna-Czaplińska, J. (2021). The potential role of cinnamon in human health. *Forests*, 12(5), 648. <https://doi.org/10.3390/f12050648>. EDN: <https://elibrary.ru/HEQDAR>
 12. Bouhdid, S., Abrini, J., Amensour, M., Zhiri, A., Espuny, M. J., & Manresa, A. (2010). Functional and ultrastructural changes in *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* cells induced by *Cinnamomum verum* essential oil. *Journal of Applied Microbiology*, 109(4), 1139–1149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.04124.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YVVQLV>
 13. Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A., Cardozo, P. W., & Kamel, C. (2005). Effects of cinnamaldehyde and garlic oil on rumen microbial fermentation in a dual flow continuous culture. *Journal of Dairy Science*, 88(7), 2508–2516. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72928-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72928-3)
 14. Calo, J. R., Crandall, P. G., O'Bryan, C. A., & Rieke, S. C. (2015). Essential oils as antimicrobials in food systems — a review. *Food Control*, 54, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.040>
 15. Cansunar, E., Richardson, A. J., Wallace, G., & Stewart, C. S. (1990). Effect of coumarin on glucose uptake by anaerobic rumen fungi in the presence and absence of *Methanobrevibacter smithii*. *FEMS Microbiology Letters*, 70(2), 157–160. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb13970.x>
 16. Cava-Roda, R. M., Taboada-Rodríguez, A., Valverde-Franco, M. T., & Marín-Iniesta, F. (2012). Antimicrobial activity of vanillin and mixtures with cinnamon and

- clove essential oils in controlling *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli* O157:H7 in milk. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 2120–2131. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0484-4>. EDN: <https://elibrary.ru/LHURYI>
17. Chaves, A. V., Stanford, K., Gibson, L. L., McAllister, T. A., & Benchaar, C. (2008). Effects of carvacrol and cinnamaldehyde on intake, rumen fermentation, growth performance, and carcass characteristics of growing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1–4), 396–408. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.016>
18. Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M., & Yu, Z. (2016). Critical evaluation of essential oils as rumen modifiers in ruminant nutrition: a review. *Science of the Total Environment*, 545, 556–568. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.103>
19. Cobellis, G., Trabalza-Marinucci, M., Marcotullio, M. C., & Yu, Z. (2016). Evaluation of different essential oils in modulating methane and ammonia production, rumen fermentation, and rumen bacteria in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.008>
20. Cui, K., Guo, X. D., Tu, Y., Zhang, N. F., Ma, T., & Diao, Q. Y. (2015). Effect of dietary supplementation of rutin on lactation performance, ruminal fermentation and metabolism in dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99(6), 1065–1073. <https://doi.org/10.1111/jpn.12334>
21. Dadák, V., & Hoďák, K. (1966). Some relations between the structure and the antibacterial activity of natural coumarins. *Experientia*, 22(1), 38–39. <https://doi.org/10.1007/BF01897757>. EDN: <https://elibrary.ru/DLWKCW>
22. Day, L., Cakebread, J. A., & Loveday, S. M. (2022). Food proteins from animals and plants: differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>. EDN: <https://elibrary.ru/BQRSCJ>
23. de Souza, K. A., de Oliveira Monteschio, J., Mottin, C., Ramos, T. R., de Moraes Pinto, L. A., Eiras, C. E., Guerrero, A., & do Prado, I. N. (2019). Effects of diet supplementation with clove and rosemary essential oils and protected oils (eugenol, thymol and vanillin) on animal performance, carcass characteristics, digestibility, and ingestive behavior activities for Nellore heifers finished in feedlot. *Livestock Science*, 220, 190–195. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.12.026>
24. Devendra, C., & Leng, R. A. (2011). Feed resources for animals in Asia: issues, strategies for use, intensification and integration for increased productivity. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(3), 303–321. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.r.05>
25. Di Pasqua, R., Betts, G., Hoskins, N., Edwards, M., Ercolini, D., & Mauriello, G. (2007). Membrane toxicity of antimicrobial compounds from essential oils.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(12), 4863–4870. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900568>. EDN: <https://elibrary.ru/OACPAN>
26. Domadia, P., Swarup, S., Bhunia, A., Sivaraman, J., & Dasgupta, D. (2007). Inhibition of bacterial cell division protein FtsZ by cinnamaldehyde. *Biochemical Pharmacology*, 74(6), 831–840. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2007.06.029>
27. Doyle, A. A., & Stephens, J. C. (2019). A review of cinnamaldehyde and its derivatives as antibacterial agents. *Fitoterapia*, 139, 104405. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2019.104405>
28. Faleye, O. S., Sathiyamoorthi, E., Lee, J. H., & Lee, J. (2021). Inhibitory effects of cinnamaldehyde derivatives on biofilm formation and virulence factors in *Vibrio* species. *Pharmaceutics*, 13(12), 2176. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13122176>. EDN: <https://elibrary.ru/OIMTXA>
29. Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., & Narbad, A. (2005). Structure–function analysis of the vanillin molecule and its antifungal properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5), 1769–1775. <https://doi.org/10.1021/jf048575t>
30. Fitzgerald, D. J., Stratford, M., Gasson, M. J., Ueckert, J., Bos, A., & Narbad, A. (2004). Mode of antimicrobial action of vanillin against *Escherichia coli*, *Lactobacillus plantarum* and *Listeria innocua*. *Journal of Applied Microbiology*, 97(1), 104–113. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02275.x>. EDN: <https://elibrary.ru/FOZWBR>
31. Flint, A. P. F., & Woolliams, J. A. (2008). Precision animal breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 573–590. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2171>
32. Food and Agriculture Organization (FAO). <https://www.fao.org/faostat/ru/#compare>
33. Friedman, M. (2017). Chemistry, antimicrobial mechanisms, and antibiotic activities of cinnamaldehyde against pathogenic bacteria in animal feeds and human foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(48), 10406–10423. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04344>
34. Galukande, E., Mulindwa, H., Wurzinger, M., Roschinsky, R., Mwai, A. O., & Sölkner, J. (2013). Cross-breeding cattle for milk production in the tropics: achievements, challenges and opportunities. *Animal Genetic Resources / Ressources génétiques animales / Recursos genéticos animales*, 52, 111–125. <https://doi.org/10.1017/S2078633612000471>
35. García-Rodríguez, J., Saro, C., Mateos, I., Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2024). Effects of garlic oil and cinnamaldehyde on sheep rumen fermentation and microbial populations in Rusitec fermenters in two different sampling periods. *An-*

- imals, 14(7), 1067. <https://doi.org/10.3390/ani14071067>. EDN: <https://elibrary.ru/SDWSCH>
36. Garg, S. S., Gupta, J., Sharma, S., & Sahu, D. (2020). An insight into the therapeutic applications of coumarin compounds and their mechanisms of action. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 152, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105424>. EDN: <https://elibrary.ru/XQOBAG>
37. Getabalew, M., & Alemneh, T. (2019). The application of biotechnology on livestock feed improvement. *Arch. Biomed. Eng. Biotechnol*, 1(5). <https://doi.org/10.33552/ABEB.2019.01.000522>
38. Gill, A. O., & Holley, R. A. (2006). Inhibition of membrane-bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2), 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.046>
39. Giovannuzzi, S., Hewitt, C. S., Nocentini, A., Capasso, C., Flaherty, D. P., & Supuran, C. T. (2022). Coumarins effectively inhibit bacterial α -carbonic anhydrases. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 37(1), 333–338. <https://doi.org/10.1080/14756366.2021.2012174>. EDN: <https://elibrary.ru/YWOOIC>
40. Gonelimali, F. D., Lin, J., Miao, W., Xuan, J., Charles, F., Chen, M., & Hatab, S. R. (2018). Antimicrobial properties and mechanism of action of some plant extracts against food pathogens and spoilage microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1639. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01639>
41. Guadayo, G. F., Rayos, A. A., Merca, F. E., Tandang, A. G., Loresco, M. M., & Angeles, A. A. (2019). Prediction of in situ ruminal degradability of forages in buffaloes using the in vitro gas production technique. *Tropical Animal Science Journal*, 42(2), 128–136. <https://doi.org/10.5398/tasj.2019.42.2.128>
42. Guocai, Z., Jiyuan, A., Zhenting, X., Weihu, M., Heming, S., & Shouquan, C. (2022). Study on the antifungal activity and stability of 7-hydroxycoumarin. *Journal of Southwest Forestry University*, 42(2), 77–82. <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202012026>
43. Hemaiswarya, S., & Doble, M. (2009). Synergistic interaction of eugenol with antibiotics against Gram-negative bacteria. *Phytomedicine*, 16(11), 997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2009.04.006>
44. Henschion, M., Moloney, A. P., Hyland, J., Zimmermann, J., & McCarthy, S. (2021). Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal*, 15, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100287>. EDN: <https://elibrary.ru/IBCFFM>

45. Herrera, C. L., Alvear, M., Barrientos, L., Montenegro, G., & Salazar, L. A. (2010). The antifungal effect of six commercial extracts of Chilean propolis on *Candida* spp. *Ciencia e Investigación Agraria*, 37(1), 75–84. <https://doi.org/10.4067/S0718-16202010000100007>
46. Hoffmann, I. (2010). Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources. *Animal Genetics*, 41, 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02043.x>. EDN: <https://elibrary.ru/NAPKVF>
47. Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
48. Jahani-Azizabadi, H., Baraz, H., Bagheri, N., & Ghaffari, M. H. (2022). Effects of a mixture of phytobiotic-rich herbal extracts on growth performance, blood metabolites, rumen fermentation, and bacterial population of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 5062–5073. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20687>. EDN: <https://elibrary.ru/TQICTX>
49. Jaisinghani, R. N. (2017). Antibacterial properties of quercetin. *Microbiology Research*, 8(1), 6877. <https://doi.org/10.3390/molecules27082494>
50. Jung, M. S., Jin, H. U., Kim, M. S., & An, C. E. (2024). Anti-melanogenic effects of umbelliferone: in vitro and clinical studies. *Molecules*, 29(23), 5571. <https://doi.org/10.3390/molecules29235571>. EDN: <https://elibrary.ru/KIWOPK>
51. Junior, P. C. G. D., da Silva, A. L., dos Santos, I. J., Soares, L. C., Carlis, M. S., Vicente, A. C. S., de Souza, T. T., de Assis, R. G., Biava, J. S., Quigley, S., Pires, A. V., & Ferreira, E. M. (2024). Orange (*Citrus sinensis*) essential oil inclusion in high-energy diets for feedlot lambs: productivity, eating behavior, carcass characteristics, rumen morphometry, and fatty acid profile of the meat. *Small Ruminant Research*, 238, 107326. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107326>. EDN: <https://elibrary.ru/MAMQMM>
52. Jurd, L., King Jr, A. D., & Mihara, K. (1971). Antimicrobial properties of umbelliferone derivatives. *Phytochemistry*, 10(12), 2965–2970. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)97333-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)97333-3)
53. Kamirova, A. M., Sizova, E. A., Shoshin, D. E., & Ivanishcheva, A. P. (2024). The combined effect of ultrafine particles of cobalt and manganese oxides and *Origanum vulgare* herb extract on ruminal digestion in vitro. *Veterinary World*, 17(1), 189. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2024.189-196>. EDN: <https://elibrary.ru/BRRPDQ>
54. Khan, R., Bhat, K. A., Raja, A. F., Shawl, A. S., & Alam, M. S. (2010). Isolation, characterisation and antibacterial activity studies of coumarins from *Rhododendron lepidotum* Wall. ex G. Don, Ericaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20, 886–890. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010005000037>

-
55. Kholif, A. E., & Olafadehan, O. A. (2021). Essential oils and phytogetic feed additives in ruminant diet: chemistry, ruminal microbiota and fermentation, feed utilization and productive performance. *Phytochemistry Reviews*, 20(6), 1087–1108. <https://doi.org/10.1007/s11101-021-09739-3>. EDN: <https://elibrary.ru/LAUXWK>
56. Kholif, A. E., Hassan, A. A., El Ashry, G. M., Bakr, M. H., El-Zaiat, H. M., Olafadehan, O. A., Matloup, O. H., & Sallam, S. M. A. (2021). Phytogetic feed additives mixture enhances the lactational performance, feed utilization and ruminal fermentation of Friesian cows. *Animal Biotechnology*, 32(6), 708–718. <https://doi.org/10.1080/10495398.2020.1746322>. EDN: <https://elibrary.ru/GLABYE>
57. Khorrami, B., Vakili, A. R., Mesgaran, M. D., & Klevenhusen, F. (2015). Thyme and cinnamon essential oils: potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems. *Animal Feed Science and Technology*, 200, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.009>
58. Kim, D., Kuppusamy, P., Jung, J. S., Kim, K. H., & Choi, K. C. (2021). Microbial dynamics and in vitro degradation of plant secondary metabolites in Hanwoo steer rumen fluids. *Animals*, 11(8), 2350. <https://doi.org/10.3390/ani11082350>. EDN: <https://elibrary.ru/FYKRSK>
59. Kim, Y. G., Lee, J. H., Kim, S. I., Baek, K. H., & Lee, J. (2015). Cinnamon bark oil and its components inhibit biofilm formation and toxin production. *International Journal of Food Microbiology*, 195, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.028>
60. Kornicka, A., Balewski, L., Lahutta, M., & Kokoszka, J. (2023). Umbelliferone and its synthetic derivatives as suitable molecules for the development of agents with biological activities: a review of their pharmacological and therapeutic potential. *Pharmaceuticals*, 16(12), 1732. <https://doi.org/10.3390/ph16121732>. EDN: <https://elibrary.ru/BNNUEL>
61. Kuralkar, P., & Kuralkar, S. V. (2021). Role of herbal products in animal production—an updated review. *Journal of Ethnopharmacology*, 278, 114246. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114246>. EDN: <https://elibrary.ru/CLECKE>
62. Kwon, J. A., Yu, C. B., & Park, H. D. (2003). Bacteriocidal effects and inhibition of cell separation of cinnamic aldehyde on *Bacillus cereus*. *Letters in Applied Microbiology*, 37(1), 61–65. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.2003.01350.x>. EDN: <https://elibrary.ru/ETLRKB>
63. Lamy, E., Van Harten, S., Sales-Baptista, E., Guerra, M. M. M., & De Almeida, A. M. (2012). Factors influencing livestock productivity. *Environmental Stress and Amelioration in Livestock Production*, 19–51. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29205-7_2

64. Lee, H. S., & Ahn, Y. J. (1998). Growth-inhibiting effects of *Cinnamomum cassia* bark-derived materials on human intestinal bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(1), 8–12. <https://doi.org/10.1021/jf970548y>
65. Li, A. P., He, Y. H., Zhang, S. Y., & Shi, Y. P. (2022). Antibacterial activity and action mechanism of flavonoids against phytopathogenic bacteria. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 188, 105221. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105221>. EDN: <https://elibrary.ru/OCRWEA>
66. Li, K., Xing, S., Wang, M., Peng, Y., Dong, Y., & Li, X. (2012). Anti-complement and antimicrobial activities of flavonoids from *Entada phaseoloides*. *Natural Product Communications*, 7(7), 1934578X1200700715. <https://doi.org/10.1177/1934578X1200700715>
67. Li, Y., He, M., Li, C., Forster, R., Beauchemin, K. A., & Yang, W. (2012). Effects of wheat dried distillers' grains with solubles and cinnamaldehyde on in vitro fermentation and protein degradation using the Rusitec technique. *Archives of Animal Nutrition*, 66(2), 131–148. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2012.656479>
68. Low, C. X., Tan, L. T. H., Ab Mutalib, N. S., Pusparajah, P., Goh, B. H., Chan, K. G., Letchumanan, V., & Lee, L. H. (2021). Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: a review. *Antibiotics*, 10(5), 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>. EDN: <https://elibrary.ru/JFPAYG>
69. Mahgoub, O., Lu, C. D., & Early, R. J. (2000). Effects of dietary energy density on feed intake, body weight gain and carcass chemical composition of Omani growing lambs. *Small Ruminant Research*, 37(1–2), 35–42. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00132-7](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00132-7)
70. Maisch, N. A., Bereswill, S., & Heimesaat, M. M. (2022). Antibacterial effects of vanilla ingredients provide novel treatment options for infections with multidrug-resistant bacteria—a recent literature review. *European Journal of Microbiology and Immunology*. <https://doi.org/10.1556/1886.2022.00015>. EDN: <https://elibrary.ru/MNIIRM>
71. Malheiro, J. F., Maillard, J. Y., Borges, F., & Simões, M. (2019). Evaluation of cinnamaldehyde and cinnamic acid derivatives in microbial growth control. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 141, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.06.003>
72. Martini, N. D., Katerere, D. R. P., & Eloff, J. N. (2004). Biological activity of five antibacterial flavonoids from *Combretum erythrophyllum* (Combretaceae). *Journal of Ethnopharmacology*, 93(2–3), 207–212. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.02.030>
73. Matté, E. H. C., Luciano, F. B., & Evangelista, A. G. (2023). Essential oils and essential oil compounds in animal production as antimicrobials and anthelmint-

- ics: an updated review. *Animal Health Research Reviews*, 1–11. <https://doi.org/10.1017/S1466252322000093>. EDN: <https://elibrary.ru/QPODFU>
74. Mazimba, O. (2017). Umbelliferone: sources, chemistry and bioactivities review. *Bulletin of Faculty of Pharmacy, Cairo University*, 55(2), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.bfopcu.2017.05.001>
75. McCarthy, U., Uysal, I., Badia-Melis, R., Mercier, S., O'Donnell, C., & Ktenioudaki, A. (2018). Global food security—issues, challenges and technological solutions. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.002>
76. Mi, W., Hu, Z., Xu, L., Bian, X., Lian, W., Yin, S., & Shi, T. (2022). Quercetin positively affects gene expression profiles and metabolic pathway of antibiotic-treated mouse gut microbiota. *Frontiers in Microbiology*, 13, 983358. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.983358>. EDN: <https://elibrary.ru/PHEPZV>
77. Mirkena, T., Duguma, G., Haile, A., Tibbo, M., Okeyo, A. M., Wurzinger, M., & Sölkner, J. (2010). Genetics of adaptation in domestic farm animals: a review. *Livestock Science*, 132(1–3), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.05.003>. EDN: <https://elibrary.ru/MYCFZL>
78. Montone, A. M. I., Papaiani, M., Malvano, F., Capuano, F., Capparelli, R., & Albanese, D. (2021). Lactoferrin, quercetin, and hydroxyapatite act synergistically against *Pseudomonas fluorescens*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17), 9247. <https://doi.org/10.3390/ijms22179247>. EDN: <https://elibrary.ru/UOZIXC>
79. Mueller-Harvey, I., Bee, G., Dohme-Meier, F., Hoste, H., Karonen, M., Kölliker, R., Lüscher, A., Niderkorn, V., Pellikaan, W. F., Salminen, J.-P., Sköt, L., Smith, L. M. J., Thamsborg, S. M., Totterdell, P., Wilkinson, I., Williams, A. R., Azuhwi, B. N., Baert, N., Brinkhaus, A. G., Copani, G., Desrues, O., Drake, C., Engström, M., Fryganas, C., Girard, M., Huyen, N. T., Kempf, K., Malisch, C., Mora-Ortiz, M., Quijada, J., Ramsay, A., Ropiak, H. M., & Waghorn, G. C. (2019). Benefits of condensed tannins in forage legumes fed to ruminants: importance of structure, concentration, and diet composition. *Crop Science*, 59(3), 861–885. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.06.0369>
80. Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>
81. Ngarmsak, M., Delaquis, P., Toivonen, P., Ngarmsak, T., Ooraikul, B., & Mazza, G. (2006). Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes. *Journal of Food Protection*, 69(7), 1724–1727. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.7.1724>

82. Nguyen, T. L. A., & Bhattacharya, D. (2022). Antimicrobial activity of quercetin: an approach to its mechanistic principle. *Molecules*, 27(8), 2494. <https://doi.org/10.3390/molecules27082494>. EDN: <https://elibrary.ru/SXTTRO>
83. O'Bryan, C. A., Pendleton, S. J., Crandall, P. G., & Ricke, S. C. (2015). Potential of plant essential oils and their components in animal agriculture—in vitro studies on antibacterial mode of action. *Frontiers in Veterinary Science*, 2, 35. <https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00035>
84. Ogbuewu, I. P., & Mbajorgu, C. A. (2023). Black pepper (*Piper nigrum* L.) as a natural feed additive and source of beneficial nutrients and phytochemicals in chicken nutrition. *Open Agriculture*, 8(1), 20220204. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0204>. EDN: <https://elibrary.ru/JNVKWN>
85. Ojala, T., Remes, S., Haansuu, P., Vuorela, H., Hiltunen, R., Haahtela, K., & Vuorela, P. (2000). Antimicrobial activity of some coumarin containing herbal plants growing in Finland. *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1–2), 299–305. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(00\)00279-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(00)00279-8)
86. Orzuna-Orzuna, J. F., Godina-Rodríguez, J. E., Garay-Martínez, J. R., & Lara-Bueno, A. (2024). Capsaicin as a dietary additive for dairy cows: a meta-analysis on performance, milk composition, digestibility, rumen fermentation, and serum metabolites. *Animals*, 14(7), 1075. <https://doi.org/10.3390/ani14071075>. EDN: <https://elibrary.ru/WKAZLX>
87. Oskoueian, E., Abdullah, N., & Oskoueian, A. (2013). Effects of flavonoids on rumen fermentation activity, methane production, and microbial population. *BioMed Research International*, 2013(1), 349129. <https://doi.org/10.1155/2013/349129>
88. Osonga, F. J., Akgul, A., Miller, R. M., Eshun, G. B., Yazgan, I., Akgul, A., & Sadik, O. A. (2019). Antimicrobial activity of a new class of phosphorylated and modified flavonoids. *ACS Omega*, 4(7), 12865–12871. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00077>
89. Pandey, A. K., Kumar, P., & Saxena, M. J. (2019). Feed additives in animal health. In *Nutraceuticals in Veterinary Medicine* (pp. 345–362). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-04624-8_23
90. Pashtetsky, V., Ostapchuk, P., Kuevda, T., Zubochenko, D., Yemelianov, S., & Uppe, V. (2020). Use of phytobiotics in animal husbandry and poultry. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 215, p. 02002). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021502002>. EDN: <https://elibrary.ru/OEPPNJ>
91. Patra, A. K., & Yu, Z. (2014). Effects of vanillin, quillaja saponin, and essential oils on in vitro fermentation and protein-degrading microorganisms of the rumen. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98, 897–905. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-4930-x>. EDN: <https://elibrary.ru/QCMAKQ>

-
92. Patra, A., & Lalhriatpuii, M. (2020). Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding—a review. *Biological Trace Element Research*, 197(1), 233–253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQWXMM>
93. Peng, X. M., Lv Damu, G., & He Zhou, C. (2013). Current developments of coumarin compounds in medicinal chemistry. *Current Pharmaceutical Design*, 19(21), 3884–3930. <https://doi.org/10.2174/1381612811319210013>. EDN: <https://elibrary.ru/RHSOHL>
94. Ragkos, A., Koutouzidou, G., Koutsou, S., & Roustemis, D. (2019). A new development paradigm for local animal breeds and the role of information and communication technologies. In *Innovative Approaches and Applications for Sustainable Rural Development: 8th International Conference, HAIC-TA 2017, Chania, Crete, Greece, September 21–24, 2017, Selected Papers 8* (pp. 3–21). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02312-6_1
95. Rao, P. V., & Gan, S. H. (2014). Cinnamon: a multifaceted medicinal plant. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014(1), 642942. <https://doi.org/10.1155/2014/642942>
96. Rege, J. E. O., Marshall, K., Notenbaert, A., Ojango, J. M., & Okeyo, A. M. (2011). Pro-poor animal improvement and breeding — what can science do? *Livestock Science*, 136(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.09.003>
97. Saeed, M., Khan, M. S., Alagawany, M., Farag, M. R., Alqaisi, O., Aqib, A. I., Kumar, M., Siddique, F., & Ramadan, M. F. (2021). Clove (*Syzygium aromaticum*) and its phytochemicals in ruminant feed: an updated review. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32, 273–285. <https://doi.org/10.1007/s12210-021-00985-3>. EDN: <https://elibrary.ru/PFXUZ>
98. Salehi, B., Machin, L., Monzote, L., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Salem, M. A., Merghany, R. M., El Mahdy, N. M., Kılıç, C. S., Sytar, O., Sharifi-Rad, M., Shariopov, F., Martins, N., Martorell, M., & Cho, W. C. (2020). Therapeutic potential of quercetin: new insights and perspectives for human health. *ACS Omega*, 5(20), 11849–11872. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01818>. EDN: <https://elibrary.ru/ZEWVME>
99. Salemedeb, R., Zu Ermgassen, E. K., Kim, M. H., Balmford, A., & Al-Tabbaa, A. (2017). Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, 140, 871–880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.049>
100. Shi, T., Bian, X., Yao, Z., Wang, Y., Gao, W., & Guo, C. (2020). Quercetin improves gut dysbiosis in antibiotic-treated mice. *Food & Function*, 11(9),

- 8003–8013. <https://doi.org/10.1039/D0FO01439G>. EDN: <https://elibrary.ru/PHCJPO>
101. Shim, S. B., Verstegen, M. W. A., Kim, I. H., Kwon, O. S., & Verdonk, J. M. A. J. (2005). Effects of feeding antibiotic-free creep feed supplemented with oligofructose, probiotics or synbiotics to suckling piglets increases the pre-weaning weight gain and composition of intestinal microbiota. *Archives of Animal Nutrition*, 59(6), 419–427. <https://doi.org/10.1080/17450390500353234>
 102. Shu, Y., Liu, Y., Li, L., Feng, J., Lou, B., Zhou, X., & Wu, H. (2011). Antibacterial activity of quercetin on oral infectious pathogens. *African Journal of Microbiology Research*, 5(30), 5358–5361. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.849>
 103. Silva, L. N., Zimmer, K. R., Macedo, A. J., & Trentin, D. S. (2016). Plant natural products targeting bacterial virulence factors. *Chemical Reviews*, 116(16), 9162–9236. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00184>
 104. Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Mehta, P. K. (2016). Microbial enzymes: industrial progress in 21st century. *3 Biotech*, 6, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0485-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YWALLB>
 105. Sinz, S., Kunz, C., Liesegang, A., Braun, U., Marquardt, S., Soliva, C. R., & Kreuzer, M. (2018). In vitro bioactivity of various pure flavonoids in ruminal fermentation, with special reference to methane formation. *Czech Journal of Animal Science*, 63, 293–304. <https://doi.org/10.17221/118/2017-CJAS>
 106. Somagond, A., Aderao, G. N., Girimal, D., & Singh, M. (2024). Animal feeding and watering technologies. In *Engineering Applications in Livestock Production* (pp. 37–62). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98385-3.00009-8>
 107. Tedeschi, L. O., Muir, J. P., Naumann, H. D., Norris, A. B., Ramírez-Restrepo, C. A., & Mertens-Talcott, S. U. (2021). Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 628445. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628445>. EDN: <https://elibrary.ru/MGSHPL>
 108. Torres-León, C., Ramírez-Guzman, N., Londoño-Hernandez, L., Martínez-Medina, G. A., Díaz-Herrera, R., Navarro-Macias, V., Alvarez-Pérez, O. B., Picazo, B., Villarreal-Vazquez, M., Ascacio-Valdes, J., & Aguilar, C. N. (2018). Food waste and byproducts: an opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 52. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00052>. EDN: <https://elibrary.ru/WVPEWV>
 109. Upadhyay, A., Arsi, K., Wagle, B. R., Upadhyaya, I., Shrestha, S., Donoghue, A. M., & Donoghue, D. J. (2017). *Trans*-cinnamaldehyde, carvacrol, and eugenol reduce *Campylobacter jejuni* colonization factors and expression of viru-

- lence genes in vitro. *Frontiers in Microbiology*, 8, 713. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00713>
110. Uwineza, C., Bouzarjomehr, M., Parchami, M., Sar, T., Taherzadeh, M. J., & Mahboubi, A. (2023). Evaluation of in vitro digestibility of *Aspergillus oryzae* fungal biomass grown on organic residue derived-VFAs as a promising ruminant feed supplement. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 120. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00922-4>. EDN: <https://elibrary.ru/IDZXFG>
 111. van Vliet, S., Burd, N. A., & van Loon, L. J. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. *The Journal of Nutrition*, 145(9), 1981–1991. <https://doi.org/10.3945/jn.114.204305>
 112. Varga-Visi, É., Nagy, G., Csivicsik, Á., & Tóth, T. (2023). Evaluation of a phytogenic feed supplement containing carvacrol and limonene on sheep performance and parasitological status on a Hungarian milking sheep farm. *Veterinary Sciences*, 10(6), 369. <https://doi.org/10.3390/vetsci10060369>. EDN: <https://elibrary.ru/ZARRTX>
 113. Vasconcelos, N. G., Croda, J., & Simionatto, S. (2018). Antibacterial mechanisms of cinnamon and its constituents: a review. *Microbial Pathogenesis*, 120, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.04.036>
 114. Wang, J., Dou, X., Song, J., Lyu, Y., Zhu, X., Xu, L., Li, W., & Shan, A. (2019). Antimicrobial peptides: promising alternatives in the post feeding antibiotic era. *Medicinal Research Reviews*, 39(3), 831–859. <https://doi.org/10.1002/med.21542>. EDN: <https://elibrary.ru/JNMVYQ>
 115. Wang, L., & Tan, H. (2022). Economic analysis of animal husbandry based on system dynamics. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1), 5641384. <https://doi.org/10.1155/2022/5641384>. EDN: <https://elibrary.ru/JCT-FEM>
 116. Wang, S., Yao, J., Zhou, B., Yang, J., Chaudry, M. T., Wang, M., Xiao, F., Li, Y., & Yin, W. (2018). Bacteriostatic effect of quercetin as an antibiotic alternative in vivo and its antibacterial mechanism in vitro. *Journal of Food Protection*, 81(1), 68–78. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-214>
 117. Wang, S., Zeng, X., Yang, Q., & Qiao, S. (2016). Antimicrobial peptides as potential alternatives to antibiotics in food animal industry. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(5), 603. <https://doi.org/10.3390/ijms17050603>
 118. Wang, Z., You, W., Hu, X., Cheng, H., Song, E., Hu, Z., & Jiang, F. (2025). Effects of Capsicum oleoresin on the growth performance, nutrient digestibil-

- ity and meat quality of fattening beef cattle. *Ruminants*, 5(1), 5. <https://doi.org/10.3390/ruminants5010005>. EDN: <https://elibrary.ru/XKEYZZ>
119. Wells, C. W. (2024). Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: a comprehensive review. *Animal Nutrition*, 16, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.017>. EDN: <https://elibrary.ru/HOGBTF>
120. Wink, M. (2015). Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*, 2(3), 251–286. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>
121. Yang, L., Ding, W., Xu, Y., Wu, D., Li, S., Chen, J., & Guo, B. (2016). New insights into the antibacterial activity of hydroxycoumarins against *Ralstonia solanacearum*. *Molecules*, 21(4), 468. <https://doi.org/10.3390/molecules21040468>
122. Yang, X. N., Khan, I., & Kang, S. C. (2015). Chemical composition, mechanism of antibacterial action and antioxidant activity of leaf essential oil of *Forsythia koreana* deciduous shrub. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(9), 694–700. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2015.07.031>
123. Yang, Y. Y., Wang, Q. Y., Peng, D. W., Pan, Y. F., Gao, X. M., Xuan, Z. Y., Chen, Sh., Zou, C., Cao, Y., & Lin, B. (2021). Effects of cinnamaldehyde on growth performance, health status, rumen fermentation and microflora of dairy calves. *ISSN 0578-1752*, 2021(10), 18. <https://doi.org/10.3864/j>
124. Ye, H., Shen, S., Xu, J., Lin, S., Yuan, Y., & Jones, G. S. (2013). Synergistic interactions of cinnamaldehyde in combination with carvacrol against food-borne bacteria. *Food Control*, 34(2), 619–623. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.05.032>
125. Yin, J., Peng, X., Lin, J., Zhang, Y., Zhang, J., Gao, H., Tian, X., Zhang, R., & Zhao, G. (2021). Quercetin ameliorates *Aspergillus fumigatus* keratitis by inhibiting fungal growth, toll-like receptors and inflammatory cytokines. *International Immunopharmacology*, 93, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107435>. EDN: <https://elibrary.ru/JVMMQA>
126. Yu, J., Cai, L., Zhang, J., Yang, A., Wang, Y., Zhang, L., Guan, L. L., & Qi, D. (2020). Effects of thymol supplementation on goat rumen fermentation and rumen microbiota in vitro. *Microorganisms*, 8(8), 1160. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081160>. EDN: <https://elibrary.ru/TVIREA>
127. Zeng, Z., Zhang, S., Wang, H., & Piao, X. (2015). Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6, 1–10. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40104-015-0004-5>. EDN: <https://elibrary.ru/IPNKHS>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шошин Даниил Евгеньевич, аспирант, младший научный сотрудник отдела физиологии, биохимии и морфологии животных
ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
daniilshoshin@mail.ru

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра
ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
atlander-kn@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Daniil E. Shoshin, Postgraduate Student, Junior Researcher at the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
daniilshoshin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>
SPIN-code: 7444-9999

Ksenia N. Atlanderova, PhD of Biological Sciences, Researcher at the Testing Center
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
atlander-kn@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>
SPIN-code: 7444-9999

Поступила 02.03.2025

После рецензирования 11.04.2025

Принята 28.04.2025

Received 02.03.2025

Revised 11.04.2025

Accepted 28.04.2025

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1251

EDN: JTFJUD

UDC 615.322:616.37-008.64:616.371-018



Original article

THE PROTECTIVE EFFECTS OF *ELETTARIA*
CARDAMOMUM ESSENTIAL OIL EXTRACTED
AGAINST DECADRON INDUCED ON PANCREATIC
TISSUES IN RATS (*RATTUS NORVIGICUS*)

Z.A.A. Jabbar, K.H. Al-Derawi, S.A.A.M. Al Saadi

Abstract

Background. Decadron is used to treat a wide range of disorders and regulates various physiological systems in the body. Literature data indicate that the essential oils of *E. cardamomum* exhibit multiple biological effects, including antihypertensive, antioxidant, antimicrobial properties, and pancreatic tissue protection.

Purpose. This study aims to investigate the protective effects of *E. cardamomum* essential oils on body weight loss, hyperinsulinemia, hyperglycemia, and histopathological changes in the pancreas of rats induced by Decadron. Additionally, the chemical composition of the essential oils was characterized using GC-MS.

Methodology. Rats were divided into six groups (n=5): (1) control, (2) Decadron-induced diabetes (1 mg/kg, orally), (3) induced diabetes + low-dose *E. cardamomum* essential oil (50 mg/kg, orally), (4) induced diabetes + high-dose *E. cardamomum* essential oil (100 mg/kg, orally), and (5 & 6) two groups receiving essential oils alone (50 & 100 mg/kg, orally). Diabetes was induced by administering Decadron (1 mg/kg, orally) for 14 days. Body weight was measured, and histopathological examination of pancreatic tissues was performed.

Results. Decadron administration led to a decrease in body weight and an increase in glucose and insulin levels. Histopathological examination revealed hypertrophy of the islets of Langerhans, disintegration of pancreatic cells, and hemorrhage within pancreatic tissue. However, these pathological changes were mitigated by

E. cardamomum essential oil treatment. GC-MS analysis identified 29 volatile compounds in the essential oils.

Conclusion. Our findings suggest that cardamom oil may serve as an adjuvant in reducing elevated serum insulin and blood glucose levels in Decadron-induced diabetes.

Keywords: Decadron; *Elletaria cardamomum*; hyperinsulinemia; hyperglycemia; GC-MS; Eucalyptol; pancreas

For citation. Jabbar, Z. A. A., Al-Derawi, K. H., & Al Saadi, S. A. A. M. (2025). The protective effects of *Elettaria cardamomum* essential oil extracted against Decadron induced on pancreatic tissues in rats (*Rattus norvegicus*). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 97-118. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1251>

Introduction

Decadron belongs to the glucocorticoid family, which is used to treat a wide range of disorders and regulates many physiological systems in the body. They are known to be powerful drugs that can reduce inflammation and collaborate with the immune system to address a variety of medical issues. and have side effects on various organ tissues [1; 2]. Long-term administration of Decadron at high doses causes beta-cell hyperplasia, insulin resistance and beta-cell hypersecretion and the Decadron induced insulin resistance alone can't cause steroid-induced diabetes but pancreatic beta cell dysfunction also plays a crucial role in the development of new -onset diabetes caused by Decadron and the acute effect of Decadron reduces insulin secretion in both pancreatic islets and pancreatic beta cells through several mechanisms including oxidation, membrane depolarization and decreased glucose uptake [3-5]. On the other hand, Decadron has many undesirable side effects including laboratory-treated pancreatic tissues with Decadron, and the damage caused by Decadron has been reported in many studies, it causes damage and necrosis of the endocrine cells of the islets of Langerhans and shrinkage of the islets with degeneration of the acinar cells as well as hypertrophy of the pancreatic islets and congestion of blood vessels and the presence of gaps between the pancreatic cells and degeneration of the cytoplasm in addition to the harmful effects of Decadron on the function of the pancreatic endocrine cells which ultimately affect glucose balance [6-9].

The green cardamom, *Elettaria cardamomum* is considered the third most expensive and oldest type of spice in the world, which is referred to as "black gold" and is also called the "King of spices", it is one of the types of the Zingiberaceae family and this name is due to its distinctive smell and taste. In

addition, it is considered a monocotyledonous and perennial herbaceous plant [10; 11]. It is well recognized that plants are abundant in bioactive chemicals, which can be used as building blocks to create therapeutic and advantageous natural products. It is well known that plants develop secondary metabolites to guarantee the continual existence of their species [12; 13].

Cardamom essential oil is one of the most utilized goods that are produced, and the fruits have been used for ages as a flavor and spice [10]. Data from the literature show that the essential oils of this plant have a range of biological consequences, like high blood pressure, antioxidants, gastroprotective, antimicrobial, antihyperglycemia, antispasmodic, laxative, anti-platelet-aggregation, anticancer activities and antibacterial [10; 14-16]. In order to reduce the harmful side effects of Decadron, many researchers have focused on isolating plant compounds to reduce these effects. The cardamom extract has been found to be a therapeutic effect in protecting the pancreatic tissue. Significant improvement in pathological changes and a decrease in guarantor tissue barriers with an increase in the number of Langerhans islands [17].

Cardamom's important tasting components for oil consist of allo-aromadendrene, citronellal, linalool, α - and β -pinene, terpineol, and as well as limonene, 1,8-cineole, and α -terpinyl acetate [18; 19]. Monoterpenes 1,8-cineole and ester α -terpinyl acetate, linalool, limonene, myrcene, α -pinene and terpinolene, which are accountable for the effectiveness among these essential oils in treating various diseases [15,20]. GC-MS analysis is among the best instruments to determine the components of essential oils [21]. Also the identification of various metabolites of plant extracts [22; 23].

This study sets out to determine the bioactive compounds present in *Elettaria cardamomum* seed volatile oil extract and explore its protective effects against Decadron induced diabetes and damage of pancreatic.

Materials and methods

Plant material

E. cardamomum seeds were gathered from Basrah Governorate of Iraq from local marketplaces during September 2023 and kept in polyethelene bags then dried in room temperature without light.

Samples preparation and extraction of volatile oils

The samples were ground using an electric grinding machine from the German company Super Crest until fine particles were obtained. The samples were then stored in a dark-colored glass container and tightly closed at a temperature of 4°C until it is time to use them. To extract the volatile oil was done using a

Clevenger device. 25 gm of powdered sample was placed in a 1000 ml round beaker, 250 ml of distilled water was added to it and heated at 60-80°C for 4 hours. The volatile oil was collected in the device's condenser after evaporating it with water to form a white layer on the surface of the water. Then essential oils are separated from the water layer using a separating funnel, then placed in a tightly sealed dark glass bottle and kept in the refrigerator at 4°C until used.

GC-MS analysis

To determine the chemical compounds of the essential oil in the *E. cardamomum*, using GC-MS in the gas chromatography/mass spectrometry laboratory at the Basrah University in the Agriculture College, (device type SHIMADUZ - Japan, GC-MS, QP 2010 Ultra) and the capillary column type equipped with it (DB-MS). 5% phenyl, 95% methyl poly siloxane as a fixed phase; its length was 30 m and 0.32 m in diameter and the thickness of the stationary phase was 0.25 micrometers. The carrier gaseous flow rate was 72.4 mL/min. A sample was injected into the GC-MS at 280°C injection temperature. The operating status temperature of the GC-MS was determined, with a holding temperature of 50°C for 0 minutes at first, and then progressively increased at a faster pace of 150°C to 280°C as the ultimate temperature (holding 0 minutes). The mass scanning range (m/z) was 50-800 amu. By comparing the spectrum of the *E. cardamomum* essential oil with those of identified components kept, the components of the oil can be found in the NIST library (2005). The NIST library (2005) contains the oil's components, which were identified (Figure 1-6).

Experimental design

The present study was conducted: hyperglycemia was induced by oral administration of Decadron drug to rats for 14 days, followed by fasting for 24 hours. The blood glucose level of these rats was estimated after one week of Decadron administration and after 14 days, hyperglycemia was confirmed by blood samples collected from the tail tip using a blood glucose meter. Animals with blood glucose level equal to or greater than 200 mg/dl were declared hyperglycemia and were used in the entire experimental group and rats' weight was measured both first and again. (7, 14 and 21 days) as well as at the end of the method of experimentation. Therefore, thirty male rats were randomly divided into six groups as shown: group 1: control group (n=5) no treatment. Group 2: dose with Decadron (orally, 1mg/kg) to induce diabetes for 1 month (n=5). Group 3: Diabetic animals were treated with essential oil of *E. cardamomum* (orally, 50 mg/kg) for 1 month (n=5). Group 4: Diabetic animals were treated with essential oil of *E. cardamomum* (orally, 100 mg/kg) for 1 month (n=5). Group 5: orally administered with essential oil only (50 mg/kg) for 1

month (n=5). Group 6: orally administered with essential oil only (100 mg/kg) for 1 month (n=5).

At the end of the experiment, the rats were anesthetized by chloroform inhalation and blood was taken straight from the heart, the serum was separated by centrifugation, and it was kept at -20°C for biochemical examination.

Biochemical analysis

A sample of blood from each experimental rat was collected into serum separation gel tubes then the samples underwent a 10-minute centrifugation at 4000 rpm. After being separated, plasma was processed right away for biochemical analysis, and the plasma sample was analyzed for biochemical markers, including blood glucose levels and determination using diagnostic kit (from Biolabo SAS company) and insulin level determination using diagnostic kit (from Shinghai company) based on ELISA method using ELISA reader.

Histopathological examination

For histopathological study, pancreatic tissues were excised via thoracotomy and set in 10% formalin for 24 hours, then routine histopathological examination was performed, and the pancreatic tissue section was stained with hematoxylin and eosin stains and photographs were taken by LEICA ICC50 HD light microscope.

Statistical analysis

All data were expressed as mean $\pm$ SD. Statistical analysis was performed using SPSS software through analysis of variance (ANOVA) followed by multiple comparisons to compare all groups with the control group. A *p*-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

Results and discussion

Essential oils compounds of *E. cardamomum*

The GC-MS analysis of *E. cardamomum* seed extract disclosed the presence of 29 phytochemicals compounds (Figure 1 and Table 1) that might enhance the plant's therapeutic qualities. The peak area, molecular formula, and retention time were used to confirm the phytochemical compounds identities. The active principles are shown in their corresponding retention time (RT), chemical formula, and peak area as a percentage (Table 1). Most of the chemical component's identification of *E. cardamomum* seeds represented essential oil, the results showed that the color of the extracted essential oils are transparent with a distinctive and wonderful smell. In addition, the percentage of extracted volatile oil was 21.96%. There were three distinct sesquiterpene components; alpha-Selinene, gamma -Muurolene and Nerolidol which represented 10.34%

of all the compounds in essential oil, and the 18 chemicals known as monoterpenes (52.20%). Our results support the conclusions of other investigations that monoterpenes are the main constituent of essential oils derived from cardamom [24; 25]. Moreover, the three most prevalent monoterpene components are viridiflorole (11.8%), camphor (15.6%), and 1, 8-cineole (20.1%) [26].

Essential oil's fundamental components 1,8-Cineole (Eucalyptol) had the highest percentage (38.30%), followed by alpha-Terpineol (17.80%), α -Terpinyl acetate (11.38%), Linalool (10.35), Terpinen-4-ol (3.32%) and Linalyl acetate (3.17%), with other compounds beta-Pinene, beta-Myrcene, gamma-Terpinene, Geraniol, alpha-Thujene and alpha-Pinene (Table 1, Figure 1-6). Our results are consistent with Abdel-Hameed *et al.*, (2023) for the two compounds eucalyptol (41.41%) and α -Terpinyl acetate (37.12%) [27]. In addition, the results agreed with researchers who reported that the major compound in *E. cardamomum* was 1,8-Cineole [18; 19; 28-30], but the percentage of 1,8-Cineole was different between the researches, the major percentage recorded by Sultana *et al.*, (2009) was 89.6% [29], while it was 28.4% and 10.7% in the study of (Menon, *et al.*, 1999 and Singh *et al.*, 2008) respectively compared with the percentage in our result which was 38.30% [28; 31]. Furthermore, our results are in line with those of other researchers who discovered myrcene, linalool, terpineol, α -pinene, β -pinene and α -terpinyl acetate [15; 20; 28].

The researchers explained that the distinctive smell of the cardamom plant is due to the proportion of esters and 1,8-cineole (eucalyptol) and the high level of α -Terpinyl acetate compared to eucalyptol which also gives a superior aroma quality to cardamom essential oil. A few key flavor components of cardamom for oil are limonene, 1,8-cineole, α -terpinyl acetate, Citronellal, linalool, β -pinene, terpineol, and allo-aromadendrene [18,19,30]. In addition, it is clear from most of the works of researcher Pavarino *et al.*, (2023) shows the most prevalent compounds are terpinyl acetate and 1,8-cineole, with around 30% and 40% of each, respectively and they are two main components of cardamom seed oil which are characterised by an abundance of oxygenated compounds which is consistent with our study [32]. According to Al-Zereini *et al.* (2022), out of 39 compounds, the majority 55.99 % was α -terpinyl acetate. Eugenol, Z-caryophyllene, geraniol, terpinen-4-ol, 1,8 cineole (8.82 %), linalool (6.99 %), and dihydrocarveol (6.06 %) [33].

The *E. cardamomum* essential oils' chemical makeup varies according to our findings, in addition to the quantity and ratio of active compounds. These variations may result from varying essential oil hydrodistillation techniques,

growing environments, or a diversity of plant sources. Geographical variations, physiological variables, and genetic factors could all be contributing factors to these differences [34-36]. Environmental characteristics that need to be considered include weather, soil, time of year for harvest, and drying method, conditions of storage, as well as the part of plant tissue being assessed [37-40]. Additionally, Farhat *et al.* (2001) demonstrated significant seasonal variations in the oil's composition [41].

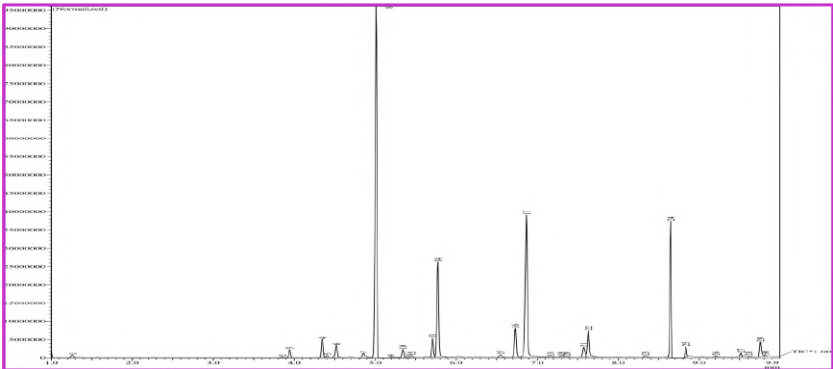


Fig. 1. Illustrates the active compounds of essential oils in *E. cardamomum* plant using GC-MS analysis.

Table 1.

Essential oil compounds in *E. cardamomum* using GC-MS

Peak	Chemical compounds	Chemical formula	Retention time	Percent-age %
1	Dodecaethylene glycol	C ₂₄ H ₅₀ O ₁₃	1.263	0.34
2	alpha- Thujene	C ₁₀ H ₁₆	3.853	0.12
3	alpha-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	3.943	0.81
4	4(10) Thujene or Sabinen	C ₁₀ H ₁₆	4.346	1.90
5	beta-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	4.408	0.25
6	beta-Myrcene	C ₁₀ H ₁₆	4.521	1.48
7	Bicyclo[4.1.0]hept-2-ene, 3,7,7-trimethyl-, (1S-cis)-	C ₁₀ H ₁₆	4.856	0.82
8	1,8-Cineole or Eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	5.011	38.30
9	tert-Butyl carbanilate	C ₁₁ H ₁₅ NO ₂	5.194	0.18
10	gamma.-Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	5.340	1.01
11	cis-beta- Terpeneol	C ₁₀ H ₁₈ O	5.401	0.23
12	trans-Linalool oxide (furanoid)	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	5.452	0.25

13	Terpinolen	$C_{10}H_{16}$	5.708	1.87
14	Linalool	$C_{10}H_{18}O$	5.772	10.35
15	delta -Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	6.547	0.46
16	Terpinen-4-ol	$C_{10}H_{18}O$	6.730	3.32
17	alpha- Terpineol	$C_{10}H_{18}O$	6.868	17.80
18	trans-Carveol	$C_{10}H_{16}O$	7.160	0.37
19	cis-Geraniol	$C_{10}H_{18}O$	7.295	1.55
20	Neral	$C_{10}H_{16}O$	7.358	0.24
21	Linalyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	7.631	3.17
22	delta.-Terpineol, acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	8.335	0.29
23	alpha.-Terpinyl acetate	$C_{12}H_{20}O_2$	8.648	11.38
24	Geranyl acetate or Acetic acid, geraniol ester	$C_{12}H_{20}O_2$	8.835	1.00
25	Terpinyl propionate	$C_{13}H_{22}O_2$	9.203	0.16
26	alpha-Selinene	$C_{15}H_{24}$	9.515	0.33
27	gamma.-Muurolene	$C_{15}H_{24}$	9.610	0.15
28	Nerolidol	$C_{15}H_{26}O$	9.754	1.68
29	(3E,7E)-4,8,12-Trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene	$C_{16}H_{26}$	9.817	0.18
				100.00

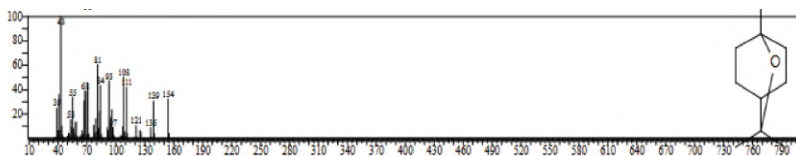


Fig. 2. Standard GC-MS spectra of the Eucalyptol

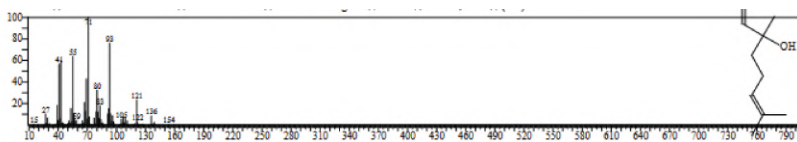


Fig. 3. Standard GC-MS spectra of the alpha-Terpineol

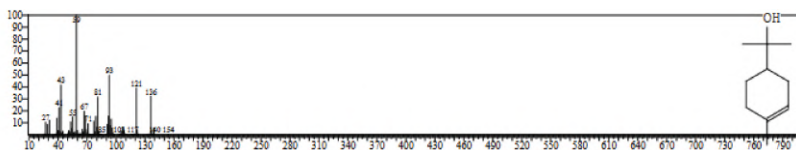


Fig. 4. Standard GC-MS spectra of the alpha-Terpinyl

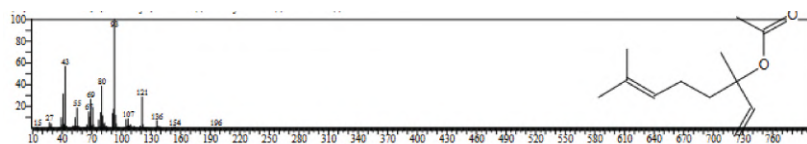


Fig. 5. Standard GC-MS spectra of the Linalool

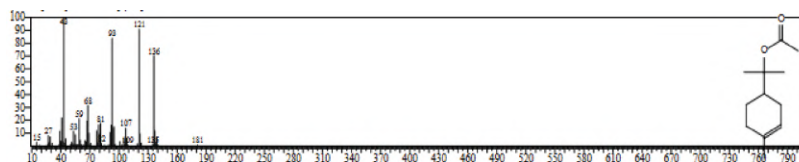


Fig. 6. Standard GC-MS spectra of the Linalyl acetate

***E. cardamomum* essential oil reversed decadron induced alternation of body weight**

The results showed that the group with diabetes induced by Decadron experienced a significant decrease ($p<0.05$) in body weight from the 7 days until the end of the experiment, similar to the other groups treated with *E. cardamomum* essential oil whose increased weights were significantly ($p<0.05$) (Table 2).

These findings are comparable to those of Kepta *et al.* (2021) who indicated that this decrease in weight indicates the proteolytic effect of Decadron [42], and our results are also consistent with the study of (Albu-Mhamed, 2013; Al-Hraishawi, 2012) [43; 44]. A theory proposed in favor of the present findings on body weight loss is that Decadron caused time and dose dependent weight and muscle loss in rats due to upregulation of muscle myostatin [45]. Franco *et al.*, (2006) showed that the reason for the decreased body weight is the prevention of glucose entry into cells, which leads to weight loss after acute treatment with the drug [46]. While our results were consistent with the study (Elamin & Dousa, 2013; Shinde *et al.*, 2017) conducted on rats to evaluate the effect of *E. cardamomum* on blood glucose, the researchers noted an improvement in the rate of decrease resulting from the development of diabetes caused by alloxan [47; 48]. Also, the study (Adanma, 2019) on the effect of the aqueous extract of *Citrus* on diabetic rats, the results showed an increase in body weight after treatment with the aqueous extract at very high concentrations [49]. The increase in body weight is attributed to the role of active compounds that stimulate beta cells to secrete insulin, which enhances the structural state of fats and proteins, which are the primary source of energy, in addition to the ability of active compounds to control the metabolic activity of carbohydrates.

It was found that flavonoids lead to controlling body weight and adipose tissue and regulating the metabolism process [50; 51].

Table 2.
Effects of Decadron and essential oil of *E. cardamomum* administration on diabetes rats body weight (g) (mean ± SD)

Groups	0 day	7 days	14 days	21 days	30 days	44 days
control	144.00 ± 3.36	149.25 ± 3.59	157.25 ± 2.50	163.50 ± 2.51	169.75 ± 2.50	0
Decadron	148.00 ± 2.16	133.00 ± 4.32	120.25 ± 4.19	103.25 ± 11.78	81.25 ± 11.08	0
Decadron + <i>E. cardamomum</i> (50 mg/kg)	143.50 ± 7.18	131.75 ± 9.46	118.50 ± 1.29	132.50 ± 4.50	147.75 ± 7.76	160.50 ± 6.35
Decadron + <i>E. cardamomum</i> (100 mg/kg)	146.00 ± 4.08	137.50 ± 5.06	121.50 ± 2.08	137.50 ± 7.93	153.50 ± 6.61	165.00 ± 5.59
<i>E. cardamomum</i> (50 mg/kg)	144.25 ± 3.40	148.75 ± 3.77	156.00 ± 2.44	160.25 ± 2.98	165.50 ± 3.11	0
<i>E. cardamomum</i> (100 mg/kg)	146.75 ± 1.70	151.50 ± 2.38	156.50 ± 1.29	163.50 ± 1.29	176.00 ± 2.58	0
L.S.D.	4.685	5.722	3.670	6.342	6.574	4.280

Cardamom oil attenuated hyperglycemia and hyperinsulinemia caused by Decadron

The present study showed that Decadron induced diabetic rats showed significant ($p<0.05$) increase in blood glucose and serum insulin levels compared to the control group (Figure). Cardamom oil administration of *E. cardamomum* oil at both doses (50 and 100 mg/kg) attenuated the effects of Decadron, significantly ($p<0.05$) reducing serum insulin levels when compared to Decadron induced diabetic rats. The higher dose (100 mg/kg) of *E. cardamomum* oil showed a better effect on glycemic parameters levels than the lower dose (Table 3).

This result is consistent with the study of Sultana *et al.*, (2024) which reported that when given to normal rats, decadron induces insulin resistance as evidenced by increased blood glucose and insulin levels [52]. Consistent with the high blood glucose-lowering effect of Decadron and the increased insulin levels associated with Decadron treatment in rats, Shittu *et al.*, (2021) observed a significant increase in blood glucose levels in Decadron treated rats and reported that the adaptive response of pancreatic islets to hyperglycemia leads to elevated insulin levels [53]. The increase in insulin levels may be an adaptive response of the pancreatic islets to hyperglycemia. In one study, it was reported that glucose stimulated insulin secretion in rats given Decadron involved increased expression of the connexin protein (CX36) while the glucose trans-

porter (Glut2) remained unchanged [54; 55]. The mechanism of action of these extracts in reducing blood glucose and insulin levels is not yet known, but the parts of the plants used have an anti-hyperglycemia role, which in turn is consistent with many studies, including the study by Ashokkumar *et al.*, (2020) which proved that the *E. cardamomum* plant extract has the ability to reduce blood glucose levels due to its biological activity based on its active chemical compounds [10]. As it contains the active compounds 1,8-cineole, which is the main compounds in the extract, it has shown promising potential in improving high blood glucose. Recent reports have confirmed the ability of 1,8-cineole to reduce blood glucose levels in mice by activating glyoxalase [56-58].

Table 3.

Effect of decadron and essential oil (*E. cardamomum*) on glucose and insulin levels in diabetes rats (mean $\pm$ SD)

Groups	Glucose (mg/dl)	Insulin (μ IU/ml)
control	152.47 $\pm$ 12.60	12.92 $\pm$ 0.57
Decadron	241.78 $\pm$ 24.59	17.43 $\pm$ 0.92
Decadron + <i>E. cardamomum</i> (50 mg/kg)	226.39 $\pm$ 5.33	12.90 $\pm$ 0.94
Decadron + <i>E. cardamomum</i> (100 mg/kg)	156.29 $\pm$ 38.56	14.77 $\pm$ 1.29
<i>E. cardamomum</i> (50 mg/kg)	197.82 $\pm$ 31.46	13.60 $\pm$ 1.27
<i>E. cardamomum</i> (100 mg/kg)	158.38 $\pm$ 33.88	15.65 $\pm$ 0.44
L.S.D.	27.12	1.55

Essential oils of *E. cardamomum* seeds alleviate the histological changes in pancreatic tissues caused by decadron

In the present study, the results observed in figure (7 A-F) in the pancreas of diabetic rats showed that Decadron induced many alterations in comparison to the pancreatic control group. These changes comprised hypertrophy of the islets of Langerhans with disintegration of some pancreatic cells and the presence of areas of hemorrhage between the cells of the pancreatic tissue. Most of the cells of the islets of Langerhans appear to have dark pyknotic nuclei and some of them are ruptured, especially the peripheral ones with infiltration of inflammatory cells and separation of the islets from the pancreatic visceral tissue.

While the results of microscopic examination of the tissue sections of the diabetic pancreas treated with volatile oil (50 mg/kg) showed histological changes represented by the pancreatic visceral tissue still containing degeneration acinar cells and tissue disintegration with slight bleeding as well as separation of the islets of Langerhans from the exocrine tissue, beta and alpha cells also appear disorganized within the islets with infiltration of inflammatory cells. However, the

high dose of essential oil reversed the effects of Decadron and showed a similar histological result to the control group, as the islets of Langerhans regained their normal cellular structure although some gaps still existed between the endocrine cells and these cells were in the form of twisted ropes. It is also noted that the histological structure of the exocrine part of the pancreas consists of cells arranged in the form of more regular pancreatic acini with small spaces separating them.

Microscopic examination of the pancreatic tissue treated with essential oil (50 mg/kg) showed that the islets of Langerhans had a normal structure with a proliferation of endocrine cells and the islets were surrounded by a capsule composed of loose connective tissue in addition to the acinar cells appearing as pyramidal cells with a peripheral nucleus and a slight infiltration of some inflammatory cells within the islets with the presence of slight hemorrhage in sites between the pancreatic acini. Moreover, the histological diagnosis of the pancreatic tissues in rats treated with volatile oil (100 mg/kg) showed normal histological structure with cells arranged in the form of twisted ropes with a doubling of beta cells. The pancreatic visceral tissue is surrounded by a capsule composed of loose connective tissue and includes pyramidal- shaped acinar cells with clear boundaries with a dark spherical nucleus and slight vacuolization in one of the secretory cells. The histological structure of the interlobular duct also appears with wide and large cavities lined with simple cuboidal epithelial tissue in addition to fibrous tissue barriers between the secretory cells extending into the capsule. These results were similar to those of Mawout *et al.*, (2020) and Kepta *et al.*, (2021) who confirmed that the endocrine pancreas is inactive in the Decadron and furthermore [42; 59]. Decadron-induced insulin resistance leads to hyperinsulinemia which in turn stresses the beta cells in the islets of Langerhans and thus leads to reduced endocrine activity of the pancreas and then hypertrophy of the islets of Langerhans. The observed effect of Decadron on pancreatic tissue was consistent with the results of Mahmoud *et al.*, (2022) who observed an increase in the size of the islets and areas of hemorrhage between the endocrine cells and most of the cells with hollow cytoplasm [60]. These observed changes may be due to decreased peripheral insulin activity which causes compensatory changes in the endocrine pancreas [61; 62]. It has been suggested that one of the main causes of steroid-associated diabetes is pancreatic beta cell dysfunction. However, the mechanism isn't fully understood but several different studies have investigated the effects of various doses of Decadron on the pancreas and metabolic alterations have shown comparable outcomes [63-66].

The present study provides evidence that the essential oils of *E. cardamomum* seeds exert cytoprotective effects against the Decadron induced adverse effects

on pancreatic tissues with the results showing restoration of the normal structure of pancreatic islets as well as the appearance of cords of regular islet cells. Our study agreed with Attia *et al.*, (2023) who showed that the aqueous extract alleviated the histopathological changes induced by tamoxifen possibly through antioxidant, anti-inflammatory and lipid-lowering effects besides reducing free fatty acid levels [17]. *E. cardamomum* is one of the most popular species with several pharmacological properties that exhibit antioxidant and anti-inflammatory effects and exhibit beneficial hypoglycemic effects [67-70]. Several studies have revealed several active components in the aqueous extract of *E. cardamomum* L. that prevent oxidative stress and inflammation [67; 71-74].

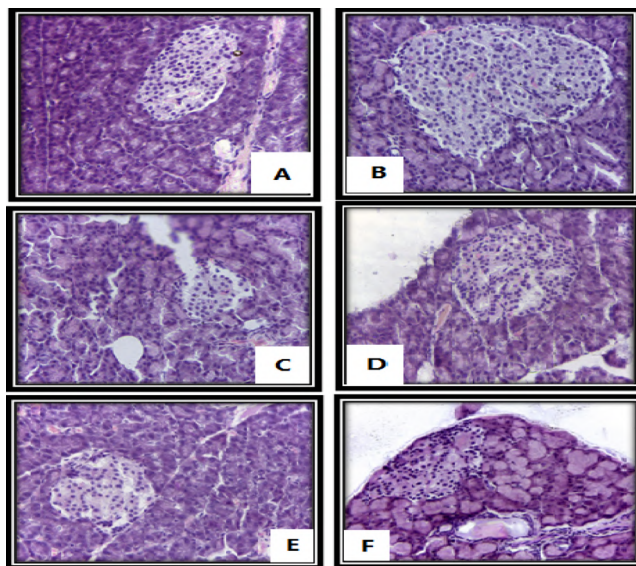


Fig. 7. photomicrographs of H & E-stained pancreatic sections from distinct experimental groups. Control groups is shown (A) islets of Langerhans are round and scattered among the cells of the pancreatic acini and the cells are arranged in branched cords. Decadron groups (B) show dilation of the ialets of Langerhans and their separation from the pancreatic visceral tissue. Decadron and essential oil (50 mg/kg) groups (C) shows separation of the islets of Langerhans from the exocrine tissue and the cells appear disorganized within the islets. Decadron and essential oil (100 mg/kg) groups (D) shows islets of Langerhans with normal cellular structure and cells in the form of coiled rops. EC essential oil (50 mg/kg) groups (E) show islets of Langerhans with normal structure with cells spread and the islets are surrounded by a capsule. EC volatile oil group (100 mg/kg) (F) shows the normal histological structure of the islets of Langerhans with multiplication of beta cells.

Conclusion

To our knowledge, this study demonstrates the protective effect of *E. cardamomum* essential oil against Decadron induced diabetes. We showed that the volatile oil of *E. cardamomum* seeds could attenuate hyperinsulinemia, hyperglycemia, body weight loss and histological changes in the pancreas induced by Decadron. This indicates the promising potential of *E. cardamomum* seed essential oils in preventing the adverse effects of Decadron and suggests that cardamom oil could be used as an adjuvant hypoglycemic agent in diabetes, especially Decadron induced diabetes.

Ethics committee conclusion. All procedures performed on rats were in accordance with the ethical standards of the Ethics Committee of the Institutional Review Board of University of Basrah – College of Science.

Conflict of interest information. All authors declare that there are no conflicts of interest.

References

1. Suh, S., & Park, M. K. (2017). Glucocorticoid-induced diabetes mellitus: An important but overlooked problem. *Endocrinology and Metabolism*, 32(2), 180–189.
2. Hammadi Jasim, N., Adel Kareem, D., Majeed Al Ali, M. F., & Abbas, B. A. (2022). Effect of long-term treatment with dexamethasone on the liver and kidney histopathology, as well as blood biochemistry in male rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Archives of Razi Institute*, 77(1), 333–343.
3. Haythorne, E., Rohm, M., van de Bunt, M., Brereton, M. F., Tarasov, A. I., Blacker, T. S., Sachse, G., Silva dos Santos, M., Terron Exposito, R., Davis, S., Baba, O., Fischer, R., Duchen, M. R., Rorsman, P., MacRae, J. I., & Ashcroft, F. M. (2019). Diabetes causes marked inhibition of mitochondrial metabolism in pancreatic β -cells. *Nature Communications*, 10(1), 2474–2491.
4. Kooptiwut, S., Samon, K., Semprasert, N., Suksri, K., & Yenchitsomanus, P.-T. (2020). Prunetin protects against dexamethasone-induced pancreatic β -cell apoptosis via modulation of p53 signaling pathway. *Natural Product Communications*, 15(4). <https://doi.org/10.1177/1934578X20916328>. EDN: <https://elibrary.ru/JOTQKS>
5. Li, J.-X., & Cummins, C. L. (2022). Fresh insights into glucocorticoid-induced diabetes mellitus and new therapeutic directions. *Nature Reviews Endocrinology*, 18(9), 540–557. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00683-6>. EDN: <https://elibrary.ru/IMUKHX>

6. Ali, R., Abbas, N., Abbas, A., & Abbas, L. (2020). Histological sections of pancreas and serum biochemical changes in rats after dexamethasone and zinc oxide nanoparticles injection. *Medico-Legal Update*, 20(1), 694–699.
7. Hamza, A. M., Hassan, M. S., Mousa, R. F., Jahil, A. H., & Hassan, M. S. (2022). Effect of aloe vera on antioxidant in male rats exposed to high doses of dexamethasone therapy, and histological on liver and pancreas. *International Journal of Health Sciences*, 6(6S), 8050–8062.
8. Glišić, R., Čakić-Milošević, M., Ukropina, M., Mitrovski-Bogdanović, A., & Stanković, V. (2023). Histological, ultrastructural and stereological analyses of pancreatic islets in glucocorticoid-treated rats. *Kragujevac Journal of Science*, 45, 179–194.
9. Oche, J., Olorundare, O., Afolabi, S., Ologe, M., Njan, A., & Akanbi, O. (2023). Comparative therapeutic effect of single/combined administration of saxagliptin, metformin and intranasal insulin on dexamethasone-induced insulin resistance in albino Wistar rat model. *Nigerian Journal of Physiological Sciences*, 38(1), 37–46.
10. Ashokkumar, K., Murugan, M., Dhanya, M. K., & Warkentin, T. D. (2020). Botany, traditional uses, phytochemistry and biological activities of cardamom [*Elettaria cardamomum* (L.) Maton] — a critical review. *Journal of Ethnopharmacology*, 246, 112244.
11. Dhungana, S. M., Regmi, P. P., Dhakal, S. C., et al. (2024). Growth instability index, and decomposition effect on production of large cardamom in Nepal. *Agriculture & Food Security*, 13, 5. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00456-y>. EDN: <https://elibrary.ru/OWSGJJ>
12. Shareef, A. (2018). Evaluation of antibacterial activity of essential oils of *Cinnamomum* sp. and *Boswellia* sp. *Journal of Basrah Researches*, 37(5), 60–71.
13. Husein, H. A., Alhasan, D. A. H., & Albadry, M. A. Z. (2019). In vitro antimicrobial activity of aqueous-methanolic extract of *Populus* sp. leaves. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 31(2), 53–64.
14. Elmal, T. I. J., Mountassif, D., & Amarouch, H. (2007). Antimicrobial activity of *Elettaria cardamomum*: Toxicity, biochemical and histological studies. *Food Chemistry*, 104(4), 1560–1568.
15. Anwar, F., Abbas, A., Alkharfy, K. M., & Gilani, A.-H. (2016). Cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton) oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 295–301).
16. Tarfaoui, K., Brhadda, N., Ziri, R., Oubihi, A., Imtara, H., Haida, S., Al Kamaly, O. M., Saleh, A., Parvez, M. K., Fettach, S., & Ouhssine, M. (2022). Chemical profile, antibacterial and antioxidant potential of *Zingiber officinale* Roscoe and

- Elettaria cardamomum* (L.) Maton essential oils and extracts. *Plants*, 11(11), 1487–1501. <https://doi.org/10.3390/plants11111487>. EDN: <https://elibrary.ru/OCIDBO>
17. Attia, H., Alzoubi, A., Nour Al-Anazi, Alshanwani, A., El-Orabi, N., Alanteet, A., Mohamad, R., & Ali, R. (2023). Protective effects of cardamom aqueous extract against tamoxifen-induced pancreatic injury in female rats. *Toxicological Research*, 39(4), 721–737. <https://doi.org/10.1007/s43188-023-00198-w>. EDN: <https://elibrary.ru/YIFCKR>
 18. Olivero-Verbel, J., González-Cervera, T., Güette-Fernandez, J., Jaramillo-Colorado, B., & Stashenko, E. (2010). Chemical composition and antioxidant activity of essential oils isolated from Colombian plants. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 20(4), 568–574.
 19. Joshi, R., Sharma, P., Sharma, V., Prasad, R., Sud, R. K., & Gulati, A. (2012). Analysis of the essential oil of large cardamom (*Amomum subulatum* Roxb.) growing in different agro-climatic zones of Himachal Pradesh, India. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6), 1303–1309.
 20. Abdullah, Asghar, A., Butt, M. S., Shahid, M., & Huang, Q. (2017). Evaluating the antimicrobial potential of green cardamom essential oil focusing on quorum sensing inhibition of *Chromobacterium violaceum*. *Journal of Food Science and Technology*, 54(8), 2306–2315. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2668-7>. EDN: <https://elibrary.ru/EJAVPJ>
 21. Jabbar, M., & Ghorbaniparvar, H. (2015). Use of GC-MS combined with resolution methods to characterize and to compare the essential oil components of green and bleached cardamom. *Journal of Research in Chemistry and Environment*, 5, 76–85.
 22. Ghimire, B. K., Yoo, J. H., Yu, C. Y., & Chung, I. (2017). GC-MS analysis of volatile compounds of *Perilla frutescens* Britton var. *japonica* accessions: Morphological and seasonal variability. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10(7), 643–651.
 23. Nurcholis, W., Sya'bani Putri, D. N., Husnawati, H., Aisyah, S. I., & Priosoeryanto, B. P. (2021). Total flavonoid content and antioxidant activity of ethanol and ethyl acetate extracts from accessions of *Amomum compactum* fruits. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(1), 58–62. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2021.04.001>. EDN: <https://elibrary.ru/MWJZSY>
 24. Zeedan, G., Abdalhamed, A., Ottai, M., Abdelshafy, S., & Abdeen, E. (2014). Antimicrobial, antiviral activity and GC-MS analysis of essential oil extracted from *Achillea fragrantissima* plant growing in Sinai Peninsula, Egypt. *Journal of Microbial & Biochemical Technology*, S8(01), 6–8.

25. Mottaghi, M., Parvin, S. S., Jafari, A. A., Mirza, M., & Bihamta, M. R. (2016). Essential oil composition of *Achillea filipendulina*, *A. arabica* and *A. eriophora* cultivated under temperate climate in Iran. *Journal of Medicinal Plants and By-Products*, 5(2), 153–158.
26. Toker, Z., Özen, H. Ç., Clery, R. A., & Owen, N. E. (2003). Essential oils of two *Achillea* species from Turkey. *Journal of Essential Oil Research*, 15(2), 100–110.
27. El Sayed Saleh, Shroq Al-Thbity, & Gobouri, A. (2022). Impact of extraction methods on the chemical composition and biological activity of small cardamom essential oils. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(2), 101–109.
28. Singh, G., Kiran, S., Marimuthu, P., Isidorov, V., & Vinogorova, V. (2007). Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and various oleoresins of *Elettaria cardamomum* (seeds and pods). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(2), 280–289.
29. Sultana, S., Ali, M., Ansari, S. H., & Bagri, P. (2009). Effect of physical factors on the volatile constituents of *Elettaria cardamomum* fruits. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 12(3), 287–292.
30. Mehیار, G. F., Al-Isamil, K. M., Al-Ghizzawi, H. M., & Holley, R. A. (2014). Stability of cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil in microcapsules made of whey protein isolate, guar gum, and carrageenan. *Journal of Food Science*, 79(10), C1939–C1949. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12652>. EDN: <https://elibrary.ru/USZEJD>
31. Menon, A. N., Chacko, S., & Narayanan, C. S. (1999). Free and glycosidically bound volatiles of cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton var. *miniscula* Burkill). *Flavour and Fragrance Journal*, 14, 65–68.
32. Pavarino, M., Marengo, A., Cagliero, C., Bicchi, C., Rubiolo, P., & Sgorbini, B. (2023). *Elettaria cardamomum* (L.) Maton essential oil: An interesting source of bioactive specialized metabolites as inhibitors of acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase. *Plants*, 12(19), 1–11.
33. Al-Zereini, W. A., Al-Trawneh, I. N., Al-Qudah, M. A., TumAllah, H. M., Al Rawashdeh, H. A., & Abudayeh, Z. H. (2022). Essential oils from *Elettaria cardamomum* (L.) Maton grains and *Cinnamomum verum* J. Presl barks: Chemical examination and bioactivity studies. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 10(1), 173–185. https://doi.org/10.56499/jppres21.1162_10.1.173. EDN: <https://elibrary.ru/YBNVOQ>
34. Adams, R. (2017). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry* (5th ed.). Allured Publishing.
35. Al-Saad, O. A., & Al-Saadi, M. (2021). Chemical composition and antioxidants of *Lepidium sativum* and *L. aucheri*. *University of Thi-Qar Journal of Science*, 8(1), 39–47.

36. Abd-Alrasoul, S. M., & Al-Saadi, M. (2022). Chemical composition and antioxidants of *Artemisia herba-alba* (Asteraceae). *Iranian Journal of Ichthyology*, 9(1), 302–308.
37. Skotti, E., Anastasaki, E., Kanellou, G., Polissiou, M., & Tarantilis, P. A. (2014). Total phenolic content, antioxidant activity and toxicity of aqueous extracts from selected Greek medicinal and aromatic plants. *Industrial Crops and Products*, 53, 46–54.
38. Bouaziz, A., Khennouf, S., Zarga, M. A., Abdalla, S., Baghiani, A., & Charef, N. (2015). Phytochemical analysis, hypotensive effect and antioxidant properties of *Myrtus communis* L. growing in Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(1), 19–28.
39. Qader, K. O., Al-Saadi, S. A. A. M., & Faraj, I. M. (2018). Phytochemical constituents of leaves essential oils of *Achillea fragrantissima* (Asteraceae) from Iraq. *ARO — The Scientific Journal of Koya University*, 6(2), 56.
40. Al-Tamimi, W., Al-Saadi, S., & Burghal, A. (2020). Antibacterial activity and GC-MS analysis of Baltic amber against pathogenic bacteria. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(11S), 611–618.
41. Farhat, G. N., Affara, N. I., & Gali-Muhtasib, H. U. (2001). Seasonal changes in the composition of the essential oil extract of East Mediterranean sage (*Salvia libanotica*) and its toxicity in mice. *Toxicon*, 39(10), 1601–1605. EDN: <https://elibrary.ru/AXOEET>
42. Kepta, F. A., Medou, F. M., Nyunaï, N. N., Kowa, T. K., Nguimmo-Metsadjio, A., & Tom, E. N. L. (2021). Antihyperglycemic, antioxidant, and organ protective effects of *Schumanniphyton magnificum* stem bark aqueous extract in dexamethasone-induced insulin resistance rats. *GSC Advanced Research and Reviews*, 9(3), 114–124. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2021.9.3.0295>. EDN: <https://elibrary.ru/NCFJMD>
43. Ghadhbhan, R. F. (2024). Effect of dexamethasone, estrogen administration on leptin, thyroid, reproductive hormone concentration and lipid profile of female rabbits' serum. *Basrah Journal of Veterinary Research*, 12(1), 41–53.
44. Hussei, A. J., Majeed, M. F., & Abbas, A. S. (2014). Histopathological study of some organ after long-term treatment with dexamethasone in male rabbits. *Journal of University of Zakho*, 2(1), 39–48.
45. Liu, C., Guan, J., Kang, Y., Xiu, H., Chen, Y., Deng, B., & Liu, K. (2010). Inhibition of dehydration-induced water intake by glucocorticoids is associated with activation of hypothalamic natriuretic peptide receptor-A in rat. *PLOS ONE*, 5(12), e15607.
46. Franco-Colín, M., Villanueva, I., Piñón, M., & Racotta, R. (2006). The effects of sympathectomy and dexamethasone in rats ingesting sucrose. *International Journal of Biological Sciences*, 6, 17–22.

47. Elamin, F., Abdel, A. K., & Dousa, M. (2017). Response of broiler chicks to dietary cardamom (*Elettaria cardamomum*) as a feed additive. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Production*, 2(2), 1–10.
48. Shinde, S., Burte, R. G., Kumar, S., Desai, B., & Bhagat, D. (2017). Effect of cardamom (*Elettaria cardamomum*) and ginger (*Zingiber officinale*) powder supplementation on growth performance and economic analysis in broiler. *International Journal of Chemical Studies*, 5(3), 858–861.
49. Adanma, O., Okolie, N., & Michael, U. (2019). Histomorphological effects of *Citrus aurantifolia* (lime) leaf extract on acetaminophen-induced hepatotoxicity in Wistar rats. *International Journal of Innovative Research and Advanced Studies*, 6(6), 26–30.
50. Ashida, H., Furuyashiki, T., Nagayasu, H., Bessho, H., Sakakibara, H., Hashimoto, T., & Kanazawa, K. (2004). Anti-obesity actions of green tea: Possible involvements in modulation of the glucose uptake system and suppression of the adipogenesis-related transcription factors. *BioFactors*, 22(1–4), 135–140.
51. Abood, A. H., Al-Ali, I. A., & Hussein, K. A. (2022). Evaluation of the antidiabetic activity of a traditional herbal mixture in alloxan-induced diabetic rabbits. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(1), 149–157. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.1.19>. EDN: <https://elibrary.ru/BMISCS>
52. Sultana, A., Das, B. K., & Saha, D. (2024). Role of hentriacontane on dexamethasone-induced insulin resistance in rats. *Pharmacological Research — Natural Products*, 4, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100063>. EDN: <https://elibrary.ru/WRLIHX>
53. Shittu, S.-T. T., Lasisi, T. J., Shittu, S. A.-S., Adeyemi, A., Adeoye, T. J., & Alada, A. A. (2021). *Ocimum gratissimum* enhances insulin sensitivity in male Wistar rats with dexamethasone-induced insulin resistance. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 20(2), 1257–1267.
54. Holness, M. J., Smith, N. D., Greenwood, G. K., & Sugden, M. C. (2005). Interactive influences of peroxisome proliferator-activated receptor α activation and glucocorticoids on pancreatic beta cell compensation in insulin resistance induced by dietary saturated fat in the rat. *Diabetologia*, 48(10), 2062–2068. <https://doi.org/10.1007/s00125-005-1894-0>. EDN: <https://elibrary.ru/DRNLWA>
55. Rafacho, A., Roma, L. P., Taboga, S. R., Boschero, A. C., & Bosqueiro, J. R. (2007). Dexamethasone-induced insulin resistance is associated with increased connexin 36 mRNA and protein expression in pancreatic rat islets. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 85(5), 536–545.
56. Kim, H. K., Park, H. R., Lee, J. S., Chung, T. S., Chung, H. Y., & Chung, J. (2007). Down-regulation of iNOS and TNF- α expression by kaempferol via

- NF- κ B inactivation in aged rat gingival tissues. *Biogerontology*, 8(4), 399–408. <https://doi.org/10.1007/s10522-007-9083-9>. EDN: <https://elibrary.ru/USVXVR>
57. Yahyazadeh, R., Ghasemzadeh Rahbardar, M., Razavi, B. M., Karimi, G., & Hosseinzadeh, H. (2021). The effect of *Elettaria cardamomum* (cardamom) on the metabolic syndrome: Narrative review. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 24(11), 1462–1469.
58. MahdaviFard, S., & Nakhjavani, M. (2022). 1,8-cineole protects type 2 diabetic rats against diabetic nephropathy via inducing the activity of glyoxalase-I and lowering the level of transforming growth factor-1 β . *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 21(1), 567–572. <https://doi.org/10.1007/s40200-022-01014-2>. EDN: <https://elibrary.ru/WDIVXV>
59. Rose, A., & Medou, F. (2020). Acute and subacute effects of aqueous extract of *Picralima nitida* seeds on dexamethasone-induced insulin resistance in rats. *Annals of Biological Sciences*, 8(1), 1–11.
60. Mahmoud, M. F., Elmaghraby, A. M., Ali, N., Mostafa, I., El-Shazly, A. M., Abdelfattah, M. A. O., & Sobeh, M. (2022). Black pepper oil (*Piper nigrum* L.) mitigates dexamethasone-induced pancreatic damage via modulation of oxidative and nitrosative stress. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113456.
61. Weir, G. C., Laybutt, D. R., Kaneto, H., Bonner-Weir, S., & Sharma, A. (2001). Beta-cell adaptation and decompensation during the progression of diabetes. *Diabetes*, 50(Suppl 1), S154–S159. <https://doi.org/10.2337/diabetes.50.2007.s154>
62. Barth, R., Ruoso, C., Ferreira, S. M. C., Lima, F. B., Boschero, A. C., & Jorge, G. (2021). Hepatocyte nuclear factor 4- α (HNF4 α) controls the insulin resistance-induced pancreatic β -cell mass expansion. *Life Sciences*, 289, 120213.
63. Manlai, U., Chang, S.-W., Lee, S.-C., Ho, W.-J., Hsu, T.-H., Lin, J.-G., Lin, C.-M., Chen, Y.-I., & Chang, S.-L. (2021). Hypoglycemic effect of electroacupuncture combined with *Antrodia cinnamomea* in dexamethasone-induced insulin-resistant rats. *Medical Acupuncture*, 33(1), 58–64. <https://doi.org/10.1089/acu.2020.1455>. EDN: <https://elibrary.ru/NVUKBN>
64. Dwi, A., Jap, A., Lady, J., Prismawan, D., Sharopov, F., Daoud, R., Wink, M., & Sobeh, M. (2021). Function of selected natural antidiabetic compounds with potential against cancer via modulation of the PI3K/AKT/mTOR cascade. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 144, 112138.
65. Dawood, M., & Alkalby, J. (2020). Effect of treatment with dexamethasone on thyroid function in lactating female rats. *Basrah Journal of Veterinary Research*, 19(1), 331–345.
66. Amran, D., Al-Derawi, K., & Al-Saadi, S. (2023). Phytochemical constituents of bark essential oils of *Cinnamomum zeylanicum* Blume and effects on liver

- tissue of rats. *University of Thi-Qar Journal of Science*, 10(2), 165–170. <https://doi.org/10.32792/utq/utjsci/v10i2.1131>. EDN: <https://elibrary.ru/QRLEHL>
67. Majdalawieh, A. F., & Carr, R. I. (2010). In vitro investigation of the potential immunomodulatory and anti-cancer activities of black pepper (*Piper nigrum*) and cardamom (*Elettaria cardamomum*). *Journal of Medicinal Food*, 13(2), 371–381.
68. Rahman, M. M., Alam, M. N., Ulla, A., Sumi, F. A., Subhan, N., Khan, T., Sikder, B., Hossain, H., Reza, H. M., & Alam, M. A. (2017). Cardamom powder supplementation prevents obesity, improves glucose intolerance, inflammation and oxidative stress in liver of high carbohydrate high fat diet-induced obese rats. *Lipids in Health and Disease*, 16(1), 151. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0539-x>. EDN: <https://elibrary.ru/YHBKTI>
69. Aghasi, M., Koohdani, F., Qorbani, M., Nasli-Esfahani, E., Ghazi-Zahedi, S., Khoshamal, H., Keshavarz, A., & Sotoudeh, G. (2019). Beneficial effects of green cardamom on serum SIRT1, glycemic indices and triglyceride levels in patients with type 2 diabetes mellitus: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(8), 3933–3940.
70. Daneshi-Maskooni, M., Keshavarz, S. A., Qorbani, M., Mansouri, S., Alavi-an, S. M., Badri-Fariman, M., Jazayeri-Tehrani, S. A., & Sotoudeh, G. (2019). Green cardamom supplementation improves serum irisin, glucose indices, and lipid profiles in overweight or obese non-alcoholic fatty liver disease patients: A double-blind randomized placebo-controlled clinical trial. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-019-2465-0>. EDN: <https://elibrary.ru/COFNH>
71. Suneetha, W. J., & Krishnakantha, T. P. (2005). Cardamom extract as inhibitor of human platelet aggregation. *Phytotherapy Research*, 19(5), 437–440.
72. Goyal, S., Sharma, C., Mahajan, U., Patil, C., Agrawal, Y., Kumari, S., Arya, D., & Ojha, S. (2015). Protective effects of cardamom in isoproterenol-induced myocardial infarction in rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(11), 27457–27469.
73. Kanthlal, S. K., Joseph, J., Paul, B. M., & P, U. D. (2020). Antioxidant and vasorelaxant effects of aqueous extract of large cardamom in L-NAME-induced hypertensive rats. *Clinical and Experimental Hypertension*, 42(7), 581–589. <https://doi.org/10.1080/10641963.2020.1739699>. EDN: <https://elibrary.ru/AKWDYW>
74. Issa, A. A., Alshami, J., & Al-Salih, H. A. H. (2023). Effect of dexamethasone on tail regeneration in the electric black ghost knifefish *Apteronotus albifrons* (Linnaeus, 1766). *Basrah Journal of Agricultural Sciences*, 36(2), 68–80. <https://doi.org/10.37077/25200860.2023.36.2.06>. EDN: <https://elibrary.ru/OQKFKZ>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Zahraa Abd Alreda Jabbar: conceptualization, methodology, software, validation, investigation, resources, visualization, project administration.

Karim H. Al-Derawi: conceptualization, validation, writing-original draft preparation, writing-review and editing, supervision.

Sahar A. A. Malik Al Saadi: validation, formal analysis, data curation.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Zahraa Abd Alreda Jabbar, MSc. Student, Department of Biology

College of Science, University of Basrah

Qarmat Ali, Basrah, Iraq

imankadhim28@gmail.com

Karim H. Al-Derawi, PhD, Prof., Department of Biology

College of Science, University of Basrah

Qarmat Ali, Basrah, Iraq

karim.thamir@uobasrah.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1939-9838>

Sahar A. A. Malik Al Saadi, PhD, Prof., Department of Biology

College of Science, University of Basrah

Qarmat Ali, Basrah, Iraq

sahar.malik@uobasrah.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2782-3907>

Поступила 25.12.2024

После рецензирования 20.02.2025

Принята 16.03.2025

Received 25.12.2024

Revised 20.02.2025

Accepted 16.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1255

EDN: HHBFPF

UDC 633.491



Original article

THE INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON THE YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF POTATO TUBERS IN NON-CHERNOZEM ZONE CONDITIONS

*I.S. Pityurina, A.A. Meleshin,
D.V. Vinogradov*

Abstract

Background. The main advantage of the stimulating effect of growth regulators is the acceleration of potato plant development, improvement of the quality of tubers with a simultaneous increase in yield. At the moment, a fairly large number of plant growth regulators are known that can be used in potato growing. However, the emergence of new plant growth regulators requires their detailed study, in order to investigate the effect of the applied concentrations, the characteristics of the variety of grown potatoes and cultivation conditions.

The **purpose** of the conducted studies was to investigate the effect of plant growth regulators on growth processes, yield and quality of potatoes as a result of pre-planting treatment of tubers and spraying of vegetative plants.

Materials and methods. The research methods were based on generalization of both domestic and foreign scientific sources, as well as on conducting laboratory and field experiments, phenological observations and records in accordance with recommendations and generally accepted methods. Microsoft Office Excel was used to process statistical data.

Results. The results of the conducted studies established a positive effect of growth regulators on germination of eyeholes of Vympel and Krasa Meshchery varieties. The maximum number of germinated eyeholes was observed when tubers were treated with growth regulator Mival-Agro, KRP - 83.5% for Vympel variety, Krasa Meshchery had 80.3%. This value exceeded the control indicator by 17.2% and 16.5%, respectively. The use of Megafol, Zh and Ecopin, TPS also stimulated bud germination, reaching 77.6% and 72.4% for Vympel potatoes, 76.9% and 70.4% for Krasa Meshchery potatoes, respectively. Field germination of the studied pota-

to varieties increased by 3.8–5.6% compared to the control group. The vegetation period for the variant of treated tubers and vegetating plants using Megafol, Zh and Mival-Agro, KRP was six days shorter than in the control group, and three days shorter compared to the use of growth regulator Ecopin, TPS. When treating tubers and plants with Mival-Agro, TPS, an increase in the number of stems by 10.4% and leaves by 6.9% was observed compared to the control, the leaf area increased by 12.03% and plant height by 12.0% on average for two varieties and years of research. In the variants of using growth regulators, an increase in photosynthetic potential of up to 28.2% was observed. The greatest increase in indicators on average for two varieties over three years of research was in the variant with growth regulator Mival-Agro, KRP: tops weight by 42.6%, stems weight by 56.0%, leaves weight by 41.5% tuber weight by 21.4%, and the number of tubers by 18.1% higher than the control.

The use of growth regulator Mival-Agro, KRP led to the maximum yield compared to the control variant: Vympel had 38.7 dt/ha (+ 18.2%) and Krasa Meshchery had 36.3 dt/ha (+ 17.8%). The use of growth regulators Megafol, Zh and Ecopin, TPS also contributed to an increase in the yield of two varieties, but to a lesser extent: Vympel had 30.6 dt/ha (+ 14.4%) and 30.2 dt/ha (+ 14.2%); Krasa Meshchery had 27.8 dt/ha (+ 13.7%) and 26.7 dt/ha (+ 13.1%), respectively.

Conclusion. The study of the efficiency of plant growth regulators (Mival-Agro, KRP; Megafol, Zh; Ecopin, TPS) on Vympel and Krasa Meshchery potato varieties demonstrated their positive effect on plant growth and development, yield and product quality. Treatment of tubers before planting and spraying vegetative plants with growth regulators led to an increase in the efficiency of agricultural technology. The most significant results were obtained when using growth regulator Mival-Agro, KRP on Vympel potato variety. In this variant, the yield was 38.7 dt/ha, which was 18.2% higher than the control variant. The starch content in tubers reached 14.3%, and an increase in the proportion of large potato fraction was also observed. The study confirmed the efficiency of using the studied growth regulators to improve the quality and yield of potatoes grown in the non-chernozem zone of Ryazan region.

Keywords: non-chernozem zone; growth regulator; agrochemical; variety; potato; quality characteristics; efficiency; yield

For citation. Pityurina, I. S., Meleshin, A. A., & Vinogradov, D. V. (2025). The influence of plant growth regulators on the yield and quality characteristics of potato tubers in non-chernozem zone conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 119-134. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1255>

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

*И.С. Питюрина, А.А. Мелешин,
Д.В. Виноградов*

Аннотация

Обоснование. Основным достоинством стимулирующего действия регуляторов роста является ускорение развития растений картофеля, улучшение качества клубней с одновременным увеличением урожайности. В данный момент известно достаточно большое количество регуляторов роста растений, которые могут быть использованы в картофелеводстве. Однако, появление новых регуляторов роста растений требует их детального изучения, с целью исследования влияния вносимых концентраций, особенностей сорта выращиваемого картофеля и условий возделывания.

Цель исследования – изучение воздействия регуляторов роста растений на процесс вегетации, продуктивность и качество картофеля как следствие предпосадочной обработки клубней и опрыскивания вегетирующих растений.

Материалы и методы. Исследовательские методы основываются на обобщении как отечественных, так и зарубежных научных источников, а также на проведении лабораторных и полевых экспериментов, фенологических наблюдений и учетов в соответствии с рекомендациями и общепринятыми методиками. Для обработки статистических данных использовалась программа Microsoft Office Excel.

Результаты. По результатам проведенных исследований установлено положительное влияние регуляторов роста на прорастание глазков картофеля сорта Вымпел и Краса Мещеры. Максимальное количество проросших глазков наблюдается при обработке клубней регулятором роста Мивал-Агро, КРП – 83,5% по сорту Вымпел, Краса Мещеры – 80,3%. Это значение превышает контрольный показатель на 17,2% и 16,5% соответственно по сортам. Применение Мегафол, Ж и Экопин, ТПС также стимулировало прорастание почек, достигнув 77,6% и 72,4% у картофеля Вымпел, 76,9% и 70,4% у картофеля Краса Мещеры со-

ответственно. Полевая всхожесть исследуемых сортов картофеля увеличилась на 3,8–5,6% по сравнению с контрольной группой. Вегетационный период для варианта обработанных клубней и вегетирующих растений с использованием Мегафол, Ж и Мивал-Агро, КПП оказался на шесть дней короче, чем в контрольной группе, и на три дня короче по сравнению с использованием регулятора роста Экопин, ТПС. При обработке клубней и растений Мивал-Агро, ТПС наблюдалось увеличение числа стеблей на 10,4%, листьев на 6,9% по сравнению с контролем, площадь листьев увеличилась на 12,03%, высота растений на 12,0% в среднем по двум сортам и годам исследований. В вариантах применения регуляторов роста наблюдается увеличение фотосинтетического потенциала до 28,2%. Наибольшая прибавка по показателям в среднем по двум сортам за три года исследований в варианте опыта с регулятором роста Мивал-Агро, КПП: масса ботвы на 42,6%, масса стеблей на 56,0%, масса листьев на 41,5% масса клубней на 21,4%, а количество клубней на 18,1% выше контроля.

Использование регулятора роста Мивал-Агро, КПП привело к получению максимального показателя урожайности по сравнению с контрольным вариантом: Вымпел – 38,7 ц/га (+18,2%), Краса Мещеры – 36,3 ц/га (+17,8%). Использование регуляторов роста Мегафол, Ж и Экопин, ТПС также способствовало увеличению урожайности двух сортов, но в меньшей степени: Вымпел – 30,6 ц/га (+14,4%) и 30,2 ц/га (+14,2%); Краса Мещеры – 27,8 ц/га (+13,7%) и 26,7 ц/га (+13,1%) соответственно.

Заключение. Исследование эффективности регуляторов роста растений (Мивал-Агро, КПП; Мегафол, Ж; Экопин, ТПС) на сортах картофеля Вымпел и Краса Мещеры продемонстрировало их положительное влияние на рост, развитие растений, урожайность и качество продукции. Обработка клубней перед посадкой и опрыскивание вегетирующих растений регуляторами роста привела к повышению эффективности агротехники. Наиболее значимые результаты были получены при применении регулятора роста Мивал-Агро, КПП на картофеле сорта Вымпел. В этом варианте урожайность составила 38,7 ц/га, что на 18,2% превысило контрольный вариант. Содержание крахмала в клубнях достигло 14,3%, а также наблюдалось увеличение доли крупной фракции картофеля. Данное исследование подтверждает эффективность применения изученных регуляторов роста для повышения качества и урожайности картофеля, выращиваемого в нечерноземной зоне Рязанской области.

Ключевые слова: регуляторы роста; новые сорта; картофель; характеристики качества; эффективность; урожайность

Для цитирования. Питюрина, И. С., Мелешин, А. А., & Виноградов, Д. В. (2025). Исследование воздействия регуляторов роста растений на урожайность и качественные характеристики клубней картофеля в условиях Нечер-

ноземья. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 119-134. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1255>

Introduction

Currently, one of the key areas of work of agricultural enterprises is to increase the volume of agricultural production by increasing the yield of cultivated crops. Potatoes are one of the most important agricultural crops in global crop production. In modern conditions of agronomic practice, the use of growth regulators is a promising method for increasing potato productivity. The use of growth regulators in small doses allows to influence the entire cycle of plant development. These substances make it possible to control physiological processes in plants, which is an important factor in modern agricultural technologies. Growth regulators contribute to intensification of plant growth and development. At the same time, they enhance natural resistance of crops to adverse environmental conditions of not only natural but also anthropogenic origin, increasing the yield and quality of finished plant products. The group of natural regulators of non-hormonal origin includes such regulators as: Mival-Agro, KRP, Megafol, Zh, and Ecopin, TPS.

The purpose of the research was to study the influence of natural regulators Mival-Agro, KRP, Megafol, Zh and Ecopin, TPS on growth processes, yield and quality of potatoes of Vympel and Krasa Meshchery varieties during the preparation of planting material and the treatment of plants during their growth and development.

Scientific novelty. For the first time in conditions of the non-chernozem zone, studies were conducted devoted to the analysis of the impact of natural growth regulators on field germination, development, yield and quality indicators of potatoes.

Materials and methods

Scientific research on the influence of natural growth regulators on the development of potato plants and the formation of the potato crop structure was carried out in 2022-2024 in conditions of Research Center "Agrotechnopark" in Ryazan region.

The objects of the research were two mid-season potato varieties Vympel and Krasa Meshchery, and three growth regulators: Mival-Agro, KRP; Megafol, Zh; Ecopin, TPS

The selected potato varieties for research are approved for use in 2020. The Vimpel variety, included in the State Register in 2016, is characterized by high and stable yields and increased resistance to adverse external factors. The Krasa Meshchera variety, registered in 2017, is resistant to adverse environmental conditions and is characterized by good shelf life.

The experimental design included the following options:

1. Control (tubers and plants without treatment);
2. Megafol, Zh (tubers - 4 ml/t, plants - 0.4 ml/ha);
3. Mival-Agro, KRP (tubers - 2 g/t, plants - 20 g/ha);
4. Ecopin, TPS (tubers - 0.1 kg/t, plants - 0.3 kg/ha).

During the growing season, potato plants were treated in the phase of full shoots and in the phase of the beginning of budding.

The forecrop in the experiment was winter wheat. Azofoska (2.1 dt/ha) was added during spring soil cultivation. Potatoes were planted in the first ten days of May, according to the 70 by 25 scheme, the depth of tuber planting was 7-8 cm, the planting rate was 3 t/ha.

When caring for experimental plantings, pesticide treatments and mechanical soil treatments were carried out as needed. Potatoes were harvested in the second ten days of August, with the tops removed five to six days before harvesting.

According to the Ryazan Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, the meteorological conditions of the growing seasons of 2022-2024 were characterized by significant fluctuations in air temperature and uneven precipitation, both during individual months and throughout the period.

The weather conditions of the growing season over the years of research were characterized by the following indicators: 2022 – hot in some periods with average moisture availability (GTC – 0.95); 2023 – humid, hot in some periods (GTC – 1.30); 2024 – was noted as arid, the air temperature was above the annual average (GTC – 0.78).

The soil of the experimental plots of the Ryazan region of the Ryazan region was characterized by the following indicators: humus (according to Tyurin) 3.39-2.78%, mobile phosphorus (according to Kirsanov) P_2O_5 – 153-155 mg/kg of soil, exchangeable potassium (according to Kirsanov) K_2O – 125-130 mg/kg of soil, pH (according to Korshunov) – 5.44-5.25.

Phenological observations, study of biometric indicators of plants, accounting of the harvest and its structure were carried out according to generally accepted, standard methods. Experimental data were subjected to mathematical processing. The experiment was laid down in fourfold repetition, the placement of plots was randomized.

Research results and discussion

Analysis of the conducted laboratory studies showed that growth regulators stimulated more active awakening of dormant buds on tubers, which in turn contributed to further increase in stems, assimilation surface of leaves and productivity of potato plants.

The results of the effect of treating tubers with the studied growth regulators on the germination of eyeholes of Vympel potato variety and field germination are presented in Figure 1.

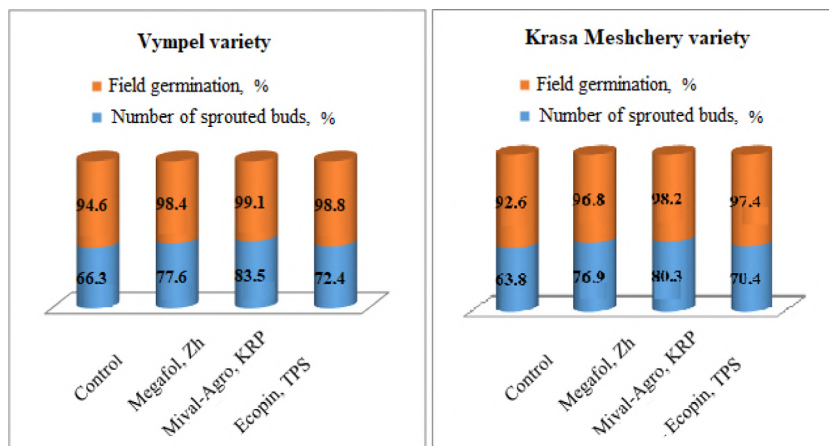


Fig. 1. Effect of tuber treatment with the studied growth regulators on the germination of eyeholes and field germination of potato varieties

The analysis of the data presented in Figure 1 shows that the maximum number of sprouted eyeholes was observed when treating tubers with growth regulator Mival-Agro, KRP - 83.5% for Vympel variety and 80.3% for Krasa Meshchery. This value exceeded the control indicator by 17.2% and 16.5%, respectively, for the varieties. The use of Megafol, Zh and Ecopin, TPS also stimulated the germination of buds, reaching 77.6% and 72.4% for Vympel potatoes, 76.9% and 70.4% for Krasa Meshchery potatoes, respectively.

During the field observations, an acceleration of the germination process of potato plants treated with growth regulators was established. Preliminary treatment of potato tubers with growth regulators led to an increase in field germination by 3.8-5.6% compared to the control group. The maximum increase in germination (by 4.5% for Vympel potato variety and by 5.6 for Krasa Meshchery potato variety) was noted when using Mival-Agro, KRP preparation. Treatment of tubers with Megafol, Zh and Ecopin, TPS preparations contributed to an increase in germination by 3.8% and 4.2% for Vympel variety, by 4.2% and 4.8% for Krasa Meshchery variety, respectively. In addition, the emergence of seedlings in variants with treatment for two varieties was observed 1-3 days earlier than in the control.

The conducted studies of the phenological stages of potato development over three years showed a more intensive dynamics of their onset associated with the use of growth regulators. In general, an acceleration of a number of key stages of plant development was observed compared to the control group. The use of growth regulators led to the fact that the first potato shoots appeared 1-3 days earlier, the budding phase occurred 2-5 days earlier than in the control variant. Potato sprouts treated with growth regulators Mival-Agro, KRP and Megafol, Zh demonstrated more intensive development compared to the control group. This suggests that growth regulators contributed to a more rapid and effective development of the root system and the aboveground part of potato plants. The use of growth regulators Mival-Agro, KRP and Megafol, Zh contributed to the intensive development of potato plants. This was probably due to their complex effect on physiological processes, including stimulation of growth and development, increased resistance to stress factors, improved absorption of nutrients and optimization of photosynthesis. It is important to note that the results of the studies depended on a number of factors, such as: potato variety, climatic conditions, soil type, dosage of growth regulators and the method of their application. Therefore, further studies are needed to study in more detail the effect of growth regulators on potato development and its yield.

When studying the biometric indicators for the experimental variants over three years of research, it was found that a significant increase in the parameters of the studied varieties was observed in the variants with Mival-Agro, KRP and Megafol, Zh (Table 1).

Table 1.

**Effect of growth regulators on biometric indicators of potato plants
in the flowering phase (average for 2022-2024)**

Option	Number of stems, pcs/a bush		Plant height, cm		Number of leaves, pcs/ bush		Leaf area, m ² / plant	
	Vy-mpel	Krasa Mesh-chery	Vy-mpel	Krasa Mesh-chery	Vy-mpel	Krasa Mesh-chery	Vy-mpel	Krasa Mesh-chery
Control	4.8	4.6	48.2	47.5	65.0	63.8	0.44	0.43
Megafol, Zh (4 ml/t + 0.4 ml/ha)	5.2	5.0	53.7	49.3	68.9	65.5	0.48	0.46
Mival-Agro, KRP (2 g/t + 20 g/ha)	5.3	5.1	54.0	52.6	69.5	66.8	0.51	0.47
Ecopin, TPS (0.1 kg/t + 0.3 kg/ha)	5.1	4.9	53.5	48.9	68.4	64.3	0.46	0.45

According to the results of the research, it was revealed that when treating tubers and plants with Mival-Agro, KRP, the number of stems exceeded the control on average for two varieties over 3 years of research by 10.4%, leaves by 6.9%, their area by 12.03%, the plant height indicator exceeded the value of the control option by 12.0%, and the leaf area by 13.0%, which was the highest indicator of all the experimental options.

When treating tubers and plants with Megafol, Zh and Ecopin, TPS, on average for two varieties over three years of research, the number of stems exceeded the control by 8.3% and 6.25%, leaves by 6.0% and 5.2%, their area by 5.2% and 4.5%, plant height by 11.4% and 11.0%, respectively.

Photosynthetic potential characterizes the efficiency of solar radiation assimilation by plants for the implementation of the photosynthesis process during the entire period of active growth. Figure 2 presents the results of the study demonstrating the effect of growth regulators on the photosynthetic potential of potato plants of Vypel and Krasa Meshchery varieties at the flowering stage.

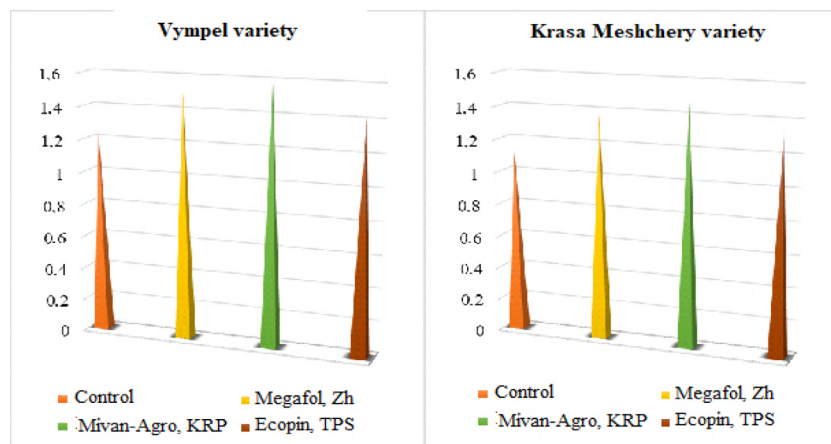


Fig. 2. Effect of growth regulators on the photosynthetic potential (million $\text{m}^2\text{day/ha}$) of potato plants in the flowering phase (average for 2022-2024)

In all variants of growth regulator application, an increase in photosynthetic potential by 14.5-28.2% was observed. Vypel variety showed the following results in experimental studies: in the control sample, the photosynthetic potential value in the flowering phase was 1.24 million $\text{m}^2\text{days/ha}$, in the variant with the use of Mival-Agro, KRP was 1.59 million $\text{m}^2\text{days/ha}$, Megafol, Zh - 1.51 million $\text{m}^2\text{days/ha}$ and Ecopin, TPS - 1.42 million $\text{m}^2\text{days/ha}$.

In Krasa Meshchery, the highest value of the photosynthetic potential indicator in the flowering phase was observed with the use of Mival-Agro, KRP - 1.48 million m²day/ha, the lowest value in the control variant was 1.12 million m²day/ha.

Analysis of the effect of growth regulators on the biometric indicators of the studied potato varieties is presented in Table 2.

Table 2.

**Effect of preparations on biometric parameters of potato plants
in the flowering phase (average for 2022-2024)**

Option	Tops weight, g		Stems weight, g		Leaves weight, g		Tubers weight per bush, g		Number of tubers per bush, pcs.	
	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery
Control	284.3	279.4	118.2	117.6	152.3	151.6	738.3	736.2	8.3	7.9
Megafol, Zh (4 ml/t + 0.4 ml/ha)	351.8	347.5	154.6	154.3	191.8	187.6	875.5	863.4	9.2	8.7
Mival-Agro, KRP (2 g/t + 20 g/ha)	405.5	389.6	184.5	179.8	215.5	209.6	896.3	884.2	9.8	8.9
Ecopin, TPS (0.1 kg/t + 0.3 kg/ha)	353.6	349.8	165.5	160.2	186.4	184.3	860.8	859.7	9.6	8.8

Experimental studies showed that the studied growth regulators had a positive effect on the dynamics of growth of biometric indicators of Vympel and Krasa Meshchery potato varieties. The greatest increase in indicators on average for two varieties over three years of research was in the variant of the experiment with growth regulator Mival-Agro, KRP: tops weight was 42.6% higher, stems weight was 56.0% higher, leaves weight was 41.5% higher, tuber weight was 21.4% higher, and the number of tubers was 18.1% higher than the control.

The tops weight on average over three years of research for both varieties increased by 24.4% when using Ecopin, TPS and by 23.7% when using Megafol, Zh. The stems weight increased by 40.0% and 30.8%, respectively. The leaf mass indicators were 22.4% for Ecopin, TPS and 25.9% for Megafol, Zh. The increase in tuber mass reached 16.6% of the control when treated with Ecopin, TPS and 18.6% when using Megafol, Zh. The number of tubers increased by 15.7% and 10.8%, respectively.

The use of growth regulators contributed to an increase in both quantitative and qualitative characteristics of Vympel and Krasa Meshchery potato tubers. The data on potato yield are presented in Figure 3.

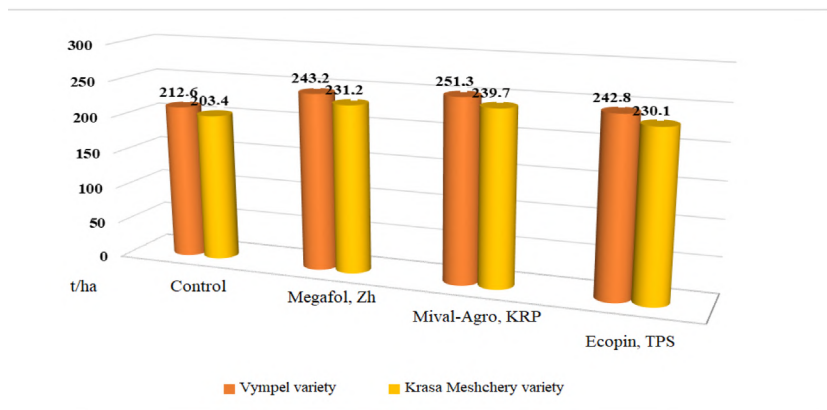


Fig. 3. Effect of preparations on the yield (t/ha) of potato varieties Vympel and Krasa Meshchery (average for 2022-2024)

Experimental studies showed that the use of growth regulator Mival-Agro, KRP during the potato growing season, both on tubers and on plants, led to the maximum increase in yield compared to the control variant: Vympel - 38.7 dt/ha (18.2%), Krasa Meshchery - 36.3 dt/ha (17.8%). The use of growth regulators Megafol, Zh and Ecopin, TPS also contributed to an increase in yield, but to a lesser extent: Vympel - 30.6 dt/ha (14.4%) and 30.2 dt/ha (14.2%); Krasa Meshchery - 27.8 dt/ha (13.7%) and 26.7 dt/ha (13.1%), respectively.

The analysis of the effect of growth regulators on quality characteristics of potatoes of Vympel and Krasa Meshchery varieties is presented in Table 3.

According to the results of studies on the quality indicators of potato tubers of Krasa Meshchery and Vympel varieties when using growth regulators, it could be concluded that Vympel variety was more responsive to the use of preparations.

Based on characteristics of Vympel variety, it had starch content of 10.2-13.2% and marketability of 71-94%. From these studies, it could be concluded that the preparations had a positive increase not only in potato yield, but also contributed to improving the quality indicators of tubers. Thus, in terms of starch content, all treatment options with growth regulators exceeded the control: Megafol, Zh treatment by 12.5%, Mival-Agro, KRP treatment by 14.3%, Ecopin, TPS treatment by 6.3%.

Table 3.

Studying the effect of growth regulators on quality indicators of potato tubers of the studied varieties (average for 2022-2024)

Option	Starch, %		Fraction content to total mass						Marketabili- ty, %	
			large (≥ 80 g)		medium (50-80 g)		small (< 50 g)			
	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery	Vympel	Krasa Meshchery
	Control	11.2	10.2	66.8	65.5	24.3	25.3	8.9	9.2	91.1
Megafol, Zh (4 ml/t + 0.4 ml/ha)	12.6	11.3	69.9	68.6	23.3	24.3	6.8	7.1	93.2	92.9
Mival-Agro, KRP (2 g/t + 20 g/ha)	12.8	11.8	71.4	70.1	22.9	23.9	5.7	6.0	94.3	94.0
Ecopin, TPS (0.1 kg/t + 0.3 kg/ha)	11.9	10.9	68.8	67.5	23.1	24.1	8.1	8.4	91.9	91.6

The use of growth regulators influenced the increase in the proportion of large fraction in the experimental variants on average for two varieties over three years of research: Megafol, Zh by 4.6%, Mival-Agro, KRP by 6.9%, Ecopin, TPS by 3.0%.

Conclusion

Thus, the use of the studied growth regulators (Megafol, Zh, Mival-Agro, KRP, Ecopin, TPS) in conditions of Ryazan region influenced the growth and development processes of potato plants of Vympel and Krasa Meshchery varieties, which entailed a more intensive development of the generative organs of the crop, which contributed to the growth of both quantitative and qualitative indicators of the studied potato varieties.

At the same time, growth regulator Mival-Agro, KRP proved to be more effective in the complex treatment of tubers before planting (2 g/t); and during vegetation in the phases of 2-3 leaves and budding (20 g/ha).

References / Список литературы

1. Bakulina, G., Fedoskin, V., Pikushina, M., Kukhar, V., & Kot, E. (2020). Factor analysis models in enterprise costs management. *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, 14, 232–240. <https://doi.org/10.46300/9106.2020.14.34>. EDN: <https://elibrary.ru/KWOPL0>

2. Byshov, N. V., Lupova, E. I., & Morozova, N. I. (2018). Peculiarities of growing gold-of-pleasure for oilseeds and its use in feed production in the non-chernozem zone of Russia. *Amazonia Investiga*, 7(16), 37–45. EDN: <https://elibrary.ru/UDTSUK>
3. Evsenina, M. V., Vinogradov, D. V., Lupova, E. I., & Pityurina, I. S. (2022). Quality and yield of wheat bread when using different amounts of salt. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1069(1), 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1069/1/012016>. EDN: <https://elibrary.ru/GCWGVS>
4. Evsenina, M. V., & Novikova, A. V. (2021). Improving the conditioning of wheat grain when preparing it for grinding into graded flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723(2), 022081.
5. Khalipsky, A. N., Churakov, A. A., & Popova, H. M. (2022). Results of competitive testing of potato varieties in the environmental conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 981(2), 022034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/2/022034>. EDN: <https://elibrary.ru/OOPVRT>
6. Lozovaya, O. V., Martynushkin, A. B., & Polyakov, M. V. (2023). Optimization of management functions and business processes at road transport enterprises. *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East” (AFE-2022)*, 371, 04012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202337104012>. EDN: <https://elibrary.ru/FIZEOA>
7. Lozovaya, O., Martynushkin, A., & Fedoskina, I. (2021). Management justification and applications of the personal approach at the enterprise of the AIC. *E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE-2021)*, 284, 07010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128407010>. EDN: <https://elibrary.ru/APGSEP>
8. Lupova, E. I., Sazonkin, K. D., & Vinogradov, D. V. (2021). Yield of winter rape in Ryazan region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 723, 022031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022031>. EDN: <https://elibrary.ru/QKARCO>
9. Lupova, E. I., & Vysotskaya, E. A. (2022). The influence of tillage methods on the yield of oilseeds of the Brassicaceae family. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012028. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/996/1/012028>. EDN: <https://elibrary.ru/LXQMTZ>
10. Musayev, F., Danilin, S., Zakharova, O., & Rodikov, S. (2020). Agroecological role of biohumus on sod-podzolic soil during irrigation of the rump-timothy grass mixture. *E3S Web of Conferences*, 210, 4003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004003>. EDN: <https://elibrary.ru/XDUVAR>

11. Mustafayev, M. G., Mazhaysky, Y. A., & Vinogradov, D. V. (2018). Diagnostic parameters of irrigated meadow-serozemic and alluvial-meadow soils of the Mugan-Sal'yany massif of Azerbaijan. *Russian Agricultural Sciences*, 44(6), 551–558. EDN: <https://elibrary.ru/JAPPSN>
12. Nakayeva, A. A., & Okazova, Z. P. (2017). On the competitiveness of field crops. *Successes of Modern Science*, 2, 191–195.
13. Pashkang, N. N., Martynushkin, A. B., & Krasnikov, A. G. (2021). The efficiency of grain production industry in Ryazan region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 032091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/3/032091>. EDN: <https://elibrary.ru/PVZRZT>
14. Pityurina, I. S., & Vinogradov, D. V. (2021). Potato yield on dark gray soils when using microbiological preparation. *E3S Web of Conferences: International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021)*, 285, 02008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502008>. EDN: <https://elibrary.ru/UCUUYF>
15. Pityurina, I. S., Vinogradov, D. V., Lupova, E. I., & Evsenina, M. V. (2021). Using the biologization elements in potato cultivation technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, Engineering, Technology, Innovation and Digital Technologies in Agriculture*, 032047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032047>. EDN: <https://elibrary.ru/JHAHDG>
16. Stupin, A. S., Lupova, E. I., & Sokolov, A. A. (2021). Increase in efficiency of spring rapeseed production due to modern seed pickers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624, 012106.
17. Ushakov, R. N., Ruchkina, A. V., Levin, V. I., Zakharova, O. A., Kostin, Y. V., & Golovina, N. A. (2018). Sustainability of agro-gray soil to pollution and acidification. *Bio Diagnostics International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.36), 929. EDN: <https://elibrary.ru/YCWJBY>
18. Vasileva, V. (2015). Aboveground to root biomass ratios in pea and vetch after treatment with organic fertilizer. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 1(2), 71–74.
19. Vasileva, V., Kertikov, T., & Ilieva, A. (2017). Dry mass yield and amount of fixed nitrogen in some forage legume crops after treatment with organic fertilizer Humustim. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*, 23(5), 816–819.
20. Vinogradov, D. V., Naumtseva, K. V., & Lupova, E. I. (2019). Use of biological fertilizers in white mustard crops in the non-Chernozem zone of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 341(1), 012204. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012204>. EDN: <https://elibrary.ru/IMHCNL>

21. Zubkova, T., & Butov, M. (2023). Effectiveness of foliar fertilizing spring oil-seed rape in the forest-steppe conditions of central black earth economic region of Russia. *BIO Web of Conferences*, 71, 01035.
22. Zubkova, T. V., Pityurina, I. S., & Vinogradov, D. V. (2023). The use of developed mushroom compost in crop cultivation technology. *BIO Web of Conferences*, 71, 01023. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237101023>. EDN: <https://elibrary.ru/NBVTAI>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Irina S. Pityurina, Associate Professor of the Department of Logistics of the Penal Enforcement System, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Academy of the Federal Penitentiary Service of Russia

1, Sennaya Str., Ryazan, 390000, Russian Federation

SPIN-code: 7768-4683

piturina@yandex.ru

Alexey A. Meleshin, Deputy General Director of Innovation, Candidate of Agricultural Sciences

JSC Ozery GK Malino

23, Central Estate of the State Farm 'Ozery', Kolomna, Moscow region,

140560, Russian Federation

a-mela@mail.ru

Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of General Agriculture and Agroecology; Head of the Department of Agronomy, Agrochemistry and Plant Protection

Moscow State University Named after M.V. Lomonosov; Ryazan State

Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev

1, building 12, Leninskie Gory, 119234, Russian Federation; 1, Kosty-

chev Str., Ryazan, 390044, Russian Federation

vdv-rz@rambler.ru

SPIN-code: 3264-3460

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2017-1491>

ResearcherID: X-7792-2018

Scopus Author ID: 57203098120

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Питюрин Ирина Сергеевна, доцент кафедры тылового обеспечения уголовно-исполнительной системы, к.с.-х.н., доцент
Академия ФСИН России
ул. Сенная, 1, г. Рязань, 390000, Российская Федерация
piturina@yandex.ru

Мелешин Алексей Алексеевич, заместитель генерального директора по инновациям, к.с.-х.н.
АО Озеро ГК Малино
пос. центральной усадьбы совхоза “Озёры”, 23, г. Коломна, Московская обл., 140560, Российская Федерация
a-mela@mail.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, профессор кафедры общего земледелия и агроэкологии МГУ; заведующий кафедрой агрономии, агрохимии и защиты растений РГАУ, д.б.н., профессор
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева
ул. Ленинские горы, 1, стр. 12, 119234, Российская Федерация; ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Российская Федерация
vdv-rz@rambler.ru

Поступила 25.12.2024

После рецензирования 17.04.2025

Принята 25.04.2025

Received 25.12.2024

Revised 17.04.2025

Accepted 25.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285

EDN: HISOQ

УДК 581.821.2:581.192



Научная статья

ЖЕЛЕЗИСТЫЕ ТРИХОМЫ, ИХ РАЗНООБРАЗИЕ, КОЛИЧЕСТВО И АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *LAMIACEAE*

*А. Алишиха, Н.Б. Прохоренко, Г.В. Демина, В.В. Сальников,
А.В. Немтарев, А.Р. Каюмов, О.А. Тимофеева*

Аннотация

Обоснование. Во флоре Татарстана насчитывается 55 видов травянистых растений из семейства *Lamiaceae*, из которых только пять рекомендованы к применению в официальной медицине, а остальные считаются перспективными для введения их в разряд фармакопейных. Нефармакопейные виды таких родов как *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* в составе растительного покрова региона распространены спорадически, некоторые выступают доминантами и содоминантами растительных сообществ, что делает их доступными для сбора и заготовки. Для них отсутствуют данные о разнообразии и распределении железистых трихом в составе надземных органов растений, а также количественном содержании эфирного масла. В последние годы возрос интерес к биологической активности эфирных масел, что позволяет предположить их потенциальное использование в качестве естественной альтернативы синтетическим антибиотикам в различных областях применения, включая консервирование пищевых продуктов и фармацевтические препараты.

Цель исследования – дать оценку разнообразию, микроморфологии и функционированию железистых трихом у *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia verticillate* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., *Betonica officinalis* L. и *Stachys sylvatica* (*Lamiaceae*) для оценки их ресурсной значимости в условиях естественного произрастания на территории Республики Татарстан.

Материалы и методы. Объектами исследований были выбраны летнезеленые длиннокорневищные многолетние травы, входящие в состав неморальных лесов (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), луговых и лугово-степных

фитоценозов (*Salvia verticillate*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) и экотонных опушки (*Clinopodium vulgare*). Растения для микроскопических и биохимических исследований были собраны на юго-западе Республики Татарстан в период их полного цветения в течение вегетационных периодов 2022-2023 гг. Микроскопические исследования проводились с использованием оптической микроскопии, сканирующей и трансмиссионной микроскопии. Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции в течение 3 часов, а затем изучали биологическую активность выделенных масел путем определения минимальной подавляющей концентрации (МПК) как рекомендовано EUCAST.

Результаты. В эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов было обнаружено 5 типов железистых трихом. Наибольшее их типологическое разнообразие (4 типа) выявлено у *Salvia tesquicola* и *S. verticillate*. Нами впервые в эпидерме различных органов *Clinopodium vulgare* описаны короткие с одноклеточной эллипсоидной головкой (c1a тип) и длинные с 6 клеточной головкой (c3 тип) трихомы, в эпидерме стеблей *Stachys sylvatica* и *Betonica officinalis* – короткие с головкой из трех-четырёх секретирующих клеток (c1b тип), длинные с 1-4 клеточной головкой (c2 тип) и длинные c3 типа трихомы, кроме того, в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков *Lamium maculatum* – пельтатные железки (р). Установлена локализация и плотность железистых трихом различного типа в составе определенных органов растений. Выявлено, что для *Clinopodium vulgare* характерна высокая встречаемость трихом c1a, для *Salvia verticillate* и *S. tesquicola* – трихом c2, *Stachys sylvatica* – трихом c3 типа.

Наибольшая продукция эфирного масла (0,38-0,37 %) из надземных органов растений отмечается у *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность (0.13-0,15 %) – у *Stachys sylvatica* и *Salvia tesquicola*. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях 0,25 и 0,125 % соответственно, а также из *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5 % соответственно.

Заключение. Изучение микроморфологии и ультраструктуры железистых трихом у 5 видов растений из семейства Lamiaceae, произрастающих в естественных фитоценозах на территории Республики Татарстан, позволило расширить существующие данные о трихомах этих видов, что имеет большое значение для систематики и идентификации этих таксонов, а также определения региональных особенностей функционирования экскреторных структур.

Наибольшая продукция эфирного масла, полученного из надземных органов растений методом гидродистилляции, характерна для *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность – для *Stachys sylvatica* и *Salvia*

tesquicola. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях.

Следовательно, растительное сырье *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare* можно рекомендовать для прикладного использования в связи с высокими количественными значениями и качественной характеристикой эфирного масла, продуцированного в железистых трихомах эпидермы надземных органов.

Ключевые слова: антибактериальная активность; головчатые трихомы; железистые трихомы; микроморфология; пельтатные трихомы; цитология; эфирное масло

Для цитирования. Алшиха, А., Прохоренко, Н. Б., Демина, Г. В., Сальников, В. В., Немтарев, А. В., Каюмов, А. Р., & Тимофеева, О. А. (2025). Железистые трихомы, их разнообразие, количество и антибактериальная активность эфирного масла у некоторых представителей семейства *Lamiaceae*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 135-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285>

Original article

GLANDULAR TRICHOMES, THEIR DIVERSITY, QUANTITY AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL IN SOME REPRESENTATIVES OF THE LAMIACEAE FAMILY

*A. Alshikha, N.B. Prokhorenko, G.V. Demina, V.V. Salnikov,
A.V. Nemtarev, A.R. Kayumov, O.A. Timofeeva*

Abstract

Background. The flora of Tatarstan includes 55 species of herbaceous plants from the Lamiaceae family, of which only five are recommended for use in official medicine, while the rest are considered promising for inclusion in the pharmacopeial category. Non-pharmacopeial species of such genera as *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* are distributed sporadically in the vegetation cover of the region, some are dominant and codominant in plant communities, which makes them available for collection and harvesting. There is no data on the diversity and distribution of glandular trichomes in the aerial organs of plants, as well as the quantitative content of essential oil. In recent years, interest in the biological ac-

tivity of essential oils has increased, which suggests their potential use as a natural alternative to synthetic antibiotics in various fields of application, including food preservation and pharmaceuticals.

Purpose – to assess the diversity, micromorphology and functioning of glandular trichomes in *Betonica officinalis* L., *Clinopodium vulgare* L., *Lamium maculatum* L., *Salvia verticillata* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) to evaluate their resource significance under natural growth conditions in the Republic of Tatarstan.

Materials and methods. The objects of the study were summer-green long-rhizome perennial herbs that are part of nemoral forests (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), meadow and meadow-steppe phytocenoses (*Salvia verticillata*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) and forest edge ecotones (*Clinopodium vulgare*). Plants for microscopic and biochemical studies were collected in the southwest of the Republic of Tatarstan during their full flowering stage during the vegetation periods of 2022-2023. Microscopic studies were carried out using optical microscopy, scanning and transmission microscopy. The essential oil was extracted by hydrodistillation for 3 hours, and its biological activity was assessed by determining the minimum inhibitory concentration (MIC) following the EUCAST recommendations.

Results. Five types of glandular trichomes were found in the epidermis of stems, leaves and sepals of the studied species. Their greatest typological diversity (4 types) was found in *Salvia tesquicola* and *S. verticillata*. We have described for the first time, short trichomes with a single-celled ellipsoid head (c1a type) and long trichomes with a 6-cell head (c3 type) in the epidermis of various organs of *Clinopodium vulgare*, in the epidermis of the stems of *Stachys sylvatica* and *Betonica officinalis* we identified short trichomes with a head of three to four secreting cells (c1b type), long trichomes with a 1-4-cell head (c2 type) and long c3 type trichomes, in addition, in epidermis of the aerial organs of *Lamium maculatum* – peltate trichomes (p). The localization and density of glandular trichomes of various types in the composition of certain plant organs has been established. It was revealed that *Clinopodium vulgare* is characterized by a high frequency of c1a trichomes, *Salvia verticillata* and *S. tesquicola* – c2 trichomes, *Stachys sylvatica* – c3 type trichomes.

The highest yield of essential oil (0.38-0.37%) from the aerial organs of plants was observed in *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare*, while the lowest yield (0.13-0.15%) was recorded in *Stachys sylvatica* and *Salvia tesquicola*. The essential oil extracted from *Clinopodium vulgare* has the best antibacterial activity against both gram-positive and gram-negative bacteria, with minimal inhibitory concentrations of 0.25 and 0.125%, respectively. The essential oil extracted from *Stachys sylvatica* also demonstrated antibacterial activity at concentrations of 0.25 and 0.5%, respectively.

Conclusion. The study of the micromorphology and ultrastructure of glandular trichomes in 5 plant species from the Lamiaceae family growing in natural phytocenoses in the Republic of Tatarstan has allowed us to expand the existing data on the trichomes of these species, which is of great importance for the systematics and identification of these taxa, as well as for determining regional features of the functioning of excretory structures.

The highest production of essential oil obtained by hydrodistillation from the aerial organs of plants was characteristic of *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare*, while the lowest productivity was characteristic of *Stachys sylvatica* and *Salvia tesquicola*. Essential oil extracted from *Clinopodium vulgare* has the best antibacterial activity against gram-positive and gram-negative bacteria in minimal inhibitory concentrations. Therefore, the raw materials of *Salvia verticillata* and *Clinopodium vulgare* can be recommended for applied use due to the high quantitative values and qualitative characteristics of the essential oil produced in the glandular trichomes of the epidermis of aerial organs.

Keywords: antibacterial activity; capitate trichomes; glandular trichomes; micromorphology; peltate trichomes; cytology; essential oil

For citation. Alshikha, A., Prokhorenko, N. B., Demina, G. V., Salnikov, V. V., Nemtarev, A. V., Kayumov, A. R., & Timofeeva, O. A. (2025). Glandular trichomes, their diversity, quantity and antibacterial activity of essential oil in some representatives of the Lamiaceae family. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 135-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1285>

Введение

Во флоре Татарстана насчитывается 55 видов травянистых растений из семейства Lamiaceae, из которых только пять рекомендованы к применению в официальной медицине, а остальные считаются перспективными для введения их в разряд фармакопейных [1]. Нефармакопейные виды таких родов как *Betonica*, *Salvia*, *Stachys*, *Clinopodium*, *Lamium* в составе растительного покрова региона распространены спорадически, многие из них выступают доминантами и содоминантами растительных сообществ, что делает их доступными для сбора и заготовки [1; 2].

Фармакологические свойства видов данных родов во многом определяются способностью синтезировать и накапливать эфирные масла и другие биологически активные вещества в железистых трихомах. Изучение экскреторных структур эпидермы с помощью световой и сканирующей электронной микроскопии показало, что их функция определяется не только необходимостью защиты и опыления растений, но также слу-

жат естественными биофабриками по производству ценных фитохимических веществ, что делает их центром биотехнологических применений [26; 37]. Комплексный анализ морфологии трихом различных родов семейства *Lamiaceae* подчеркивает их значение как в таксономии, так и в функциональной биологии, а также позволяет глубже понять их роль в экологии и эволюции растений [5; 18].

В частности, как показывают исследования в роде *Salvia* железистые трихомы делятся на пельтатные и головчатые (короткостебельные и длинностебельные формы), которые, выделяя летучие соединения, участвуют в привлечении опылителей или отпугивают травоядных животных [12; 37]. У видов родов *Clinopodium*, *Stachys* и *Lamium* среди железистых типов трихом различают пельтатные и головчатые формы. Железистые трихомы *Clinopodium* синтезируют и хранят вторичные метаболиты, такие как терпены и флавоноиды [16; 26]. У *Stachys* эти структуры используются в таксономии для различения видов в трибе *Stachydeae* [40].

Эфирные масла, полученные из различных видов *Lamiaceae*, характеризуются значительным антибактериальным действием, что позволяет их потенциальное использование в качестве естественной альтернативы синтетическим антибиотикам в различных областях, включая консервирование пищевых продуктов и изготовление фармацевтических препаратов. Например, экспериментально выявлено, что эфирное масло *Salvia* показывает сильную антибактериальную активность против многих штаммов бактерий, повреждая клеточные мембраны и изменяя их проницаемость, что приводит к высвобождению внутриклеточного содержимого [8]. Спиртовой экстракт из растительного сырья *Stachys sylvatica* L. имеет потенциальное антибактериальное действие против патогенов глаз человека [10]. Эфирные масла *Lamium purpureum* обладают антиоксидантными и противогрибковыми свойствами благодаря таким соединениям как трансанетол и фенхон [16]. Эфирное масло *Clinopodium sericeum*, проявляет антибактериальную активность в отношении грамотрицательных и грамположительных бактериальных штаммов, при этом значения МИС близки к стандартным антибиотикам [32]. Кроме того, доказана инсектицидная и антиоксидантная активность эфирных масел и экстрактов *Stachys sylvatica*, *Clinopodium vulgare* L. и *Lamium maculatum* L. [3; 4; 11; 31; 38].

Видовая специфика железистых трихом перечисленных родов в составе различных органов растений не изучены как в плане их типологического разнообразия и количественного участия, так и с точки зрения влияния условий среды на синтез и накопление эфирного масла.

Цель исследований – дать оценку разнообразию, микроморфологии и функционированию железистых трихом у *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia verticillate* L., *S. tesquicola* Klok. & Pobed., *Betonica officinalis* L. и *Stachys sylvatica* (Lamiaceae) для оценки их ресурсной значимости в условиях естественного произрастания на территории Республики Татарстан.

Задачи исследований: определить видовую специфичность железистых трихом и их плотность в эпидерме надземных органов, выявить ультраструктуру секреторных клеток с помощью электронной микроскопии, а также установить количественное содержание и антибактериальную активность эфирного масла, которое синтезируют эти клетки.

Материалы и методы

Объекты исследований и сбор материала. Объектами исследований были выбраны летнезеленые длиннокорневищные многолетние травы, входящие в состав неморальных лесов (*Stachys sylvatica*, *Lamium maculatum*), луговых и лугово-степных фитоценозов (*Salvia verticillate*, *S. tesquicola*, *Betonica officinalis*) и экотонных опушки (*Clinopodium vulgare*) [1; 2].

Растения для микроскопических и биохимических исследований были собраны на юго-западе Республики Татарстан (РТ) в период их полного цветения в течение вегетационных периодов 2022-2023 гг.

Методика препарирования для оптической микроскопии. Перед изготовлением временных анатомических препаратов сухой материал предварительно размягчали и осветляли в 5% растворе КОН при нагревании. После чего готовили временные препараты участков органов (лист, стебель, чашелистиков) в глицерине. Наблюдения осуществляли на микроскопе Axio lab. A1 (Carl Zeiss, Germany) с видеокамерой AxioCam 208c (Carl Zeiss, Germany) с использованием лампы белого света и флуоресцентной насадки.

Методика препарирования для сканирующей микроскопии. Сегменты листьев и чашелистиков (*Clinopodium vulgare*, *Salvia verticillata* и *Stachys sylvatica*) обезжизняли в спиртах и абсолютном ацетоне, затем подсушивали на воздухе при комнатной температуре. Образцы фиксировали на держатель и помещались в камеру вакуумной установки Quorum Q 150T ES. После вакуумирования наносили проводящий слой методом катодного распыления сплавом Au/Pd в соотношении 80/20. Толщина нанесенного слоя составляет 10 нм. Просмотр образцов проводили на автоэмиссионном высокоразрешающем сканирующем электронном микроскопе Merlin компании Carl Zeiss. Съемка морфологии поверхности проводилась при

ускоряющем напряжении первичных электронов 5 кВ и зондовом токе 300 пА для минимального воздействия на объект исследования.

Методика препарирования для трансмиссионной микроскопии. Сегменты чашелистиков и листьев (*Stachys sylvatica* и *S. tesquicola*) были быстро помещены в 2,5 % глутаровый альдегид на 50 мМ фосфатном буфере (Na-Na), pH 7,3 и разрезаны в этом растворе на более мелкие сегменты размером 1,5 x 3,0 x 3,0 мм. Образцы были окончательно фиксированы в 2,5 глутаровом альдегиде на 100 мМ фосфатном буфере (pH 7,3) в течение 3 часов. Постфиксировали в 1,0 % осмиевой кислоте 1 час. Образцы были обезвожены в спиртах, абсолютном ацетоне и окиси пропилена. Инфильтрировали в смеси эпоксидной смолы и окиси пропилена до повышения концентрации смолы до 100 % в течение трех суток. После обезвоживания и инфильтрации образцы были залиты в Эпон (Epon resin, PELCO®) для изучения ультраструктуры клеток. Ультратонкие срезы были приготовлены с помощью алмазного ножа на ультрамикротоме LKB Ultracut III ultramicrotome (Sweden), монтированы на медные сетки, покрытые формваровой пленкой. Срезы контрастировали в 2,0 % растворе уранил ацетата 20 минут и в растворе цитрата 4 мин. при комнатной температуре. Срезы были просмотрены на электронном микроскопе Hitachi 7800 (Japan).

Морфометрия и статистическая обработка результатов. Микроскопические исследования позволили количественно определить размеры структуры трихома, включая ее высоту и диаметр головки. Оценка трихомов проводилась с использованием программной платформы ZEN 3.1, разработанной компанией Carl Zeiss. Всего в выборке было учтено 30-40 измерений на 3-х препаратах (с использованием 10-13 растений каждого вида). Количественное определение плотности железистых трихомов в исследуемых органах проводилось на площади 1 мм². Последующий статистический анализ и обработка данных были выполнены с использованием Microsoft Excel.

Выделение эфирных масел. Надземные части растений собирали в стадии цветения. Эфирное масло выделяли методом гидродистилляции в течение 3 часов. Масло экстрагировали смесью пентан-диэтилового эфира (1:1). Органические вытяжки объединяли, сушили сульфатом натрия, растворители удаляли в вакууме в роторном испарителе при температуре не более 40°C. Эфирное масло хранили в темноте в герметично закрытых стеклянных флаконах при +4°C.

Биологическая активность. Значение минимальная подавляющая концентрация (МПК) определяли методом серийных разведений в среде Мюль-

лер-Хинтона с использованием 96-луночных стерильных планшетов. В первую лунку вносили испытуемое вещество в концентрации, в 2 раза превышающую максимальную (конц), в объеме 200 мкл и проводили серию двукратных разведений средой до требуемой минимальной концентрации вещества. Затем в каждую лунку вносили приготовленный инокулюм – 100 мкл ночной культуры с плотностью бактериальной суспензии 10^6 КОЕ/мл и инкубировали при 37° С в статических условиях. Минимальную подавляющую концентрацию определяли, как наименьшую концентрацию вещества, при которой полностью отсутствовал бактериальный рост на 24 час инкубации согласно разработанной методики [24].

Результаты и их обсуждение

Анализ микроскопических препаратов позволил выявить в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов 5 типов железистых трихом: пельтатные (р) и головчатые (с).

р – пельтатные трихомы (железки), состоящие из базальной клетки, встроенной в эпидермис, короткой ножки и большой круглой многоклеточной головки, состоящей из восьми или более секреторных клеток (обычно включает 12 клеток), при этом четыре центральных клетки окружены восемью периферическими клетками (рис. 1 А-Г, Е); иногда секреторная головка состоит из 4-8 клеток, как у *Lamium maculatum* (рис. 1 Д).

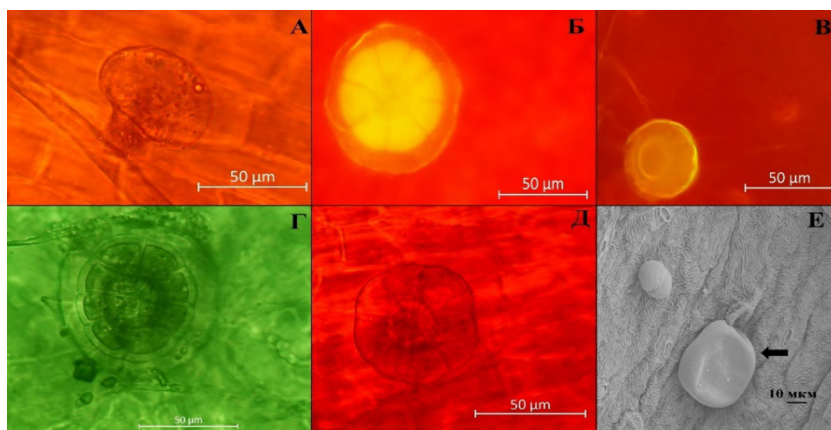


Рис. 1. Общий вид пельтатных трихом (р) с использованием оптического (А-Д) и сканирующего (Е) микроскопа в эпидерме: *Betonica officinalis* (А), *Salvia tesquicola* (Б), *Clinopodium vulgare* (В), *Salvia verticillata* (Г), *Lamium maculatum* (Д), *Salvia verticillata* (Е)

c1a – короткие головчатые трихомы, состоящие из базальной эпидермальной клетки с короткой кутинизированной одноклеточной ножкой и одноклеточной эллипсоидной головкой (рис. 2).

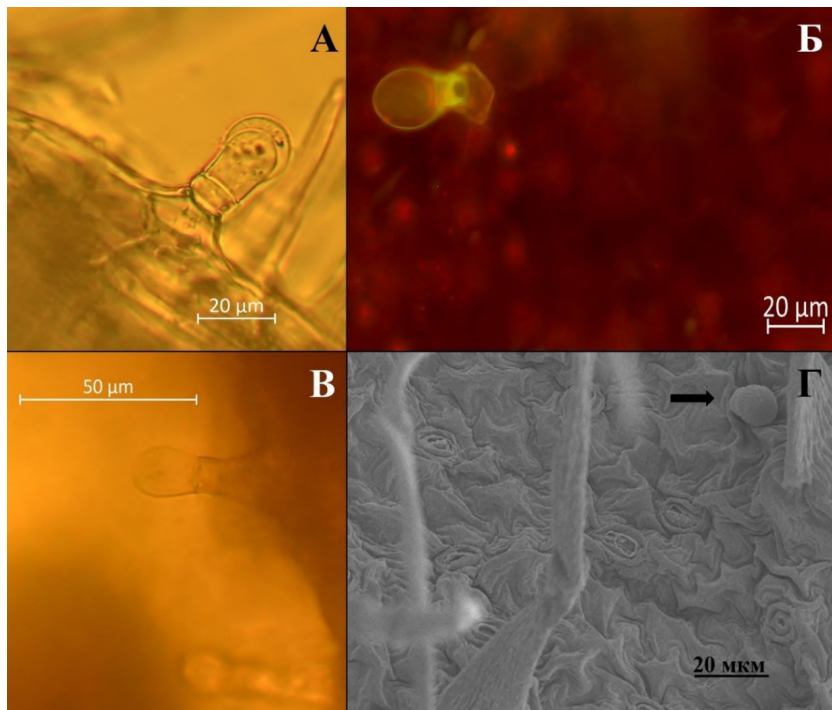


Рис. 2. Общий вид головчатых железистых трихом (c1a тип) с использованием оптического (А-В) и сканирующего (Г) микроскопа в эпидерме: *Salvia tesquicola* (А), *Clinopodium vulgare* (Б), *Salvia verticillata* (В), *Clinopodium vulgare* (Г)

c1b – короткие головчатые трихомы, состоящие из одной базальной эпидермальной клетки, короткой клетки стебля (шейки) и головки из трех-четырех секретирующих клеток (рис. 3);

c2 – длинные головчатые трихомы, состоящие из базальной эпидермальной клетки и стебля из 1-3 клеток, кутинизированной клетки-шейки и головки из 1-4 секретирующих клеток (рис. 4).

c3 – длинные головчатые трихомы: состоят из длинного стебля из двух или более клеток, кутинизированной клетки-шейки и головки, образованной шестью секретирующими клетками (рис. 5).

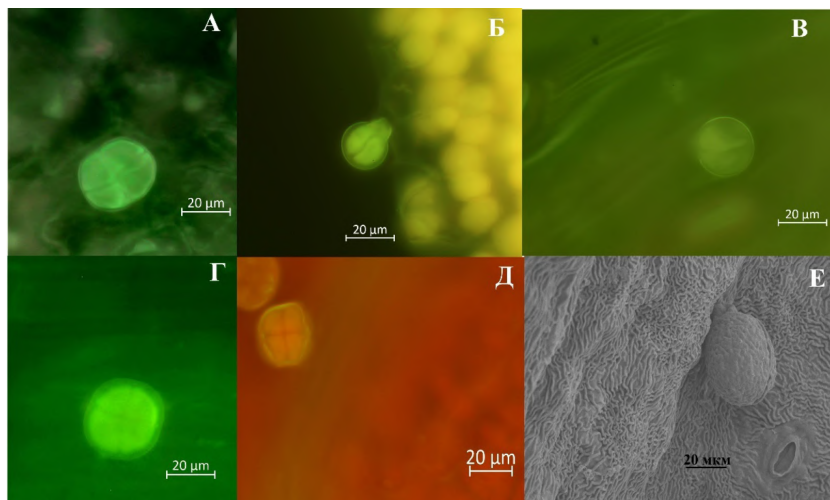


Рис. 3. Общий вид головчатых железистых трихом (с1b тип) с использованием оптического (А-Д) и сканирующего (Е) микроскопа в эпидерме: *Betonica officinalis* (А), *Salvia tesquicola* (Б), *Salvia verticillata* (В), *Lamium maculatum* (Г), *Stachys sylvatica* (Д), *Salvia verticillata* (Е)

По нашим данным наибольшее типологическое разнообразие железистых трихом (4 типа), включая как сидячие, так и головчатые, выявлено для *Salvia tesquicola* и *S. verticillata*, низкое (2 типа) – у *Betonica officinalis* и *Lamium maculatum* (табл. 1). Железистые трихомы преимущественно развиваются на абаксиальной стороне листа, а также стебле и чашечке, в то время как на адаксиальной стороне листа их участие и разнообразие незначительное. Визуальное наблюдение и количественный подсчет позволил нам выделить 4 градации плотности железистых трихом: редко (≤ 6 шт./мм²), спорадически (7-13 шт./мм²), обильно (14-30 шт./мм²) и очень обильно (≥ 31 шт./мм²).

Пельтатные трихомы (р) встречаются спорадически (7-11.2 шт./мм²) на абаксиальной стороне листа и чашелистиках, а также сравнительно редко (2.4-4.4 шт./мм²) на стебле у всех изученных видов, только у *Stachys sylvatica* отсутствуют (табл. 1).

Наибольшее их количественное участие обнаружено в эпидерме абаксиальной стороны листа *Salvia verticillata* (11.2 шт./1 мм²). Ранее Z. Atalay [6] отмечал отсутствие пельтатных трихом в стебле и листьях *Lamium maculatum*, однако, по нашим данным они содержатся в эпидерме всех исследованных органов *L. maculatum*, собранных в Республике Татарстан.

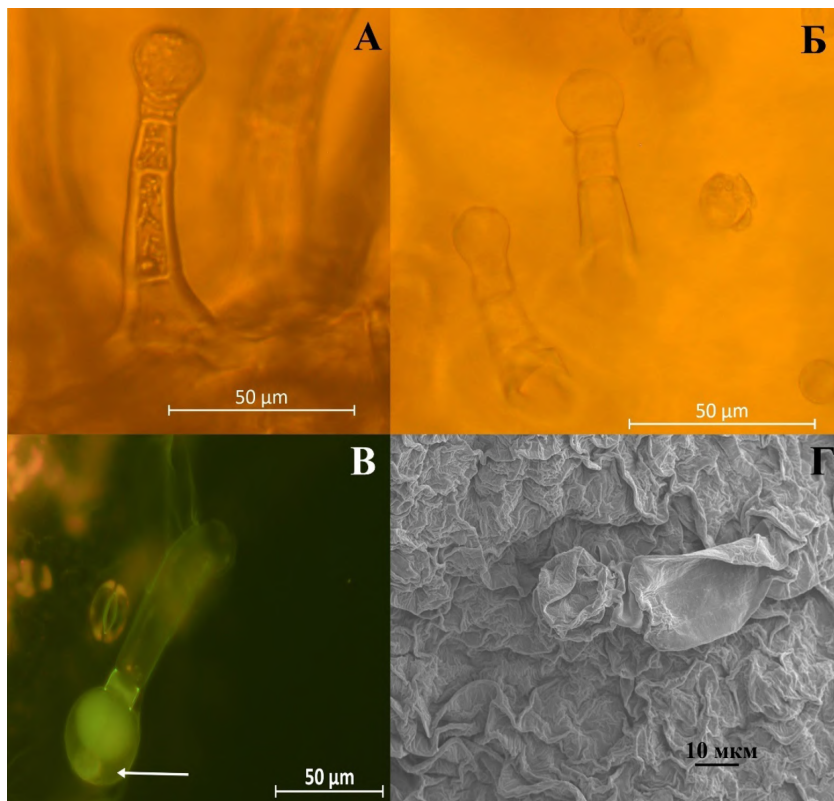


Рис. 4. Общий вид головчатых железистых трихом (с2 типа) с использованием оптического (А-В) и сканирующего (Г) микроскопа в эпидерме *Salvia tesquicola* (А), *Salvia verticillata* (Б), *Stachys sylvatica* (Б), *Stachys sylvatica* (Г)

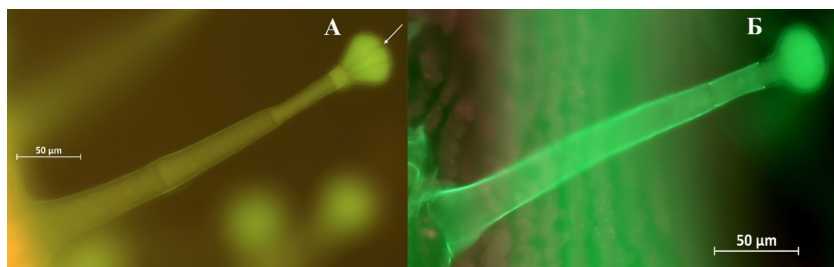


Рис. 5. Общий вид головчатых железистых трихом (с3 тип) с использованием оптического микроскопа в эпидерме *Stachys sylvatica* (А), *Clinopodium vulgare* (Б)

Таблица. 1.

Плотность железистых трихом (шт/ мм²) в эпидерме надземных органах представителей семейства Lamiaceae

		leaf		stem	calyx
		adaxial side	abaxial side		
<i>Betonica officinalis</i>	p	1± 0.1	7.4± 0.4	2.7± 0.2	7.3± 0.3
	c1a	—	—	—	—
	c1b	7.5± 0.4	11.4± 0.3	7.3± 0.3	8.9± 0.3
	c2	—	—	—	—
	c3	—	—	—	—
<i>Clinopodium vulgare</i>	p	—	6.2 ± 0.4	2.6 ± 0.2	4.3 ± 0.3
	c1a	—	21.6 ± 0.8	42.3 ± 0.9	8.1 ± 0.3
	c1b	—	—	—	—
	c2	—	—	—	—
	c3	—	—	—	—
<i>Lamium maculatum</i>	p	—	7± 0.3	4.4± 0.2	8.7± 0.3
	c1a	—	—	—	—
	c1b	15.3± 0.5	34.4± 0.5	18.4± 0.7	22± 0.5
	c2	—	—	—	—
	c3	—	—	—	—
<i>Salvia tesquicola</i>	p	—	8.7± 0.4	—	10.2 ± 0.4
	c1a	—	2.1± 0.2	1.6± 0.1	3.8± 0.2
	c1b	15.2± 0.4	18.5± 1.2	15.1± 1.3	28.1± 1
	c2	—	59.8± 5	93.4± 4.8	12.8± 0.6
	c3	—	—	—	—
<i>Salvia verticillata</i>	p	—	11.2± 0.5	2.4± 0.2	10.7± 0.3
	c1a	—	3.7± 0.2	1.8± 0.1	4.4± 0.2
	c1b	12.5± 0.4	19.8± 0.7	29.3± 0.7	31.2± 0.6
	c2	—	—	46.8± 1.1	4.8± 0.4
	c3	—	—	—	—
<i>Stachys sylvatica</i>	p	—	—	—	—
	c1a	—	—	—	—
	c1b	4.5 ± 0.4	10.4 ± 0.5	10.5 ± 0.4	40.3 ± 0.8
	c2	—	18.6 ± 0.5	10.8 ± 0.4	14.3 ± 0.6
	c3	—	—	—	11.9 ± 0.4

Головчатые трихомы c1a типа формируются на абаксиальной стороне листа, стебле и чашечки у трех из исследованных видов, при этом у *Salvia*

verticillata и *S. tesquicola* они встречаются редко (1.6-4.4 шт/мм²) в составе исследованных органов, а у *Clinopodium vulgare* на стебле и абаксиальной стороне листа – очень обильно и обильно (42.3 и 21.6 шт/мм² соответственно), в эпидерме чашечки – спорадически (8.1 шт/мм²). У остальные видов данный тип трихом не обнаружен.

Головчатые трихомы c1b типа встречаются преимущественно спорадически, обильно или очень обильно в эпидерме различных органов всех видов, за исключением *Clinopodium vulgare*, у которого они отсутствуют. Это единственный тип железистых трихом, который встречается не только на абаксиальной, но и на адаксиальной стороне листа. Наиболее высокая их плотность (31.2- 40.3 шт/мм²) характерна для чашелистиков *Stachys sylvatica* и *Salvia verticillate*, а также абаксиальной стороны листа *Lamium maculatum*.

Головчатые трихомы c2 типа характерны только для *Salvia tesquicola*, *S. verticillata* и *Stachys sylvatica*. Очень обильно (46.8-93.4 шт/мм²) c2 трихом развиты на стебле обоих видов *Salvia* и абаксиальной стороне листа *S. tesquicola*, спорадически и редко (5-18.6 шт/мм²) – в эпидерме всех органов *Stachys sylvatica* и чашечке разных видов *Salvia*.

Наиболее слабо у исследованных видов представлены головчатые трихомы c3 типа, которые развиваются спорадически только на чашелистиках *Stachys sylvatica* и *Clinopodium vulgare*, при этом их плотность не превышает 11.9 шт/мм².

Изучение особенностей ультраструктуры железистых трихом в составе региональных популяций *Salvia tesquicola* и *Stachys sylvatica* показало, что клетки головки трихом c1b и c2 типов имеют вытянутую форму, а клетки шейки значительно короче (рис. 6, 7). Поверхностный аппарат клеток головки состоит из клеточной стенки слоистой структуры с кутикулой на поверхности. В апикальной части клетки происходит отслоение кутикулы с образованием субкутикулярной полости, где накапливается секрет. На месте отслоения заметна густая фибриллярная сеть, образованная пектинами (рис. 7 Б).

Анализ общего плана строения показал, что клетки головки и шейки ядерные и содержат одну большую или несколько мелких вакуолей, при этом ядро занимает сравнительно большой объем цитоплазмы (рис. 6 А, 6 Б, 7 Б). В клетках головки железистых трихом c1b и c2 типов клеточный сок вакуолей имеет хлопьевидное содержимое, цитоплазма более густая и богатая органеллами, среди которых развита агранулярная эндоплазматическая сеть, митохондрии и пластиды (рис. 7 А, 7 Б). Гладкий эндоплазматический ретикулум окружает вакуоли, пластиды и митохондрии. Цитоплазма клеток шейки содержит сравнительно меньше органелл (рис.

7 Б). При этом, в цитоплазме и клетках головки и шейки обнаружены липидные капли, что указывает на активную продукцию терпенов (рис. 6, 7).

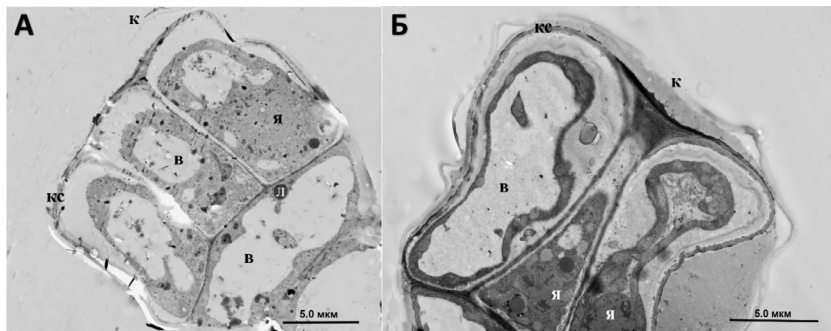


Рис. 6. (А) Общий план ультраструктуры железистой трихомы c1b типа на чашелистиках *Stachys sylvatica*; (Б) Общий план ультраструктуры железистых клеток трихом c1b типа на абаксиальной стороне листа *Stachys sylvatica* (Б).

Примечание: К – кутикула, КС – клеточная стенка, В – вакуоль, Я – ядро, Л – липидная капля

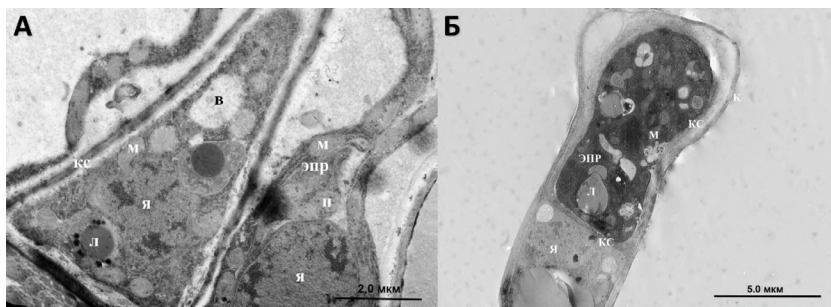


Рис. 7. (А) Цитоплазма железистых клеток трихом c1b типа на абаксиальной стороне листа *Stachys sylvatica*; (Б) Цитоплазма железистых клеток у трихом c2 типа на абаксиальной стороне листа *Salvia tesquicola*. Примечание: К – кутикула,

КС – клеточная стенка, В – вакуоль, Я – ядро, ЭПР – эндоплазматический ретикулум, П – пластида, М – митохондрии, Л – липидная капля

Ранее ультраструктурные наблюдения цитоплазмы железистых клеток головчатых и пельтатных трихом *Salvia uliginosa* и *S. greggii* показали обилие пластид и хорошо развитый перипластидный гладкий эндоплазматический ретикулум, которые отвечают за синтез и транспорт терпеновых веществ и полифенолов [14; 15]. По данным этих исследований внутри пластид синтезируются предшественники монотерпенов, в част-

ности лейкопласты участвуют в синтезе изопреноидов эфирных масел и их накоплении, в дальнейшем эфирные масла выделяются из клеток в субкутикулярное пространство, при этом секрет может выводиться через поры в кутикуле или путем разрыва кутикулы.

Таким образом, проведенные нами микроскопические исследования головчатых трихом *Salvia tesquicola* и *Stachys sylvatica* подтвердили наличие ряда ультраструктурных свойств, общих для метаболитически активных клеток, участвующих в секреции эфирных масел, а именно, относительно большое ядро, наличие пластид, которые тесно связаны с гладким эндоплазматическим ретикуломом, а также липидные капли, которые располагаются в пластидах или в цитоплазме как головчатых клеток, так и клеток шейки.

Проведенный процесс гидродистилляции растительного сырья исследованных видов позволил определить, что в условиях Республики Татарстан наибольшее количество эфирного масла синтезируется и накапливается в надземных органах *Salvia verticillata* (0.38%) и *Clinopodium vulgare* (0.37%). У *Betonica officinalis* и *Stachys sylvatica* выход эфирного масла сравнительно ниже (0.3 % и 0.27 % соответственно), а у *Lamium maculatum* и *Salvia tesquicola* наиболее низкое накопление эфирного масла в условиях Республики Татарстан (0.13 % и 0.15 % соответственно). По данным других исследователей у *Salvia tesquicola* на территории России и странах ближнего зарубежья его содержание находится в пределах 0.11-0.20 % [4; 33], что соответствует нашим данным.

Анализ литературных данных показал, что в засушливых условиях субтропиков Юго-Западной Азии у растений *Salvia verticillata*, *Stachys sylvatica* и *Clinopodium vulgare* выход эфирного масла составляет 0.2-0.3 % [19; 22; 28; 34], что ниже на 21- 26 % по сравнению с популяциями Республики Татарстан. На юге центральной Европы со сравнительно более влажным климатом, в растительном сырье *Salvia verticillata* его значения колеблются от 0.4 % до 0.42 % [22], что сопоставимо с нашими данными, однако, у *Betonica officinalis* – 0.5 % [7], выше на 67 % по сравнению с полученными нами результатами. При акклиматизации и выращивании *Lamium maculatum* на экспериментальных площадках выход эфирного масла у *Lamium maculatum* может увеличиваться до 0.35 % [11].

Увеличение устойчивости микроорганизмов к антибиотикам вынуждает к расширению использования эфирных масел растений в качестве альтернативного средства в борьбе с резистентными патогенами, механизмы действия которых включают разрушение клеточных мембран бактерий и

ингибирование метаболических процессов, что отличается от действия традиционных антибиотиков [20; 35].

Экспериментальная оценка свойств эфирного масла у исследованных видов показала, что наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных (*Staphylococcus aureus*) и грамотрицательных (*Pseudomonas aeruginosa*) бактерий в минимальных подавляющих концентрациях (0,25 и 0,125 %) обладает эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, и эфирное масло *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5 % (табл. 2).

Таблица. 2.

Антимикробная активность представителей семейства Lamiaceae

Виды	Рабочие концентрации р-ров, %	
	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC
<i>Betonica officinalis</i>	0.25 %	1 %
<i>Clinopodium vulgare</i>	0.25 %	0.125 %
<i>Lamium maculatum</i>	0.125 %	1 %
<i>Salvia tesquicola</i>	0.25 %	> 1 %
<i>Salvia verticillata</i>	0.25 %	> 1 %
<i>Stachys sylvatica</i>	0.25 %	0.5 %

Кроме того, эфирное масло других исследованных видов активно против грамположительных бактерий в концентрации растворов 0.125 и 1 %. Ранее в исследованиях показано антибактериальное действие эфирного масла *Clinopodium vulgare* на грамположительные бактерии (*S. aureus*) при минимальных подавляющих концентрациях 0,625 % [36]. Кроме того, показано действие эфирного масла *Stachys sylvatica* против грамположительных и грамотрицательных бактерий и особенно против грамположительных штаммов (МПК 1%), а также антибактериальная и противогрибковая активность эфирного масла *Salvia verticillata* (МПК 0.30 % у *S. aureus*) [17; 25; 27; 29; 42]. Следовательно, антимикробная активность эфирного масла, выделенного из растительного сырья *Clinopodium vulgare*, *Stachys sylvatica* и *Salvia verticillata* выше в условиях Республики Татарстан.

Заключение

Изучение микроморфологии и ультраструктуры железистых трихом у *Betonica officinalis*, *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Salvia tesquicola*, *S. verticillata* и *Stachys sylvatica*, произрастающих в естественных фитоце-

нозах на территории Республики Татарстан, позволило расширить существующие данные о трихомах этих видов, что имеет большое значение для систематики и идентификации этих таксонов, а также определить региональные особенности функционирования экскреторных структур.

В эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков исследованных видов было обнаружено 5 типов железистых трихом. Наибольшее их типологическое разнообразие (4 типа) выявлено у *Salvia tesquicola* и *S. verticillate*. Нами впервые описаны короткие и длинные головчатые трихомы c1a, c3 типов, приведены данные об их плотности в эпидерме различных органов *Clinopodium vulgare*, трихомы c1b, c2, c3 типов в эпидерме стеблей *Stachys sylvatica* и *Betonica officinalis*, а также отмечено наличие пельтатных железок (p) в эпидерме стеблей, листьев и чашелистиков *L. maculatum*.

Установлено, что пельтатные трихомы, которые на абаксиальной стороне листа и чашелистиках развиваются спорадически (7-10.2 шт/ мм²), а на стебле редко (2.4-4.4 шт/ мм²) или они отсутствуют, отмечены у всех изученных видов кроме *Stachys sylvatica*. Короткие трихомы с головкой из трех-четырех секреторирующих клеток (c1b), развивающиеся в эпидерме на обеих сторонах листа и других органов, встречаются спорадически или обильно (6-30 шт/ мм²), на чашелистиках обильно или очень обильно (22-40.3 шт/ мм²) у всех видов кроме *Clinopodium vulgare*.

Видоспецифичными с высокой степенью встречаемости для *Clinopodium vulgare* выступают короткие с одноклеточной эллипсоидной головкой (c1a) трихомы, для *Salvia verticillate* и *S. tesquicola* – длинные с 1-4 клеточной головкой (c2), *Stachys sylvatica* – с 6 клеточной головкой (c3) типов.

Изучение ультраструктуры головчатых трихом c1b у *Stachys sylvatica* и c2 у *Salvia tesquicola* позволило выявить, что клетки головки имеют кутикулу, которая в апикальной части образует субкутикулярную полость, где накапливается секрет. В клетках головки относительно большое ядро, крупная вакуоль, густая цитоплазма с большим содержанием митохондрий, пластид, гладкого эндоплазматического ретикулума, а также липидных капель.

Наибольшая продукция эфирного масла (0,38-0,37 %), полученного методом гидродистилляции из надземных органов растений, характерна для *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare*, низкая его продуктивность (0,13-0,15 %) – для *Stachys sylvatica* и *Salvia tesquicola*. Эфирное масло, выделенное из *Clinopodium vulgare*, обладает наилучшей антибактериальной активностью в отношении грамположительных и грамотрицательных бактерий в минимальных подавляющих концентрациях 0,25 и 0,125 % соответственно, а также *Stachys sylvatica* в концентрациях 0,25 и 0,5 % соответственно.

Следовательно, растительное сырье *Salvia verticillata* и *Clinopodium vulgare* можно рекомендовать для прикладного использования в связи с высокими количественными значениями и качественной характеристикой эфирного масла, продуцированного в железистых трихомах эпидермы надземных органов.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета (ПРИОРИТЕТ-2030).

Список литературы

1. Бакин, О. В., Рогова, Т. В., & Ситников, А. П. (2000). *Сосудистые растения Татарстана*. Казань: Издательство Казанского университета. 496 с.
2. Бобров, Е. Г., Ворошилов, В. Н., Гладкова, В. Н., Дервиз-Соколова, Т. Г., Иконников, С. С., Линчевский, И. А., Меницкий, Ю. Л., Письякуова, В. В., Победимова, Е. Г., Пояркова, А. И., Фёдоров, А. А., & Цвелев, Н. Н. (1978). *Флора европейской части СССР* (Т. 3). Ленинград: Наука. 259 с.
3. Буданцев, А. Л. (2011). *Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность* (Т. 4: Семейства Caprifoliaceae–Lobeliaceae). Санкт-Петербург; Москва: Товарищество научных изданий КМК. 630 с. EDN: <https://elibrary.ru/SHBOTZ>
4. Хайдукова, Е. В., Надеждин, Д. В., Коссиор, Л. А., & Теслов, Л. С. (2003). Антимикробная активность сухих экстрактов из надземной части *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed. и листьев *S. officinalis* L. *Растительные ресурсы*, 39(3), 134–136. EDN: <https://elibrary.ru/OJUGBJ>
5. Agustin, Y. T., Ermayanti, E., & Susanti, R. (2022). Leaf trichomes identification in Lamiaceae family plants and contribution to high school biology learning. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 7(1), 20–35. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v7i1.1310>. EDN: <https://elibrary.ru/DCZOHB>
6. Atalay, Z., Celep, F., Bara, F., & Doğan, M. (2016). Systematic significance of anatomy and trichome morphology in *Lamium* (Lamioideae; Lamiaceae). *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 225, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.10.006>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAXZN>
7. Chalchat, J. C., Petrovic, S. D., Maksimovic, Z. A., & Gorunovic, M. S. (2001). Essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae) from Montenegro.

- Journal of Essential Oil Research*, 13(4), 286–287. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699695>
8. Cui, H., Zhang, X., Zhou, H., Zhao, C., & Lin, L. (2015). Antimicrobial activity and mechanisms of *Salvia sclarea* essential oil. *Botanical Studies*, 56(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S40529-015-0096-4>. EDN: <https://elibrary.ru/OACK-MX>
 9. Dimitrova-Dyulgerova, I., Merdzhanov, P., Todorov, K., Seymenska, D., Stoyanov, P., Mladenov, R., & Stoyanova, A. (2015). Essential oils composition of *Betonica officinalis* L. and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) from Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 68(8), 991–998.
 10. Dülge, G., & Dülger, B. (2022). Antibacterial activity of *Stachys sylvatica* against some human eye pathogens. *Natural Engineering Sciences*, 7(2), 131–135. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1159224>. EDN: <https://elibrary.ru/JLLQJS>
 11. El-Sayed, Z. I. A. (2008). Chemical composition, antimicrobial and insecticidal activities of the essential oil of *Lamium maculatum* L. grown in Egypt. *Bioscience, Biotechnology Research Asia*, 5(1), 65–72.
 12. Eyvazadeh Khosroshahi, E., & Salmaki, Y. (2019). Evolution of trichome types and its systematic significance in the genus *Phlomoides* (Lamioideae-Lamiaceae). *Nordic Journal of Botany*, 37(5). <https://doi.org/10.1111/njb.02132>. EDN: <https://elibrary.ru/MBCUBG>
 13. Forouzin, F., Jamei, R., & Heidari, R. (2015). Compositional analysis and antioxidant activity of volatile components of two *Salvia* spp. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(11), 2009–2013. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v14i11.9>
 14. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Corrà, S., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). Ultrastructural insight into terpene-producing trichomes and essential oil profile in *Salvia greggii* A. Gray. *Flora*, 236, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.10.004>
 15. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Tani, C., Bottoni, M., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). *Salvia uliginosa* Benth.: Glandular trichomes as bio-factories of volatiles and essential oil. *Flora*, 233, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.002>
 16. Grujić, S. M., Savković, Ž. D., Ristić, M. S., Džamić, A. M., Grbić, M. V. L., Vukojević, J. B., & Marin, P. D. (2020). Glandular trichomes, essential oil composition, anti-*Aspergillus* and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2), 253–263. <https://doi.org/10.2298/ABS200117019G>. EDN: <https://elibrary.ru/QWKCIA>

17. Grujic-Jovanovic, S., & Skaltsa, H. D., Marin, P., & Sokovic, M. (2004). Composition and antibacterial activity of the essential oil of six *Stachys* species from Serbia. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(2), 139–144. <https://doi.org/10.1002/ffj.1275>
18. Gul, S., Ahmad, M., Zafar, M., Bahadur, S., Sultana, S., Ashfaq, S., Ullah, F., Kilic, O., Hassan, F., & Siddiq, Z. (2019). Foliar epidermal anatomy of Lamiaceae with special emphasis on their trichomes diversity using scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 82(3), 206–223. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23157>
19. Hayta, S., Dogan, G., Yuce, E., & Bagci, E. (2015). Composition of the essential oil of two *Salvia* taxa (*Salvia sclarea* and *Salvia verticillata* subsp. *verticillata*) from Turkey. *Natural Science Discovery*, 1(3), 62–67. <https://doi.org/10.20863/nsd.23928>
20. Hou, T., Sana, S. S., Li, H., Xing, Y., Nanda, A., Netala, V. R., & Zhang, Z. (2022). Essential oils and their antibacterial, antifungal and antioxidant activity applications: A review. *Food Bioscience*, 47, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>. EDN: <https://elibrary.ru/IAYATM>
21. Kılıç, Ö., Kutlu, M. A., & Özdemir, F. A. (2017). Essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman from Bingöl (Turkey). *International Journal of Secondary Metabolism*, 4(3), 11–15. <https://doi.org/10.21448/ijsm.356245>
22. Krstic, L., Malencic, D., & Anackov, G. (2006). Structural investigations of trichomes and essential oil composition of *Salvia verticillata*. *Botanica Helvetica*, 116, 159–168. <https://doi.org/10.1007/s00035-006-0767-6>. EDN: <https://elibrary.ru/YQVTNQ>
23. Lazarević, J. S., Đorđević, A. S., Kitić, D. V., Zlatković, B. K., & Stojanović, G. S. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae). *Chemical Biodiversity*, 10(7), 1335–1349. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200332>
24. Leclercq, R., Cantón, R., Brown, D. F., Giske, C. G., Heisig, P., MacGowan, A. P., Mouton, J. W., Nordmann, P., Rodloff, A. C., Rossolini, G. M., Soussy, C.-J., Steinbakk, M., Winstanley, T. G., & Kahlmeter, G. (2013). EUCAST expert rules in antimicrobial susceptibility testing. *Clinical Microbiology and Infection*, 19(2), 141–160. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03703.x>
25. Mahdavi, M., Jouri, M. H., Mahzooni-Kachapi, S., & Halimi'Jelodar, S. (2015). Study of chemical composition and antibacterial effects of essential oils of *Stachys lavandulifolia* Vahl., *Salvia verticillata* L., and *Tanacetum polyceph-*

- alum Schultz-Bip. on some microbial lineages. *International Journal of Pharmacy and Allied Sciences*, 4(3), 197–206.
26. Mahmoud, S. S., Maddock, S., & Adal, A. M. (2021). Isoprenoid metabolism and engineering in glandular trichomes of Lamiaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>. EDN: <https://elibrary.ru/GUBHMV>
27. Matkowski, A., Zielińska, S., Oszmiański, J., & Lamer-Zarawska, E. (2008). Antioxidant activity of extracts from leaves and roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge, *S. przewalskii* Maxim., and *S. verticillata* L. *Bioresource Technology*, 99(16), 7892–7896. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.013>
28. Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., & Akbarzadeh, M. (2009). The essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 21(1), 31–32. <https://doi.org/10.1080/10412905.2009.9700100>
29. Mukhamedsadykova, A. Z., Kasela, M., Kozhanova, K. K., Sakipova, Z. B., Kukuła-Koch, W., Józefczyk, A., Świątek, Ł., Rajtar, B., Iwan, M., Kołodziej, P., Ludwiczuk, A., Kadyrbayeva, G. M., Kuntubek, G. N., Mamatova, A. S., Bogucka-Kocka, A., & Malm, A. (2024). Anthelmintic and antimicrobial effects of hedge woundwort (*Stachys sylvatica* L.) growing in Southern Kazakhstan. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1386509. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1386509>. EDN: <https://elibrary.ru/BXZIDY>
30. Nasermoadeli, S., Rowshan, V., Abotalebi, A., Nasermoadeli, L., & Charkhchian, M. M. (2013). Comparison of *Salvia verticillata* essential oil components in wild and cultivated population. *Annals of Biological Research*, 4(5), 252–255.
31. Opalchenova, G., & Obreshkova, D. (1999). Antibacterial action of extracts of *Clinopodium vulgare* L. curative plant. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 25(3), 323–328. <https://doi.org/10.1081/DDC-100102177>
32. Pedro, B. C., Benites, J., Ríos, D., Guerrero-Castilla, A., Enríquez, C., Zavala, Z., Ybañez-Julca, R. O., Quispe-Díaz, I., & Jara-Aguilar, R. (2021). Chemical composition and assessment of antimicrobial, antioxidant and antiproliferative activities of essential oil from *Clinopodium sericeum*, a Peruvian medicinal plant. *Records of Natural Products*, 15(3), 175–186. <https://doi.org/10.25135/RNP.213.20.10.1845>. EDN: <https://elibrary.ru/SCMHRQ>
33. Petrova, V. P., Burachins'ka, N. S., & Pobirchenko, G. A. (1974). Content of essential oil and polyphenols in some sage species introduced into the Ukrainian forest steppe. *Ukrains'kii Botanichnii Zhurnal*, 31(1), 13–17.
34. Rezazadeh, S., Pirali-Hamedani, M., Hadjiakhondi, A., Ajani, Y., Yari-gar-Ravesh, M., & Shafiee, A. (2009). Chemical composition of the essential

- oils of *Stachys atherocalyx* and *S. sylvatica* from Iran. *Chemistry of Natural Compounds*, 45, 742–744. <https://doi.org/10.1007/s10600-009-9417-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YAWWKL>
35. Schelz, Z., Hohmann, J., & Molnár, J. (2010). Recent advances in research of antimicrobial effects of essential oils and plant derived compounds on bacteria. In D. Chattopadhyay (Ed.), *Ethnomedicine: A Source of Complementary Therapeutics* (pp. 179–201). Kerala: Research Signpost. ISBN: 978-81-308-0390-6
36. Stefanovic, O., Stankovic, M. S., & Comic, L. (2011). In vitro antibacterial efficacy of *Clinopodium vulgare* L. extracts and their synergistic interaction with antibiotics. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(17), 4074–4079. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000735>
37. Tang, H. M., Jiang, Q., Liu, H. Y., Zhang, F., Liu, Q., Pu, G. B., Li, J., Wang, L. N., & Zhang, Y. Q. (2022). Glandular trichomes of medicinal plants: types, separation and purification, biological activities. *Biologia Plantarum*, 66, 219–227. <https://doi.org/10.32615/bp.2022.027>. EDN: <https://elibrary.ru/CPLPQU>
38. Tepe, B., Sihoglu-Tepe, A., Daferera, D., Polissiou, M., & Sokmen, A. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Clinopodium vulgare* L. *Food Chemistry*, 103(3), 766–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.019>
39. Tirillini, B., Pellegrino, R., & Bini, L. M. (2004). Essential oil composition of *Stachys sylvatica* L. from Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4), 330–332. <https://doi.org/10.1002/ffj.1308>
40. Totmaj, L. H., & Salmaki, Y. (2022). Pollen and trichome morphology of tribe Stachydeae (Lamiaceae) and its phylogenetic significance. *Turkish Journal of Botany*, 46(3), 205–229. <https://doi.org/10.55730/1300-008x.2683>. EDN: <https://elibrary.ru/TNZCXI>
41. Vundac, V. B., Pfeifhofer, H. W., Brantner, A. H., Males, Z., & Plazibat, M. (2006). Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.04.010>. EDN: <https://elibrary.ru/XTBLLW>
42. Yousefzadi, M., Sonboli, A., Karimi, F., Ebrahimi, S. N., Asghari, B., & Zinali, A. (2007). Antimicrobial activity of some *Salvia* species essential oils from Iran. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(7–8), 514–518. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-7-809>

References

1. Bakin, O. V., Rogova, T. V., & Sitnikov, A. P. (2000). *Vascular plants of Tatarstan*. Kazan: Kazan University Press. 496 p.

2. Bobrov, E. G., Voroshilov, V. N., Gladkova, V. N., Derviz-Sokolova, T. G., Ikonnikov, S. S., Linchevsky, I. A., Menitsky, Yu. L., Pisyaukova, V. V., Pobedimova, E. G., Poyarkova, A. I., Fedorov, A. A., & Tsvelev, N. N. (1978). *Flora of the European part of the USSR* (Vol. 3). Leningrad: Nauka. 259 p.
3. Budantsev, A. L. (2011). *Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity* (Vol. 4: Families Caprifoliaceae–Lobeliaceae). St. Petersburg; Moscow: Partnership of Scientific Publications KMK. 630 p. EDN: <https://elibrary.ru/SHBOTZ>
4. Khaidukova, E. V., Nadezhdin, D. V., Kossior, L. A., & Teslov, L. S. (2003). Antimicrobial activity of dry extracts from the aerial part of *Salvia tesquicola* Klok. et Pobed. and leaves of *S. officinalis* L. *Plant Resources*, 39(3), 134–136. EDN: <https://elibrary.ru/OJUGBJ>
5. Agustin, Y. T., Ermayanti, E., & Susanti, R. (2022). Leaf trichomes identification in Lamiaceae family plants and contribution to high school biology learning. *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 7(1), 20–35. <https://doi.org/10.31932/jpbio.v7i1.1310>. EDN: <https://elibrary.ru/DCZOHB>
6. Atalay, Z., Celep, F., Bara, F., & Doğan, M. (2016). Systematic significance of anatomy and trichome morphology in *Lamium* (Lamioideae; Lamiaceae). *Flora — Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 225, 60–75. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2016.10.006>. EDN: <https://elibrary.ru/XUAXZN>
7. Chalchat, J. C., Petrovic, S. D., Maksimovic, Z. A., & Gorunovic, M. S. (2001). Essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae) from Montenegro. *Journal of Essential Oil Research*, 13(4), 286–287. <https://doi.org/10.1080/10412905.2001.9699695>
8. Cui, H., Zhang, X., Zhou, H., Zhao, C., & Lin, L. (2015). Antimicrobial activity and mechanisms of *Salvia sclarea* essential oil. *Botanical Studies*, 56(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S40529-015-0096-4>. EDN: <https://elibrary.ru/OACKMX>
9. Dimitrova-Dyulgerova, I., Merdzhanov, P., Todorov, K., Seymenska, D., Stoyanov, P., Mladenov, R., & Stoyanova, A. (2015). Essential oils composition of *Betonica officinalis* L. and *Stachys sylvatica* L. (Lamiaceae) from Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 68(8), 991–998.
10. Dülge, G., & Dülger, B. (2022). Antibacterial activity of *Stachys sylvatica* against some human eye pathogens. *Natural Engineering Sciences*, 7(2), 131–135. <https://doi.org/10.28978/nesciences.1159224>. EDN: <https://elibrary.ru/JLLQJS>
11. El-Sayed, Z. I. A. (2008). Chemical composition, antimicrobial and insecticidal activities of the essential oil of *Lamium maculatum* L. grown in Egypt. *Bioscience, Biotechnology Research Asia*, 5(1), 65–72.

12. Eyvazadeh Khosroshahi, E., & Salmaki, Y. (2019). Evolution of trichome types and its systematic significance in the genus *Phlomoides* (Lamioideae-Lamiaceae). *Nordic Journal of Botany*, 37(5). <https://doi.org/10.1111/njb.02132>. EDN: <https://elibrary.ru/MBCUBG>
13. Forouzin, F., Jamei, R., & Heidari, R. (2015). Compositional analysis and antioxidant activity of volatile components of two *Salvia* spp. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 14(11), 2009–2013. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v14i11.9>
14. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Corrà, S., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). Ultrastructural insight into terpene-producing trichomes and essential oil profile in *Salvia greggii* A. Gray. *Flora*, 236, 107–114. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.10.004>
15. Giuliani, C., Ascrizzi, R., Tani, C., Bottoni, M., Bini, L. M., Flamini, G., & Fico, G. (2017). *Salvia uliginosa* Benth.: Glandular trichomes as bio-factories of volatiles and essential oil. *Flora*, 233, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.002>
16. Grujić, S. M., Savković, Ž. D., Ristić, M. S., Džamić, A. M., Grbić, M. V. L., Vukojević, J. B., & Marin, P. D. (2020). Glandular trichomes, essential oil composition, anti-*Aspergillus* and antioxidative activities of *Lamium purpureum* L. ethanolic extracts. *Archives of Biological Sciences*, 72(2), 253–263. <https://doi.org/10.2298/ABS200117019G>. EDN: <https://elibrary.ru/QWKCIA>
17. Grujic-Jovanovic, S., & Skaltsa, H. D., Marin, P., & Sokovic, M. (2004). Composition and antibacterial activity of the essential oil of six *Stachys* species from Serbia. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(2), 139–144. <https://doi.org/10.1002/ffj.1275>
18. Gul, S., Ahmad, M., Zafar, M., Bahadur, S., Sultana, S., Ashfaq, S., Ullah, F., Kilic, O., Hassan, F., & Siddiq, Z. (2019). Foliar epidermal anatomy of Lamiaceae with special emphasis on their trichomes diversity using scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 82(3), 206–223. <https://doi.org/10.1002/JEMT.23157>
19. Hayta, S., Dogan, G., Yuce, E., & Bagci, E. (2015). Composition of the essential oil of two *Salvia* taxa (*Salvia sclarea* and *Salvia verticillata* subsp. *verticillata*) from Turkey. *Natural Science Discovery*, 1(3), 62–67. <https://doi.org/10.20863/nsd.23928>
20. Hou, T., Sana, S. S., Li, H., Xing, Y., Nanda, A., Netala, V. R., & Zhang, Z. (2022). Essential oils and their antibacterial, antifungal and antioxidant activity applications: A review. *Food Bioscience*, 47, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101716>. EDN: <https://elibrary.ru/IAYATM>

21. Kılıç, Ö., Kutlu, M. A., & Özdemir, F. A. (2017). Essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. subsp. *arundanum* (Boiss.) Nyman from Bingöl (Turkey). *International Journal of Secondary Metabolism*, 4(3), 11–15. <https://doi.org/10.21448/ijsm.356245>
22. Krstic, L., Malencic, D., & Anackov, G. (2006). Structural investigations of trichomes and essential oil composition of *Salvia verticillata*. *Botanica Helvetica*, 116, 159–168. <https://doi.org/10.1007/s00035-006-0767-6>. EDN: <https://elibrary.ru/YQVTNQ>
23. Lazarević, J. S., Đorđević, A. S., Kitić, D. V., Zlatković, B. K., & Stojanović, G. S. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Stachys officinalis* (L.) Trevis. (Lamiaceae). *Chemical Biodiversity*, 10(7), 1335–1349. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201200332>
24. Leclercq, R., Cantón, R., Brown, D. F., Giske, C. G., Heisig, P., MacGowan, A. P., Mouton, J. W., Nordmann, P., Rodloff, A. C., Rossolini, G. M., Soussy, C.-J., Steinbakk, M., Winstanley, T. G., & Kahlmeter, G. (2013). EUCAST expert rules in antimicrobial susceptibility testing. *Clinical Microbiology and Infection*, 19(2), 141–160. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03703.x>
25. Mahdavi, M., Jouri, M. H., Mahzooni-Kachapi, S., & Halimi'Jelodar, S. (2015). Study of chemical composition and antibacterial effects of essential oils of *Stachys lavandulifolia* Vahl., *Salvia verticillata* L., and *Tanacetum polycephalum* Schultz-Bip. on some microbial lineages. *International Journal of Pharmacy and Allied Sciences*, 4(3), 197–206.
26. Mahmoud, S. S., Maddock, S., & Adal, A. M. (2021). Isoprenoid metabolism and engineering in glandular trichomes of Lamiaceae. *Frontiers in Plant Science*, 12, 699157. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.699157>. EDN: <https://elibrary.ru/GUBHMY>
27. Matkowski, A., Zielińska, S., Oszmiański, J., & Lamer-Zarawska, E. (2008). Antioxidant activity of extracts from leaves and roots of *Salvia miltiorrhiza* Bunge, *S. przewalskii* Maxim., and *S. verticillata* L. *Bioresource Technology*, 99(16), 7892–7896. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.02.013>
28. Morteza-Semnani, K., Saeedi, M., & Akbarzadeh, M. (2009). The essential oil composition of *Clinopodium vulgare* L. from Iran. *Journal of Essential Oil Research*, 21(1), 31–32. <https://doi.org/10.1080/10412905.2009.9700100>
29. Mukhamedsadykova, A. Z., Kasela, M., Kozhanova, K. K., Sakipova, Z. B., Kukuła-Koch, W., Józefczyk, A., Świątek, Ł., Rajtar, B., Iwan, M., Kołodziej, P., Ludwiczuk, A., Kadyrbayeva, G. M., Kuntubek, G. N., Mamatova, A. S., Bogucka-Kocka, A., & Malm, A. (2024). Anthelmintic and antimi-

- crobial effects of hedge woundwort (*Stachys sylvatica* L.) growing in Southern Kazakhstan. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1386509. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1386509>. EDN: <https://elibrary.ru/BXZIDY>
30. Nasermodeli, S., Rowshan, V., Abotalebi, A., Nasermodeli, L., & Charkhchian, M. M. (2013). Comparison of *Salvia verticillata* essential oil components in wild and cultivated population. *Annals of Biological Research*, 4(5), 252–255.
 31. Opalchenova, G., & Obreshkova, D. (1999). Antibacterial action of extracts of *Clinopodium vulgare* L. curative plant. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 25(3), 323–328. <https://doi.org/10.1081/DDC-100102177>
 32. Pedro, B. C., Benites, J., Ríos, D., Guerrero-Castilla, A., Enríquez, C., Zavala, Z., Ybañez-Julca, R. O., Quispe-Díaz, I., & Jara-Aguilar, R. (2021). Chemical composition and assessment of antimicrobial, antioxidant and antiproliferative activities of essential oil from *Clinopodium sericeum*, a Peruvian medicinal plant. *Records of Natural Products*, 15(3), 175–186. <https://doi.org/10.25135/RNP.213.20.10.1845>. EDN: <https://elibrary.ru/SCMHRQ>
 33. Petrova, V. P., Burachins'ka, N. S., & Pobirchenko, G. A. (1974). Content of essential oil and polyphenols in some sage species introduced into the Ukrainian forest steppe. *Ukrains'kii Botanichnyi Zhurnal*, 31(1), 13–17.
 34. Rezazadeh, S., Pirali-Hamedani, M., Hadjiakhondi, A., Ajani, Y., Yari-gar-Ravesh, M., & Shafiee, A. (2009). Chemical composition of the essential oils of *Stachys atherocalyx* and *S. sylvatica* from Iran. *Chemistry of Natural Compounds*, 45, 742–744. <https://doi.org/10.1007/s10600-009-9417-8>. EDN: <https://elibrary.ru/YAWWKL>
 35. Schelz, Z., Hohmann, J., & Molnár, J. (2010). Recent advances in research of antimicrobial effects of essential oils and plant derived compounds on bacteria. In D. Chattopadhyay (Ed.), *Ethnomedicine: A Source of Complementary Therapeutics* (pp. 179–201). Kerala: Research Signpost. ISBN: 978-81-308-0390-6
 36. Stefanovic, O., Stankovic, M. S., & Comic, L. (2011). In vitro antibacterial efficacy of *Clinopodium vulgare* L. extracts and their synergistic interaction with antibiotics. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(17), 4074–4079. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000735>
 37. Tang, H. M., Jiang, Q., Liu, H. Y., Zhang, F., Liu, Q., Pu, G. B., Li, J., Wang, L. N., & Zhang, Y. Q. (2022). Glandular trichomes of medicinal plants: types, separation and purification, biological activities. *Biologia Plantarum*, 66, 219–227. <https://doi.org/10.32615/bp.2022.027>. EDN: <https://elibrary.ru/CPLPQU>
 38. Tepe, B., Sihoglu-Tepe, A., Daferera, D., Polissiou, M., & Sokmen, A. (2007). Chemical composition and antioxidant activity of the essential oil of *Clinopo-*

- dium vulgare* L. *Food Chemistry*, 103(3), 766–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.019>
39. Tirillini, B., Pellegrino, R., & Bini, L. M. (2004). Essential oil composition of *Stachys sylvatica* L. from Italy. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(4), 330–332. <https://doi.org/10.1002/ffj.1308>
40. Totmaj, L. H., & Salmaki, Y. (2022). Pollen and trichome morphology of tribe Stachydeae (Lamiaceae) and its phylogenetic significance. *Turkish Journal of Botany*, 46(3), 205–229. <https://doi.org/10.55730/1300-008x.2683>. EDN: <https://elibrary.ru/TNZCXI>
41. Vundac, V. B., Pfeifhofer, H. W., Brantner, A. H., Males, Z., & Plazibat, M. (2006). Essential oils of seven *Stachys* taxa from Croatia. *Biochemical Systematics and Ecology*, 34(12), 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.04.010>. EDN: <https://elibrary.ru/XTBLLW>
42. Yousefzadi, M., Sonboli, A., Karimi, F., Ebrahimi, S. N., Asghari, B., & Zeinali, A. (2007). Antimicrobial activity of some *Salvia* species essential oils from Iran. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 62(7–8), 514–518. <https://doi.org/10.1515/znc-2007-7-809>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Алшиха Абдуллатиф, аспирант

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
abdallatif.sh91@gmail.com

Прохоренко Нина Борисовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
nbprokhorenko@mail.ru

Демина Галина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений

*Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
deminagv@mail.ru*

Сальников Вадим Владимирович, доктор биологические науки, профессор, заведующий лабораторией микроскопии
*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН
ул. Лобачевского, 2, г. Казань, 420111, Российская Федерация
vadim.salnikov.56@mail.ru*

Немтарев Андрей Владимирович, кандидат химические науки, доцент кафедры органической и медицинской химии
*Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
a.nemtarev@mail.ru*

Каюмов Айрат Рашитович, доктор биологические науки, доцент, зав. кафедрой генетики
*Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
kairatr@yandex.ru*

Тимофеева Ольга Арнольдовна, доктор биологические науки, зав. кафедрой ботаники и физиологии растений
*Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
otimofeeva2008@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Abdullatif Alshikha, Graduate Student
*Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
abdallatif.sh91@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6513-2314>
ResearcherID: MBV-6823-2025
Scopus Author ID: 58303931200*

Nina B. Prokhorenko, Candidate of biological sciences, associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology

Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
nbprokhorenko@mail.ru
SPIN-code: 9456-4970
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0661-8461>
ResearcherID: V-9530-2017
Scopus Author ID: 56539778800

Galina V. Demina, Candidate of biological sciences, associate Professor of the Department of Botany and Plant Physiology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
deminagv@mail.ru
SPIN-code: 3217-1051
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5836-5614>
ResearcherID: W-1570-2018
Scopus Author ID: 56736981000

Vadim V. Salnikov, Doctor of Biology, Professor, Head of the Microscopy Laboratory
Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2, Lobachevsky Str., Kazan, 420111, Russian Federation
vadim.salnikov.56@mail.ru
SPIN-code: 1952-2735
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2367-672X>
ResearcherID: A-9563-2018
Scopus Author ID: 6602504414

Andrey V. Nemtarev, Candidate of Chemical Sciences, associate Professor of the Department of Organic and Medical Chemistry
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
a.nemtarev@mail.ru
SPIN-code: 4324-9208
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8478-2705>
ResearcherID: E-5303-2017
Scopus Author ID: 12797058700

Airat R. Kayumov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Genetics
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
kairatr@yandex.ru
SPIN-code: 3562-5282
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7195-1557>
ResearcherID: M-6725-2013
Scopus Author ID: 9133278400

Olga A. Timofeeva, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Botany and Plant Physiology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
otimofeeva2008@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-458X>
ResearcherID: M-3506-2016
Scopus Author ID: 57197942213

Поступила 28.01.2025

После рецензирования 14.04.2025

Принята 20.04.2025

Received 28.01.2025

Revised 14.04.2025

Accepted 20.04.2025

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1243

EDN: IQVEVQ

UDC 581.526:582.693:502.74



Original article

EVALUATING THE HABITAT CONDITIONS OF *BRUGUIERA HAINESII* C.G. ROGERS 1919 IN CON DAO NATIONAL PARK, VIETNAM

*T.T.T. Hoang, M.P. Pham, V.D. Pham,
Q.K. Nguyen, L.H. Trinh, D.D. Vu*

Abstract

Purpose. Con Dao is an archipelago located off the southern coast of Vietnam and is administratively part of Ba Ria – Vung Tau province. Socio-economic development and tourism expansion have exerted pressure on the local environment, increasing the risk of pollution from domestic wastewater and solid waste. Additionally, coastal erosion due to increasingly strong currents has reduced sediment deposition capacity, directly impacting the habitat of the critically endangered mangrove species *Bruguiera hainesii* C.G. Rogers 1919.

Materials and methods. This study analyzed soil samples from mangrove forests surrounding Hon Ba Island in Con Dao National Park to assess the risk of heavy metal pollution in the area. Additionally, the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) was applied to monitor and analyze changes in the mangrove shoreline at specific locations, providing an accurate assessment of environmental changes affecting the distribution of *Bruguiera hainesii*.

Results. The research findings reveal that *Bruguiera hainesii* in Con Dao is influenced by various environmental factors. The low phosphorus (P_2O_5) levels in the soil may hinder tree growth, as phosphorus is a crucial nutrient for the mangrove

ecosystem. Although the concentrations of heavy metals such as Cd, Pb, and Zn remain within safe limits, potential environmental concerns persist.

Notably, satellite imagery analysis conducted since 2016 using DSAS, which examined shoreline variations through 571 cross-sections, has provided essential insights into coastal dynamics, erosion patterns, and sediment deposition changes. The results highlight the significant impact of tidal waves, leading to accelerated coastal erosion and reduced sediment accumulation - an essential process for mangrove forest regeneration. These factors threaten the population size and long-term survival of *B. hainesii*, a species already classified as extremely rare in nature.

Conclusion. The research findings provide essential scientific evidence for Ba Ria – Vung Tau province to develop effective sediment management strategies aimed at protecting and restoring mangrove ecosystems, particularly the habitat of *Bruguiera hainesii*.

Keywords: *Bruguiera hainesii*; environmental factors; erosion; DSAS; coastal dynamics

For citation. Hoang, T. T. T., Pham, M. P., Pham, V. D., Nguyen, Q. K., Trinh, L. H., & Vu, D. D. (2025). Evaluating the habitat conditions of *Bruguiera hainesii* C. G. Rogers 1919 in Con Dao National Park, Vietnam. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 166-184. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1243>

Introduction

Bruguiera hainesii C.G. Rogers 1919 (*B. hainesii*) is a critically endangered mangrove species with a highly restricted distribution, and Con Dao National Park is its only known habitat in Vietnam. According to Pham et al. (2024), this species thrives in tidal mudflats and mangrove forests, which are highly susceptible to coastal erosion and soil condition changes [15]. However, its natural regeneration capacity is extremely low, further exacerbating the risk of population decline. Therefore, investigating soil conditions and coastal erosion in Con Dao is essential for developing conservation strategies and habitat restoration measures to ensure the long-term survival of this species.

Natural mangrove forests (NMF) are highly productive ecosystems found in tropical and subtropical regions, playing a key role in ecological balance and social sustainability. They provide essential habitats, supporting biodiversity and fisheries by offering food and nursery grounds for various species. Additionally, NMF filter pollutants, trap sediments, and improve water quality. Their complex root systems protect coastlines from erosion, storms, and rising sea levels. These forests also store large amounts of carbon, mitigating climate

change. Economically, they support coastal communities through fisheries, timber, and other resources, making their conservation crucial for long-term environmental stability [2]. Con Dao National Park currently has about 31 hectares of mangrove forests. The saline soils of *Avicennia*, *Rhizophora*, and *Bruguiera* mangroves are typically muddy, saline, and rich in organic matter due to the decomposition of leaves and roots. Besides their roles in wind and wave breaking and providing firewood and charcoal, mangrove forests contribute to soil stabilization [12]. The alluvium gradually raises and solidifies the land, helping it escape tidal effects and reducing salinity over time. Coastal mangrove forests are not only crucial for the ecological environment but also play a significant role in reducing wave height and protecting shorelines [15; 20]. Consequently, the evaluation of mangroves' role in coastal protection is gaining increasing attention, especially given the complexities of natural disasters and the negative impacts of climate change.

However, mangrove ecosystems are currently facing greater pollution pressures due to increased chemical discharge from various land-based sources [26]. The coastal environment is a dynamic system where physical, chemical, and biological processes contribute to metal biogeochemical cycles. However, human activities have introduced metal pollution into these areas. Major sources include mining, metal production, solid waste disposal, fossil fuel combustion, and wastewater discharge from urban and industrial areas. These pollutants can accumulate in coastal ecosystems, affecting water quality and marine life. Understanding these processes is essential for managing and mitigating the environmental impacts of metal contamination in coastal regions [9]. Industries like casting, paper processing, laundry, tanning, and dyeing discharge wastewater containing toxic metals into estuaries and coastal areas. Additionally, acid rain enhances metal mobility, allowing pollutants to spread more easily. Once introduced into the coastal environment, these toxic metals mainly accumulate in sediments through particle settling, posing potential risks to marine ecosystems and water quality [7]. As industrialization, urban expansion, and population growth accelerate, toxic metals accumulate in sediments, leading to high concentrations in many coastal areas. These pollutants originate from human activities and pose significant environmental risks to marine ecosystems and water quality.

Coastal regions, including mangroves, are increasingly affected by coastal erosion. In Ca Mau province, extensive sections of the coastline and mangrove forests are experiencing severe erosion, which is worsening over time. This phenomenon poses significant threats to the stability of the sea dike system, local

properties, and the surrounding environment. If erosion continues unchecked, it could lead to further habitat loss, infrastructure damage, and increased vulnerability of coastal communities to extreme weather events and rising sea levels [19]. In some areas, the sea has pushed the shoreline inland by 300 to 600 meters over the past decade. Coastline stability is influenced by the dynamic interplay between sediment supply and the space available due to rising sea levels and land subsidence. When sediment deposition matches or exceeds the rate of subsidence and sea-level rise, coastal areas remain stable. However, if sediment supply is insufficient, erosion accelerates, leading to shoreline retreat. Maintaining this balance is essential for protecting coastal ecosystems, infrastructure, and communities from the adverse effects of climate change and environmental degradation [14]. If sediment supply exceeds the rate of relative sea level change, the delta will advance; otherwise, coastal erosion will occur. Most previous studies have focused on the overall loss or reclamation of land in the coastal environment but did not provide specific information about coastal dynamics [3]. For detailed information, this study focuses on specific changes at individual coastal points along the coastline at five mangrove sites, which are critical perspectives for planning the protection of mangroves and coastlines in the area. Long-term coastal dynamics can be monitored through multi-year satellite imagery. Comprehensive data on shoreline changes across different sections is essential for effective erosion management. The Digital Shoreline Analysis System (DSAS), an ArcGIS extension, enables precise monitoring of shoreline shifts at specific points using the End Point Rate (EPR). EPR assesses mangrove shoreline changes by calculating positional variations over time [4]. These shifts result from socio-economic activities and environmental factors, including climate change. Understanding both the rate and underlying causes of these changes is crucial. Historical shoreline transformations serve as key indicators for assessing coastal environmental shifts, such as global warming, storm impacts, sea-level rise, pollution, and sedimentation. Additionally, mapping water boundaries is vital in coastal dynamics studies, as tidal fluctuations continuously reshape shoreline interactions. The Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) is used to distinguish permanent water bodies from seasonally flooded areas [1]. Sentinel-2 MSI satellite images from 2016–2022 were used for the study.

Given the critical need for conservation, this study aims to analyze: (i) the potential risks of heavy metal contamination in mangrove sediments within the Dam Quoc area and (ii) the impacts of coastal erosion on this habitat. Understanding these environmental threats is essential for safeguarding the ecological

integrity of *Bruguiera hainesii*. The findings will provide scientific evidence to support strategic recommendations for coastal protection and habitat restoration within Con Dao National Park, ensuring the long-term viability of this critically endangered species.

Materials and methods

Study area. This study examines regions where mangrove forests are distributed within the Con Dao National park. Among these areas, Hon Ba Island contains the most extensive mangrove coverage, spanning approximately 5,860 hectares. As the largest mangrove habitat in the islands, this island plays a crucial role in maintaining ecological balance, supporting biodiversity, and protecting the coastal environment. Understanding mangrove distribution in these areas is essential for conservation efforts and assessing the impacts of environmental changes on coastal ecosystems.



Fig. 1. Morphological characteristics of *B. hainesii* in Con Dao National park, Ba Ria - Vung Tau Province, Vietnam: (a) trunk, (b) flower, (c) leaf, flower, and twig, (d) measuring cracks on the tree bark, (e) measuring pH.

Bruguiera hainesii C.G. Rogers 1919 is a mangrove species belonging to the family Rhizophoraceae and is classified as Critically Endangered (CR) on the IUCN Red List. This species has an extremely restricted distribution, recorded only in a few coastal regions of Southeast Asia, including Singapore, Malaysia, Indonesia, and Vietnam [15; 21]. *B. hainesii* thrives in mangrove eco-

systems, particularly in intertidal mudflats where salinity fluctuates with tidal movements. It is characterized by a sturdy woody trunk. However, its natural regeneration capacity is extremely low, primarily due to the limited number of mature individuals and severe population fragmentation. The major threats to *B. hainesii* include habitat loss caused by urban development, aquaculture expansion, and coastal erosion. Additionally, climate change, particularly rising sea levels, has further reduced mangrove forest areas, significantly impacting the species' habitat. As of 2025, only seven individuals have been recorded in Con Dao by the research from the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center [15, 21], the data was published in GBIF (<https://www.gbif.org/dataset/99467e7c-0a15-4b30-b5f1-9da66999f7cd>).

Methodology

Soil analysis methods. Soil Sampling: Fifteen soil samples were collected from areas with mangrove distribution in Dam Quoc, where *B. hainesii* species is located (Fig. 2). Samples were taken using a hand auger, drilling to a depth of 0–40 cm. Each soil sample weighed approximately 1 kg, preserved in clean plastic bags, tightly sealed with rubber bands, and placed in sample containers for transportation to the laboratory for analysis. Each sample was labeled with an identification number, date and time of collection, collector's name, and sampling coordinates.

Preparation of Soil Samples for Analysis: The collected soil samples underwent natural air-drying at ambient room temperature before further processing. This step ensured the removal of excess moisture while preserving the samples' physical and chemical properties for accurate analysis. Proper drying conditions were maintained to prevent alterations in soil composition, which could affect subsequent testing. This method provides a standardized approach for preparing soil samples, ensuring reliable and consistent results in laboratory assessments, with any debris and organic residues larger than 2 mm removed. The samples were then finely ground using a porcelain mortar and sieved through a mesh with a diameter of 0.2 mm. Before analyzing N, P, and K content, all soil samples underwent a digestion process. The samples were processed and analyzed at the laboratories of the Joint Vietnam-Russia Tropical Center and the Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology.

This species grows in semi-tidal areas adjacent to evergreen forests, so the soil quality in this region is largely influenced by forest land. Soil standards for forest trees are referenced from the *Forestry Handbook* [10]. The analysis results will be evaluated against Vietnamese Standards TCVN 7373:2004,

7374:2004, and 7375:2005, which define indicative ranges for total nitrogen, phosphorus, and potassium in major soil groups. This comparison helps assess soil fertility, nutrient limitations, and environmental suitability for plant growth, providing a scientific basis for sustainable land management and conservation strategies [16-18].

Surface water analysis methods. Surface water samples were primarily collected from the mangrove forest area in Dam Quoc, where *B. hainesii* species is located (Fig. 2). On-site rapid analysis was conducted for pH and salinity using specialized equipment. Heavy metal concentrations were analyzed in the laboratory using atomic absorption spectrometry methods. The analytical results were calculated and processed using Excel and MapInfo software, and the data were statistically analyzed to assess the level of water pollution in the study area based on the National Technical Regulation on Surface Water Quality (QCVN 08:2015/BTNMT). Elements were classified into high, medium, and low concentration groups.

Shoreline study methods. To assess the erosion resistance of the wave-tide dynamics in the Dam Quoc mangrove area and nearby mangrove areas, a method for extracting past and present shoreline positions over an 8-year period (2016–2023) was established to determine the shoreline shift rate. This method includes three stages:

- Collection: Optical satellite images from Sentinel-2 MSI for the period 2016-2023 were collected, preprocessed, and the MNDWI water index was calculated.
- Extraction: Shoreline positions were extracted using the Otsu automatic thresholding method from the MNDWI index.
- Shoreline Change Analysis: The DSAS software was utilized to assess shoreline accretion and erosion rates through a four-step process: (1) Shoreline data preparation, (2) Baseline creation, (3) Transect generation, and (4) Shoreline change rate calculation. Transects were established perpendicular to the baseline at 50-meter intervals to ensure systematic measurement. The End Point Rate (EPR) and Net Shoreline Movement (NSM) methods, widely applied in coastal management, were used to quantify shoreline dynamics and support effective coastal monitoring and decision-making [4, 5].

The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) is a computational tool designed to analyze shoreline displacement across spatial and temporal scales by extracting transect-based shoreline data. This method involves generating transects perpendicular to a reference baseline and multi-temporal shorelines. In this

study, a manually defined baseline was established along the coastline, adapting to shoreline discontinuities. Transects were created by assigning attributes to both shorelines and the baseline [4]. These transects intersect with shorelines to provide position and time data, which are used to determine shoreline change rates. DSAS outputs include statistical estimates of shoreline dynamics over the study period. The End Point Rate (EPR) and Linear Regression Rate were applied to quantify shoreline variation in the Con Dao islands. EPR measures shoreline movement by calculating the distance between the oldest and most recent shoreline positions, divided by the number of years between them, providing an annual shoreline change rate (m/year) [5]. EPR is expressed by the following formula (1):

$$ERP = \frac{D_1 - D_2}{t_1 - t_2} \quad (1)$$

The End Point Rate (EPR) is determined by calculating the distance ($D_1 - D_2$) between the earliest and most recent shoreline positions, divided by the time interval ($t_1 - t_2$) between their recorded dates. This parameter reflects the overall shoreline change during the observation period but only provides a general trend between the two recorded shorelines. A negative EPR value signifies shoreline retreat inland, whereas a positive EPR value indicates seaward advancement, helping to assess coastal erosion or accretion trends.



Fig. 2. Survey plots in the Con Dao Islands, Vietnam. Plots 1, 2, 3, 4, and 5 are located in the mangrove forest, among which Plot 1 is the area where the *B. hainesii* species is found).



Fig. 3. Mangrove forest in Hon Ba island of Con Dao, Vietnam.

The DSAS software assessed shoreline accretion and erosion at five sites, including Plot 1, which hosts the endangered *B. hainesii*. This study compares shoreline dynamics to inform conservation strategies, mitigate environmental impacts, and support habitat stability. Findings will guide data-driven conservation efforts, balancing ecological preservation with coastal development.

Results and discussion

Soil environmental characteristics in mangrove distribution areas. Soil sample analysis (Table 1) from mangrove forests reveals nutrient-deficient, sandy soil with low acidity. Potassium levels are generally high, with certain areas exhibiting exceptionally elevated concentrations, indicating potential variations in soil composition across different mangrove regions.

The observational results depicted in the table below show the highest pH value reaching 6.77, with an average pH value of 5.93. Based on the pH evaluation scale from the Forestry Handbook [10], the analyzed soil in these habitats is classified as acidic, suggesting potential impacts on mangrove ecosystem health and nutrient availability.

Comparing with standards for nitrogen (%N), phosphorus (%P₂O₅), potassium (%K₂O) according to TCVN 7373:2004 [16], TCVN 7474:2004 [17], TCVN 7375:2004 [18], the soil in this area is characterized as silver-gray soil, with little humus.

Total nitrogen content in soil compared to the mean value specified in TCVN 7373:2004 for of saline soil group [16], with N (%) in saline soil ranging from 0.078–0.325, the average total N content (%) in the research area falls within the permissible range for the saline soil category, however it shows great volatility.

Table 1.
Analysis indicators of soil samples in mangrove forest areas distributed by species

No.	Parameters	Unit	Analytical Method	Min-Max	Mean ± Std
1	Sand	%	TCVN 8567:2010	90.33–94.62	92.10 ± 1.39
2	Silt	%		2.85–6.36	5.41 ± 1.08
3	Clay	%		1.19–3.92	2.48 ± 0.93
4	Acidity (pH _{KCl})	-	TCVN 5979:2007	4.75–6.77	5.93 ± 0.74
5	Hydrolyzable acidity (H)	meq/100g	TCVN 4404:1987	0.70–6.81	3.04 ± 1.87
6	Organic matter content CHC (%)	%OM	TCVN 8941:2011	2.22–9.21	3.74 ± 2.23
7	Easily digestible nitrogen (mg/100gd)	mg/100g	TCVN 5255:2009	22.91–70.32	31.18 ± 15.18
8	Easily digestible phosphorus (mg/100gd)	mg P ₂ O ₅ /100g	TCVN 5256:2009	1–5.5	2.16 ± 1.43
9	Easily digestible potassium (mg/100gd)	mg K ₂ O/100g	TCVN 8662:2011	27.72–68.99	52.65 ± 28.8
10	Total nitrogen (%)	%N	TCVN 6498:1999	0.078–0.325	0.13 ± 0.08
11	Total phosphorus (%)	%P ₂ O ₅	TCVN 8940:2011	0.016–0.049	0.03 ± 0.02
12	Total potassium (%)	%K ₂ O	TCVN 8660:2011	0.35–0.47	0.39 ± 0.04
13	Cl ⁻ concentration	%	TCVN 12616:2019	0.63–2.62	1.22 ± 0.79
14	SO ₄ ²⁻ concentration	%	TCVN 6656:2000	0.11–0.61	0.22 ± 0.15

Total P content in soil indicates that the values across various habitats range from 0.016% to 0.049% (Table 1). In comparison to TCVN 7374:2004 [17], the total P content in these habitats is below the permissible average threshold of saline soil group (0.09%). With mean total P value of 0.03%, as indicated in

the Forestry Handbook (Table 3), the soil is classified as silver-gray and low in P. This deficiency may act as a limiting factor in plant growth.

Total P content in soil serves many vital functions in plant metabolism, ensuring root system development and enhancing resistance to adverse factors. Therefore, maintaining sufficient P concentration in the soil is essential. Monitoring results indicate that soil in the research area is prone to P depletion if not properly managed and controlled, including both natural and artificial restoration measures.

Total K content in soil (Table 1) indicates that K content ranges from 0.35% to 0.47%, classifying it as potassium-rich according to the Forestry Handbook (Table 4). However, the K_2O content in the soil is lower than the TCVN 7375:2004 standard [18] for saline soil groups.

Nevertheless, this potassium level remains sufficient to support normal crop growth. Potassium plays a crucial role in photosynthesis, water regulation, and protein synthesis; therefore, the current concentration does not negatively impact plant development. However, if K_2O levels continue to decline, soil fertility may gradually deteriorate, adversely affecting plants' nutrient absorption capacity.

The disparity among the three values of N - P - K in the soil samples across the species distribution area indicates that the soil in the research area is characteristic of mangrove soil. This result is quite consistent with soil samples in the wetland areas of Cu Lao Dung [11] and mangrove forests in Indonesia [22] in terms of %N and K_2O indices. However, the percentage of P_2O_5 total is at a low alert level.

Table 2.

Assessment of total N content in soil [16]

Level	Categories	N (%) in soil
I	High	≥ 0.15
II	Medium	$\geq 0.08-0.15$
III	Poor	<0.08

Table 3.

Assessment of total P_2O_5 content in soil [17]

Level	Categories	P_2O_5 (%) content in soil
I	High	≥ 0.1
II	Medium	$\geq 0.06-0.1$
III	Poor	<0.06

Characteristics of water environment in areas with mangrove distribution.

The result presents data on the physicochemical environment of surface seawater at Dam Quoc, Con Dao islands, compared to the national standard QCVN 08:2015/BTNMT. Salinity ranges from 30.8‰ to 32.8‰, with an average of $31.8\text{‰} \pm 1.0\text{‰}$,

reflecting typical seawater conditions. Ammonium (NH_4^+) is below the detection limit (<0.01 mg/l), meeting the permissible standard of 0.3 mg/l, indicating low levels of organic pollution. Arsenic (As) has an average concentration of 0.0036 ± 0.0018 mg/l, below the limit of 0.01 mg/l. Mercury (Hg) is below 0.0005 mg/l, lower than the permissible limit of 0.001 mg/l. Copper (Cu) averages 0.0226 ± 0.0032 mg/l, within the acceptable threshold of 0.1 mg/l. Lead (Pb) has an average concentration of 0.0030 ± 0.0015 mg/l, well below the limit of 0.05 mg/l. Zinc (Zn), Manganese (Mn), and Iron (Fe) are also within safe levels. Overall, the seawater quality at Dam Quoc meets national standards, with low concentrations of heavy metals, indicating a relatively clean marine environment. However, continuous monitoring is necessary to ensure the long-term sustainability of the ecosystem. (Table 5).

Table 4.

Assessment of total K₂O content in soil [18]

Level	Categories	K ₂ O (%) content in soil
I	High	≥ 2
II	Medium	$\geq 1-2$
III	Poor	<1

Table 5.

Physicochemical environment of surface seawater of Con Dao National park

Variables	Unit	Analytical Method	Min-Max	Mean $\pm$ Std	National-ISO: QCVN 08:2015/ BTNMT
Salinity	‰	Instrumental measurement	30.8-32.8	31.8 ± 1.0	
NH_4^+	mg/l	SMEWW 4500 NH4+.F:2017	<0.01		0.3
As	mg/l	SMEWW 3125B:2017	0.002-0.006	0.0036 ± 0.0018	0.01
Hg	mg/l		<0.0005		0.001
Cu	mg/l		0.019-0.026	0.0226 ± 0.0032	0.1
Pb	mg/l		0.0012-0.0046	0.0030 ± 0.0015	0.02
Zn	mg/l		0.0489-0.0876	0.0704 ± 0.017	0.5
Mn	mg/l		0.0099-0.1343	0.0450 ± 0.06	0.1
Fe	mg/l		0.1632-0.9361	0.4829 ± 0.33	0.5

This result was compared with coastal areas in Vietnam [13] and China [23]. Some areas are significantly affected by the Hau River, where high levels of copper (Cu) contamination are detected at most sampling locations in Dinh An and Rach Gia [8]. Research conducted in other coastal regions worldwide also highlights the ecological risks associated with heavy metal pollution. These contaminants can cause environmental harm, particularly when their concentrations exceed safety thresholds. Furthermore, spatial variations in contamination levels indicate that pollution is not uniformly distributed, posing different levels of ecological and health risks across coastal zones. Effective monitoring and management strategies are essential to mitigate these risks and protect both marine ecosystems and human populations [25]. In the case of Con Dao, while the concentration of heavy metals remains within acceptable limits, continued industrialisation and increased maritime activities could lead to future contamination risks [6]. Regular water quality and sediment composition assessments are crucial to detecting early signs of heavy metal accumulation. Additionally, understanding the bioaccumulation patterns of these metals in local marine organisms can provide further insights into potential ecological threats.

Characteristics of the shoreline in Con Dao National park. The average annual shorelines, representing the boundary between land and water, were derived from yearly land-water classification maps. These maps facilitated the assessment of shoreline dynamics using the DSAS tool. Between 2016 and 2023, shorelines in natural mangrove forest (NMF) areas exhibited both expansion and retreat. Figure 4 illustrates the baseline and DSAS-generated cross-sections utilized for shoreline change analysis. In total, 571 cross-sections were employed to evaluate shoreline variations, providing a comprehensive understanding of coastal dynamics. This analysis is essential for monitoring long-term shoreline shifts and assessing the impact of environmental and anthropogenic factors on coastal ecosystems. These are perpendicular sections with the baseline and along the shoreline of the 5 plots as follows: 200 transects in plot 1, 44 transects in plot 2, 79 transects in plot 3, 117 transects in plot 4, and 131 transects in plot 5. The identification follows a sequential numbering system from left to right. A positive EPR value signifies shoreline expansion, whereas a negative EPR value indicates a landward shift, representing shoreline retreat.

Xu et al. (2009) stated that when the observation frequency reaches 30, shoreline position uncertainty is below 1 meter, and the shoreline change rate uncertainty is under 0.02 m/year [24]. In this study, 29 satellite images were used in 2016 and 61 in 2023. Thus, despite the satellite images having a 10-meter pixel size, the shoreline position uncertainty remains within a few tens of centimeters. This suggests that the analysis provides a high level of accuracy in detecting shoreline changes over time, ensuring reliable assessments of coastal dynamics and environmental shifts in the study area.

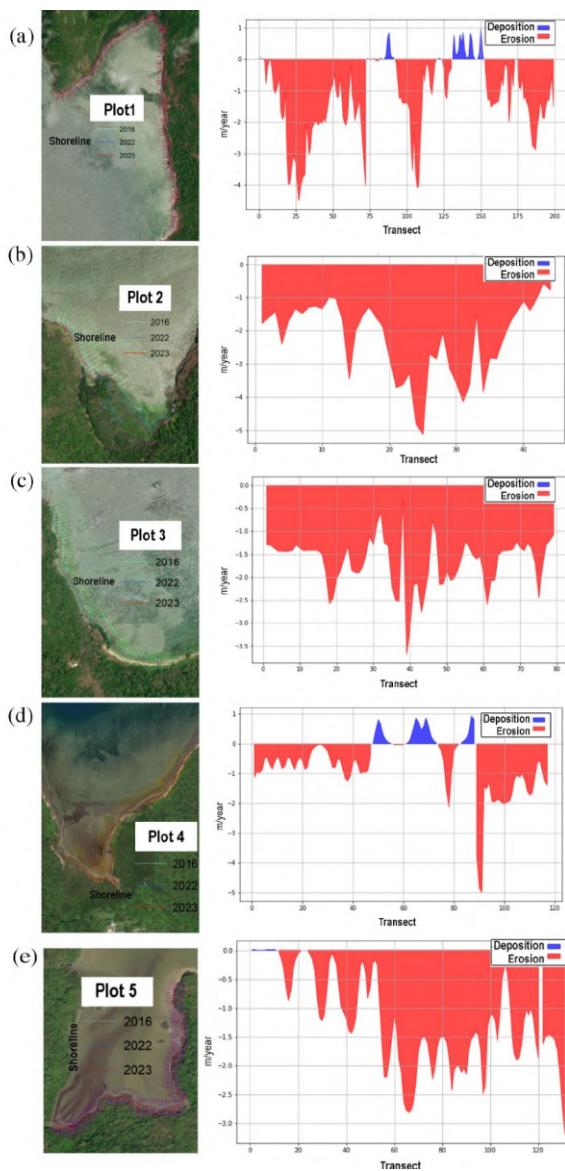


Fig. 4. Shoreline evolution in Con Dao National park, Ba Ria – Vung Tau Province, Vietnam

Once the annual shorelines of the Con Dao islands were identified, the DSAS software was utilized to examine shoreline changes over time and space. Each shoreline was assigned attributes such as date, length, and shape. To ensure accuracy, a baseline was established 500 meters from the shoreline using buffering techniques. This method is considered the most precise and reliable for defining the baseline, enabling a detailed analysis of shoreline dynamics. By applying this approach, the study effectively tracks coastal evolution, supporting better understanding and management of shoreline changes in response to environmental and climatic factors.

The novelty of this study lies in providing information on the impacts of NMF on the coastal erosion dynamics and erosion risks in Dam Quoc and four other NMF-distributed locations in the area. The data in Fig. 4 illustrated the erosion risks with varying degrees of shoreline retreat. The highest erosion risks are observed in plots 2, 3, and 5, with shoreline fluctuations ranging from -3.1 m to -5 m. Meanwhile, plot 1 and plot 4 concurrently exhibit erosion and accretion risks, although erosion predominates. The erosion/accretion rates in these areas are calculated from the forest edge with the degree of exposure to contrasting waves, as follows: NMF of plot 1: EPR values range from 1.61 to -4.5 m/year. NMF plot 2: EPR values range from -0.6 to -5.1 m/year. NMF of Plot 3: EPR values range from -1.3 to -3.7 m/year. NMF of Plot 4: EPR values range from 0.9 to -5 m/year. NMF of Plot 5: EPR values range from 0.1 to -3.2 m/year.

Conclusion

This study sheds light on critical environmental challenges affecting the distribution of *Bruguiera hainesii* in the Dam Quoc area, Hon Ba Island, within Con Dao National Park. The findings indicate that the soil exhibits poor nutrient levels, particularly low P_2O_5 , while heavy metal concentrations remain within acceptable limits. However, ongoing industrialization and increasing maritime activities pose potential contamination risks. Furthermore, the mangrove ecosystem across five distinct areas faces considerable threats due to tidal dynamics and coastal regression. The EPR metric plays a vital role in tracking mangrove changes over time.

The combined effects of socio-economic development, environmental shifts, and climate change have significantly contributed to mangrove ecosystem degradation. Historical shoreline analysis from 2016 to 2023 offers valuable insights into coastal environmental changes, reflecting influences such as global warming, storm impacts, rising sea levels, pollution, and sedimentation. Understanding these shoreline variations is crucial for assessing long-term ecological dynamics and guiding conservation efforts.

For the highly vulnerable *B. hainesii* population in Dam Quoc, these findings highlight the urgent need for targeted conservation measures. Enhancing coastal resilience through sustainable management and habitat restoration is essential to mitigating future threats. This research provides critical data to support decision-making processes for regional managers, assisting in the development of strategies to safeguard and potentially expand the mangrove forest area that sustains *B. hainesii*.

Compliance with ethical standards. This article does not contain any studies with human participants performed by any of the authors.

Conflict of interest information. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Sponsorship information. This research was funded by the Basis project of Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center as part of a project dedicated to conserving genetic resources for *Bruguiera hainesii* C.G. Rogers 1919 in Vietnam, from 2023 to 2025 (*Vietnamese: Nghiên cứu bảo tồn và phát triển nguồn gen loài Vẹt hainesii (Bruguiera hainesii C.G. Rogers) cực kỳ nguy cấp ở Vườn quốc gia Côn Đảo, Bà Rịa - Vũng Tàu*).

Acknowledgements. We are grateful to the directorates of the Con Dao National park for their support of our fieldwork and for issuing relevant permits. We thank Le Hong Son (Department of Science and International Cooperation, Con Dao National park), Dau Nhu Kien, My Duy Hai and Thai Duc Tho (Hon Ba Forest Ranger, Con Dao National park) for their assistance in the field.

References

1. Chen, F., Chen, X., Van de Voorde, T., Roberts, D., Jiang, H., & Xu, W. (2020). Open water detection in urban environments using high spatial resolution remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 242, 111706. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111706>. EDN: <https://elibrary.ru/JAYNGI>
2. Dahdouh-Guebas, F., Jayatissa, L. P., Di Nitto, D., Bosire, J. O., Seen, D. L., & Koedam, N. (2005). How effective were mangroves as a defence against the recent tsunami? *Current Biology*, 15(12), R443–R447.
3. Ghosh, A., Schmidt, S., Fickert, T., & Nüsser, M. (2015). The Indian Sundarban mangrove forests: History, utilization, conservation strategies and local perception. *Diversity*, 7(2), 149–169. <https://doi.org/10.3390/d7020149>
4. Himmelstoss, E., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021). *Digital shoreline analysis system (DSAS) version 5.1 user guide*. US Geological Survey.
5. Isaac, A., Adu-Boahen, K., & Dadson, I. Y. (2023). Spatio-temporal shoreline movement of the Afram River in Ghana: The application of endpoint rate and net

- shoreline movement. *Journal of Social Science (JoSS)*, 2(7), 623–638. <https://doi.org/10.57185/joss.v2i7.97>. EDN: <https://elibrary.ru/BCZORB>
6. Ismarti, I., Ramses, R., Suheryanto, S., & Amelia, F. (2017). Heavy metals (Cu, Pb and Cd) in water and angel fish (*Chelmon rostractus*) from Batam coastal, Indonesia. *Omni-Akuatika*, 13(1), 78–84.
 7. Kruitwagen, G., Pratap, H. B., Covaci, A., & Wendelaar Bonga, S. E. (2008). Status of pollution in mangrove ecosystems along the coast of Tanzania. *Marine Pollution Bulletin*, 56(5), 1022–1030.
 8. Le, H. P., Ho, V. T., ..., & Dao, V. H. (2023). Heavy metals contamination in coastal waters of South Vietnam. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 52(4), 171–181.
 9. Maiti, S. K., & Chowdhury, A. (2013). Effects of anthropogenic pollution on mangrove biodiversity: A review. *Journal of Environmental Protection*, 4, 1428–1434.
 10. Ministry of Agriculture and Rural Development. (2006). *Vietnam forestry handbook*. Agriculture Publishing House.
 11. Nguyen, N. B. C., Duong, M. T., Truong, H. D., & Ly, V. L. (2021). Assessing the differences in soil environmental indicators in different habitats in the Cu Lao Dung area. *Dong Thap University Science Magazine*, 10(3), 56–63. (In Vietnamese). <https://doi.org/10.52714/dthu.10.3.2021.868>
 12. Nguyen, T. H. H. (2014). Research on carbon quantification in mangrove forest plantation soil in Nam Hung commune, Tien Hai District, Thai Binh Province. *Biology Journal*, 36(1), 51–57. (In Vietnamese).
 13. Nguyen, X. V., Tran, M. H., Le, T. D., & Papenbrock, J. (2017). An assessment of heavy metal contamination on the surface sediment of seagrass beds at the Khanh Hoa Coast, Vietnam. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 99, 728–734. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2191-6>. EDN: <https://elibrary.ru/YJYTBU>
 14. Pennings, S. C., Glazner, R. M., Hughes, Z. J., Kominoski, J. S., & Armitage, A. R. (2021). Effects of mangrove cover on coastal erosion during a hurricane in Texas, USA. *Ecology*, 102(4), e03309. <https://doi.org/10.1002/ecy.3309>. EDN: <https://elibrary.ru/LRKWMQ>
 15. Pham, M. P., Hoang, T. T. T., Pham, T. T., & Vu, D. D. (2025). Global range extension of bioclimatic zone of *Bruguiera hainesii* C. G. Rogers 1919 (Rhizophoraceae). *One Ecosystem*, 10, e142064.
 16. Minister of Science and Technology. (2004). *TCVN 7373:2004. The Vietnamese standard: defines the indicative range of total nitrogen content in major soil groups in Vietnam*.
 17. Minister of Science and Technology. (2004). *TCVN 7374:2004. The Vietnamese standard: defines the indicative range of total phosphorus content in major soil groups in Vietnam*.

18. Minister of Science and Technology. (2004). *TCVN 7375:2004. The Vietnamese standard: defines the indicative range of total potassium content in major soil groups in Vietnam*.
19. Thuan, N. N., Ty, T. V., Hung, T. V., Hong, H. T. C., Nhan, H. N., Lam, T. H., ..., & Quang, T. M. (2013). Assessment of wave reduction effectiveness of detached breakwaters along the West coast of Ca Mau Province. *Journal of Hydro-Meteorology*, 732, 93–105. (In Vietnamese). ISSN 2525-2208.
20. Tran, Q. B. (2011). Effect of mangrove forest structures on wave attenuation in coastal Vietnam. *Oceanologia*, 53(3), 807–818.
21. Tran, V. H., Hoang, T. T. T., Pham, M. P., Vu, D. G., Nguyen, Q. K., & Vu, D. D. (2023). Complete chloroplast genome of endangered *Bruguiera hainesii* C. G. Rogers 1919 and phylogenetic analysis with associated species. *Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ)*, 7(4), 590–597. https://doi.org/10.4103/bbrj.bbrj_218_23. EDN: <https://elibrary.ru/HKRVWE>
22. Usmadi, D., Witono, J. R., Suhardjono Prawiroatmodjo, I. A., Fijridiyanto, D. S., Gumilang, A. R., Sabran, M., & Waliansyah, T. (2022). Vegetation analysis of Sungai Tembiluk Sungai Air Mata mangrove forest: A proposed site of Ketapang botanical garden in West Kalimantan. *Pakistan Journal of Botany*, 54(4), 1475–1484. [https://doi.org/10.30848/PJB2022-4\(43\)](https://doi.org/10.30848/PJB2022-4(43)). EDN: <https://elibrary.ru/WHMRUK>
23. Wu, J., Lu, J., Zhang, C., Zhang, Y., Lin, Y., & Xu, J. (2020). Pollution, sources, and risks of heavy metals in coastal waters of China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(8), 2011–2026. <https://doi.org/10.1080/10807039.2019.1634466>
24. Xu, Y. S., Zhang, D. X., Shen, S. L., & Chen, L. Z. (2009). Geo-hazards with characteristics and prevention measures along the coastal regions of China. *Natural Hazards*, 49, 479–500. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9296-5>. EDN: <https://elibrary.ru/TBZUUB>
25. Yan, Z., Sun, X., Xu, Y., Zhang, Q., & Li, X. (2017). Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: A review. *Current Pollution Reports*, 3, 302–317. <https://doi.org/10.1007/s40726-017-0066-4>. EDN: <https://elibrary.ru/WNYIZC>
26. Zhang, Z. W., Xu, X. R., Sun, Y. X., Yu, S., Chen, Y. S., & Peng, J. X. (2014). Heavy metal and organic contaminants in mangrove ecosystems of China: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, 11938–11950. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3100-8>. EDN: <https://elibrary.ru/MNLERP>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Hoang Thi Thu Trang: data curation, formal analysis, writing original draft, writing review.

Pham Mai Phuong: data curation, formal analysis, writing original draft.

Pham Van Dien: supervision, writing review, editing.

Vu Dinh Duy: conceptualization, data curation, supervision, writing original draft, editing.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Hoang Thi Thu Trang, Primary Researcher, PhD Student

Vietnam National University of Forestry

Xuan Mai, Hanoi, Vietnam

Trangmim@gmail.com

Pham Mai Phuong, Primary Researcher, PhD Student

Joint Vietnam – Russia Tropical Science and Technology Research Center

Cau Giay, Hanoi, Vietnam

phamphuong911vh@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1588-418X>

Pham Van Dien, Professor

Vietnam National University of Forestry

Xuan Mai, Hanoi, Vietnam

Nguyen Quoc Khanh, Primary Researcher

Joint Vietnam – Russia Tropical Science and Technology Research Center

Cau Giay, Hanoi, Vietnam

quockhanhydro@gmail.com

Trinh Le Hung, Lecturer, Associate Professor

Le Quy Don Technical University

Nghia Do, Hanoi, Vietnam

trinhlehung@lqdtu.edu.vn

Vu Dinh Duy, Primary Researcher, Doctor, Lecturer

Joint Vietnam – Russia Tropical Science and Technology Research Center

Cau Giay, Hanoi, Vietnam

duydingvu87@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5677-6965>

Поступила 20.12.2024

После рецензирования 16.03.2025

Принята 14.04.2025

Received 20.12.2024

Revised 16.03.2025

Accepted 14.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1301

EDN: ELYYKI

УДК 581.5



Научная статья

НАДЗЕМНАЯ И ПОДЗЕМНАЯ ФИТОМАССА МАРШЕВЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА САХАЛИН (ЗАЛИВ АНИВА)

*И.О. Рожкова-Тимина, М.В. Павлов, А.О. Горбунов, А.В. Уба,
А.И. Левицкий, О.А. Кораблев, В.В. Афанасьев*

Аннотация

Обоснование. Прибрежные марши – местообитания, образуемые в устьях рек и на илистых береговых осушках побережий приливных морей и заселенные галофитными фитоценозами. Их биологическая продуктивность вносит серьезный вклад в глобальный углеродный цикл.

Цель. Оценить продуктивность надземной и подземной фитомассы маршевых растительных сообществ в заливе Анива (юг о. Сахалин).

Материалы и методы. Исследования проводили в августе 2024 года в заливе Анива на нескольких профилях, проложенных от линии моря вглубь острова, и в одной внепрофильной точке (прирусловой вал устья р. Сусуя). Были выполнены геоботанические описания и отбор укосов для определения величин надземной и подземной фитомассы. При обработке материалов в программе Statistica 7.0 пользовались методами непараметрической статистики (критерий Краскелла-Уоллиса, $p < 0,01$).

Результаты. В фазу максимального развития травостоя запасы зеленой фитомассы в надземной части составили от 105,07 до 304,03 г/м², мертмассы – от 0 до 330,56 г/м² (из них масса ветоши максимально составила 160,9 г/м², подстилки – 179,06 г/м²). На прирусловом валу отсутствует ветошь, но представлено большое количество подстилки. На всех точках обследуемой площади количество подстилки больше количества ветоши, но меньше зеленой массы. Были получены близкие значения насыщенности корнями слоев 0-10 см и 10-20 см. В слое 20-30 см наблюдается небольшое снижение корневой массы. В слоях 30-40 см и 40-50 см количество подземной биомассы стремится к нулю.

Заключение. На всей исследуемой площади было обнаружено отсутствие активного разложения и минерализации растительных остатков. Основная корневая масса сосредоточена в слое почвы до глубины 30 см, затем ее количество резко сокращается.

Ключевые слова: прибрежные марши; растительные сообщества; надземная фитомасса; подземная фитомасса; корни; Сахалин

Для цитирования. Рожкова-Тимина, И. О., Павлов, М. В., Горбунов, А. О., Уба, А. В., Левицкий, А. И., Кораблев, О. А., & Афанасьев, В. В. (2025). Надземная и подземная фитомасса маршевых растительных сообществ в южной части острова Сахалин (залив Анива). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 185-202. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1301>

Original article

ABOVEGROUND AND UNDERGROUND PHYTOMASS OF COASTAL PLANT COMMUNITIES IN THE SOUTHERN PART OF SAKHALIN ISLAND (ANIVA BAY)

*I.O. Rozhkova-Timina, M.V. Pavlov, A.O. Gorbunov, A.V. Uba,
A.I. Levitsky, O.A. Korablev, V.V. Afanas'ev*

Abstract

Background. Coastal marshes are habitats formed at river mouths and on silty coasts of tidal seas and covered by halophytic phytocoenoses. Their biological productivity makes a significant contribution to the global carbon cycle.

Purpose. Assess the productivity of aboveground and underground phytomass of marsh plant communities in Aniva Bay (south of Sakhalin Island).

Materials and methods. The studies were conducted in August 2024 in Aniva Bay on several transects (from the sea line to the inland) and at one off-profile plot (levee at the Susuya River mouth). Relevés were made and selection of the mowed grass to determine the values of aboveground and underground phytomass was carried out. Nonparametric statistics methods were used (Kruskall-Wallis test, $p < 0.01$) in the Statistica 7.0 software.

Results. At the period of most active growth of vegetation, the green phytomass in the aboveground part ranged from 105.07 to 304.03 g/m², mortmass – from 0 to 330.56 g/m² (where the maximum standing dead plant biomass was 160.9 g/m², lit-

ter – 179.06 g/m²). There was no standing dead plant biomass on the riverbank, but a large amount of litter. At all plots of the studied area, the mass of litter is greater than the standing dead plant biomass, but less than the green mass. Close values of root quantity of the 0–10 cm and 10–20 cm layers were obtained. A slight decrease in root mass is observed in the 20–30 cm layer. In the 30–40 cm and 40–50 cm layers, the amount of underground biomass is close to zero.

Conclusion. The absence of active decomposition and mineralization of plant residues was found throughout the entire study area. The highest root mass is concentrated in the soil layer to a depth of 30 cm, then its quantity sharply decreases.

Keywords: coastal marshes; plant communities; aboveground phytomass; underground phytomass; roots; Sakhalin

For citation. Rozhkova-Timina, I. O., Pavlov, M. V., Gorbunov, A. O., Uba, A. V., Levitsky, A. I., Korablev, O. A., & Afanas'ev, V. V. (2025). Aboveground and underground phytomass of coastal plant communities in the southern part of Sakhalin Island (Aniva Bay). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 185-202. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1301>

Введение

В устьях рек и на илистых береговых осушках побережий приливных морей формируются так называемые марши – соленые и богатые углеродом местообитания, заселенные галофитными растительными сообществами [16]. Эти фитоценозы (еще называемые маршевыми лугами или растительностью прибрежных маршей) подвергаются регулярному воздействию морских вод за счет приливной деятельности моря и штормов [24], а также через грунтовые воды [10].

В России растительность маршевых лугов достаточно подробно изучена на побережьях арктических морей: Белое море [3; 10], Баренцево море [1; 2; 4], Берингово море [5]; есть данные о маршевых лугах Карского, Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых [11]. При этом в литературе нет данных об их биологической продуктивности, которая является важнейшей функциональной характеристикой экосистем и используется для отражения устойчивости фитоценозов.

В последние годы изучение лугов стали проводить для оценки влияния климатических и гидрологических факторов на биоразнообразие [19; 23]; продуктивность лугов оценивается с позиции их вклада в глобальный углеродный цикл [15; 17; 22]. Эти экосистемы хранят значительную часть углерода, и смещение углеродного баланса лугов может привести к увеличению эмиссии диоксида углерода [18; 20; 21]. Море при этом можно

рассматривать как важнейший регулятор транспорта растворенного углерода и связанных с ним элементов от суши к океану.

Ранее мы приводили классификацию травяной растительности прибрежных маршей Охотского моря [8]. Так же в 2023 году нами были начаты исследования продуктивности маршевых травяных сообществ на побережье Охотского моря и предпринята попытка оценки корреляции между удаленностью от моря и продуктивностью сообществ, однако полученные данные требовали уточнения [9]. Научная новизна заключается в адекватной оценке продуктивности надземной и подземной фитомассы маршевых сообществ Охотского моря. Впервые отбор проб корневой массы проводился с различных глубин.

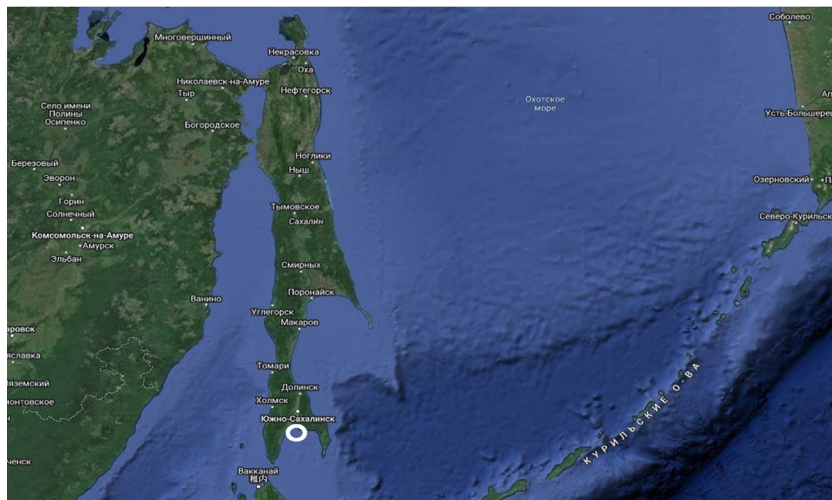
Материалы и методы

Исследования проводили в августе 2024 года на юге острова Сахалин (побережье бухты Лососей в верховье залива Анива). Часть работ проводилась на заложенных ранее ключевых площадках [9]. Также после дистанционного изучения территории при помощи крупномасштабных спутниковых снимков были выбраны дополнительные пробные площади для исследований.

Исследования проводились на нескольких профилях, проложенных от линии моря вглубь острова (ЦТр, Тр1, Тр2, Тр3), и в одной внепрофильной точке (прирусловой вал р. Сусуя; точка на карте и графиках обозначена «Вне»). Карта о. Сахалин и схема пробоотбора приведены на рис. 1. Точки пронумерованы по мере удаления от береговой линии (1, 2 – низкие марши, территория, затопляемая ежедневными приливами; 3 – средние марши, не заливаемые квадратными приливами; 4, 5 – высокие марши, территория, затопляемая штормовыми нагонами и сизигийными приливами).

На пробных площадях в фазу максимального развития травостоя были выполнены геоботанические описания и отбор укосов для определения величины надземной и подземной фитомассы. Описания производили на площади 100 м²; при этом отмечали общее проективное покрытие травостоя, его высоту, флористический состав и проективное покрытие каждого вида с последующим выявлением доминирующих видов [6]. Укосы брали с квадратов площадью 0,25 м² в пятикратной повторности с последующим перерасчетом в г/м². Отдельно учитывались отмершая часть надземной фитомассы (надземная мортмасса, включающая подстилку и ветошь) и корни (без дифференциации живых и мертвых корней). Ветошь – это отмершая часть растений, стоящая на корню; подстилка – отмершие и опавшие части растений [12]. Растения срезали на уровне почвы; укосы высушивали до воздушно-сухого

состояния и взвешивали на электронных лабораторных весах. Номенклатура растений приведена соответственно чек-листу С.К. Черепанова [14].



а)



б)

Рис. 1. Район исследований: а) – карта о. Сахалин. Точкой отмечено место проведения исследований; б) – схема проведения работ.

Пробы подземной фитомассы отбирали параллельно с надземной фитомассой. Для определения подземной фитомассы в центре каждой из пяти учетных площадок отбирали почвенные монолиты объемом 1000 см³ из слоев различной глубины [7; 13]. Необходимо уточнить, что это был первый год подобных работ, вследствие чего одной из задач стало определить необходимое количество слоев. Подземная фитомасса отмывалась от почвы с использованием сита с отверстием 0,5 мм.

При обработке материалов в программе Statistica 7.0 пользовались методами непараметрической статистики (критерий Краскелла-Уоллиса, $p < 0,01$).

Результаты и обсуждение

Геоботаническая характеристика пробных площадей. Низкие марши характеризуются относительно небольшой высотой травостоя (от 30 до 50 см). Среднее проективное покрытие 70 %. К доминантным видам относятся *Carex subspathacea*, *Triglochin maritimum*, *Stellaria humifusa*, *Glaux maritima*.

Верхние марши имеют более высокий и густой травостой (средняя высота – 150 см, проективное покрытие – 75 %). Доминантные виды: *Phragmites australis*, *Lobelia sessilifolia*, *Rubus arcticus*, *Carex cryptocarpa*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Sanguisorba tenuifolia*. Нередко побеги *Phragmites australis* достигают высоты 190 см.

На средних маршах отмечены травы, характерные для низких (*Carex subspathacea*, *Triglochin maritimum*, *Stellaria humifusa*) и высоких (*Phragmites australis*, *Carex cryptocarpa*) маршей. Кроме этого, там распространены *Arctopoa eminens*, *Juncus haenkei*, *Potentilla anserina*.

Травостой на прирусловом вале (внепрофильная точка) состоит из двух видов злаков: *Leymus mollis* (ПП 30 %) и *Phragmites australis* (ПП 70 %). Средняя высота травостоя 130 см.

По профилям видовой состав фитоценоза можно охарактеризовать следующим образом:

ЦТр. Высота травостоя 40 см, проективное покрытие 70%. Доминантные виды: *Carex subspathacea*, *Fimbripetalum radians*, *Triglochin maritimum*, *Potentilla anserina*.

Тр1. Высота травостоя от 30 см на нижних маршах до 180 см на верхних. Проективное покрытие от 50 до 100%. Доминантные виды: *Carex subspathacea*, *Stellaria humifusa*, *Triglochin maritimum*, *Arctopoa eminens*, *Rubus arcticus*, *Dactylis glomerata*, *Potentilla anserina*, *Leymus mollis*, *Phragmites australis*.

Тр2. Высота травостоя от 30 см на нижних маршах до 160 см на средних и верхних. Проективное покрытие от 50 до 100%. Доминантные виды: *Triglochin maritimum*, *Stellaria humifusa*, *Carex subspathacea*, *Lobelia sessilifolia*, *Phragmites australis*, *Calamagrostis langsdorffii*, *Leymus mollis*. Кроме того, профиль Тр2 – единственный, где был отмечен мох *Polytrichum sp.*

Тр3. Высота травостоя 150–190 см. Проективное покрытие от 50 до 80%. Фитоценозы представлены главным образом *Phragmites australis*, в меньшей степени *Lobelia sessilifolia*, *Maianthemum bifolium*, *Naumburgia thyrsiflora*, *Sanguisorba tenuifolia*, *Thermopsis lupinoides*.

Таблица 1.

Показатели продуктивности надземной фитомассы на прибрежных маршах залива Анива, г/м²

Точка	Подстилка			Ветошь			Зеленая масса		
	Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс	Среднее	Мин	Макс	Среднее
Вне	92,62	291,36	126,18	0,00	0,00	0,00	117,41	187,25	123,23
ЦТр 1-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,53	198,84	135,73
ЦТр 1-2	118,93	238,85	179,06	0,00	178,99	95,59	218,47	357,86	304,03
Тр 2-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,00	152,44	110,09
Тр 2-2	0,00	25,60	5,12	0,00	0,00	0,00	90,74	181,71	115,74
Тр 2-3	49,84	375,64	169,67	82,63	252,34	160,90	106,79	221,01	162,29
Тр 2-4	16,59	74,62	41,46	23,08	73,20	43,03	54,09	182,25	105,07
Тр 2-5	60,26	136,88	100,30	7,45	67,91	42,33	75,30	174,84	127,57
Тр 1-1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,98	204,60	144,09
Тр 1-2	19,69	222,86	108,82	0,00	37,51	7,50	154,20	261,78	190,67
Тр 1-3	38,53	157,34	76,25	0,00	122,69	85,23	113,64	152,03	126,02
Тр 1-4	30,41	111,08	62,48	33,45	228,65	125,51	129,28	198,67	168,44
Тр 1-5	45,44	184,48	91,40	69,99	195,38	103,69	120,68	180,01	141,14
Тр 3-2	3,24	132,13	44,31	36,54	145,30	71,35	194,51	478,42	286,89
Тр 3-3	10,84	205,01	93,14	33,77	244,55	109,44	69,82	188,87	125,11

Продуктивность надземной фитомассы. На исследованных территориях прибрежных маршей в фазу максимального развития травостоя запасы зеленой фитомассы в надземной части составили от 105,07 до 304,03 г/м², мортмассы – от 0 до 330,56 г/м² (из них масса ветоши максимально составила 160,9 г/м², подстилки – 179,06 г/м²) (табл. 1). Это не очень высокие показатели, которые можно объяснить следующими наблюдениями. Отли-

чительной особенностью низких маршей оказалось, что на них отсутствует надземная мортмасса. Логично предположить, что она вымывается с берегов приливно-отливной деятельностью моря. На прирусловом валу устья р. Сусуя (внепрофильная точка) отсутствует ветошь, но представлено большое (в сравнении с профильными точками) количество подстилки. В целом на всех точках обследуемой площади количество подстилки больше количества ветоши, но меньше зеленой массы, что говорит о слабом протекании процессов разложения и минерализации растительных остатков. Лишь на верхних точках профиля Tr1 (Tr1-4 и Tr1-5), профиля Tr2 (Tr2-3 и Tr2-4) и профиле Tr3 отмечены другие тенденции. Точка Tr2-3 показала примерно одинаковые средние значения всех составляющих надземной фитомассы, в остальных перечисленных точках масса ветоши превышает массу подстилки, но ниже, чем зеленая масса. Разложение растительных остатков здесь проходит еще медленнее, чем на остальной территории.

Для оценки разницы в биомассе на различных профилях мы сравнили показатели биомассы непараметрическим критерием Краскелл-Уоллиса ($p < 0,01$). Результаты представлены на рисунке 2.

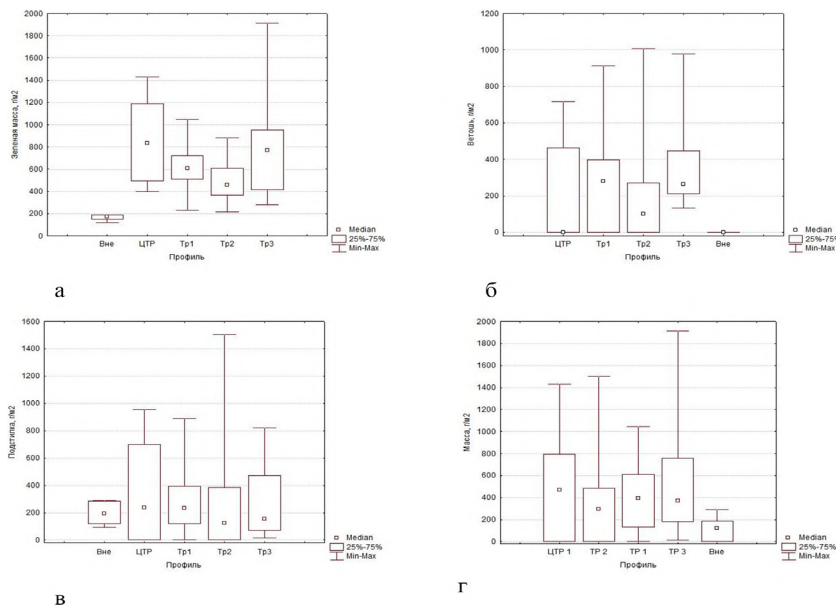


Рис. 2. Распределение биомассы по профилям: а – зеленая фитомасса, б – ветошь, в – подстилка, г – вся надземная фитомасса.

Мы видим, что значения зеленой фитомассы, отобранной на заложённых профилях, не показали статистически значимой разницы. От них отличается внепрофильная точка прируслового вала, где количество зеленой массы значительно меньше.

Медианное среднее значение массы ветоши находится в диапазоне от 0 до 300 г/м². На внепрофильной точке ветошь отсутствует, так же ветоши нет на точках низких маршей профилей Тр1 и Тр2.

Значения подстилки, несмотря на существенную разницу в минимальных и максимальных значениях, не показали статистически достоверных отличий в медианном значении. В целом из этого можно заключить, что продуктивность фитомассы на маршевых лугах залива Анива зависит от геоморфологических, гидрологических, почвенных и других факторов, а не от местоположения и видового состава фитоценоза.

Подземная фитомасса. Первый вопрос, который необходимо было выяснить: какие слои почв наиболее насыщены корнями, и следовательно, до какого слоя необходимо проводить исследования при дальнейшей работе.

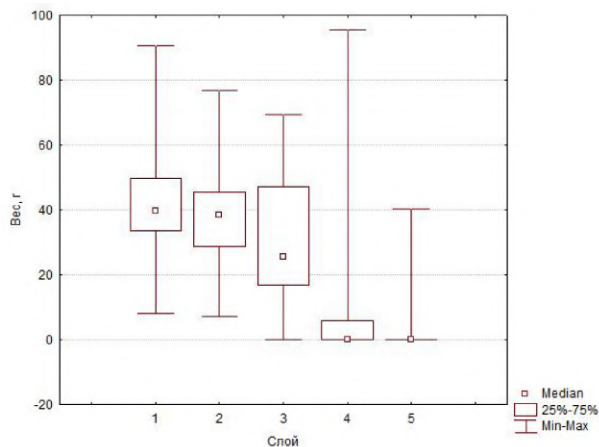


Рис. 3. Подземная фитомасса прибрежных маршей бухты Лососей: 1 – 0-10 см; 2 – 10-20 см; 3 – 20-30 см; 4 – 30-40 см; 5 – 40-50 см.

График на рисунке 3 наглядно показывает близкие значения насыщенности корнями слоев 0-10 см и 10-20 см. В слое 20-30 см наблюдается небольшое снижение корневой массы. В слоях 30-40 см и 40-50 см количество подземной биомассы стремится к нулю, из-за чего был сделан вывод о нецелесообразности отбора проб этих слоев при дальнейшей работе.

Более того, исследования почвенного монолита с такой глубины чреваты высокой погрешностью из-за сложностей в отборе.

При исследовании подземной фитомассы у нас не было цели определить степень различий между профилями, однако сравнить точки между собой было необходимо (рис. 4). Для корректного сравнения учитывались только верхние три слоя (0-30 см).

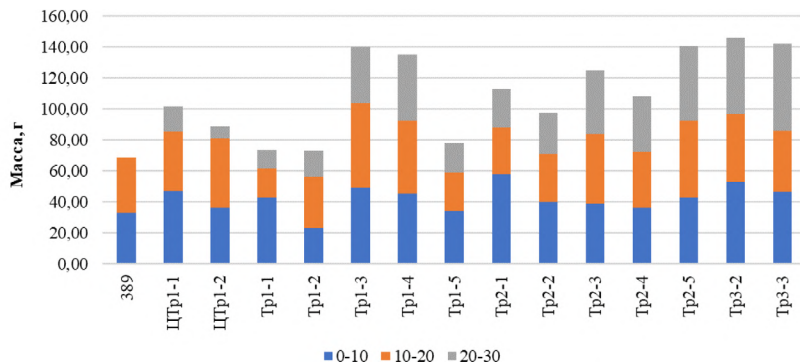


Рис. 4. Содержание подземной фитомассы в верхнем слое почв прибрежных маршей бухты Лососей (0-30 см).

На низких маршах ожидалось получить меньшее количество подземной фитомассы, чем на средних и верхних маршах. Частично это подтвердилось, (например, точки Тр1-1 и Тр1-2 против Тр1-3 и Тр1-4), но нет явно выраженного тренда. Точка Тр1-5, несмотря на то что находится на верхнем марше, показала малое количество корневой массы. На профиле Тр2 также нет тенденции к увеличению подземной фитомассы по мере продвижения вверх от береговой линии. Две точки профиля Тр3 продемонстрировали наиболее высокие значения биомассы, что, вероятно, связано с видовым составом фитоценоза: подавляющее (почти 100%) содержание *Phragmites australis*, который имеет крупные тяжелые корни. Внепрофильная точка прируслового вала показала средние значения корневой массы в двух верхних слоях и ей отсутствие в слое 20–30 см.

Заключение

В результате исследования продуктивности травянистых сообществ прибрежных маршей бухты Лососей залива Анива был сделан вывод, что продуктивность фитомассы на маршевых лугах залива Анива зависит от геоморфологических, гидрологических, почвенных и других факторов, а

не от местоположения и видового состава фитоценоза и нет необходимости в высокой плотности точек исследования. Основная корневая масса сосредоточена в слое почвы до глубины 30 см, затем ее количество резко сокращается. Эти данные будут использованы при планировании будущих исследований. Таким образом, полученные результаты продуктивности надземной и подземной фитомассы на прибрежных маршах юга о. Сахалин имеют методическое значение. Так же на всей исследуемой площади было обнаружено отсутствие активного разложения и минерализации растительных остатков. Разница продуктивности надземной фитомассы между заложенными профилями статистически незначима при $p < 0,01$, но от профилей отличается точка на прирусловом валу р. Сусуя.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Государственное задание FEFF-2024-0004 «Создание научных основ управления процессами поглощения и накопления углерода биоморфолитосистемами прибрежно-морских водно-болотных угодий и прилегающих морских акваторий».

Список литературы

1. Лавриненко, И. А. (2020). Типология и синтаксономический состав территориальных единиц растительности: новый подход на примере изучения арктических маршей. *Растительность России*, (39), 100–148. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.100>. EDN: <https://elibrary.ru/CQXCMQ>
2. Лапина, А. М., & Иванова, К. В. (2021). Синтаксономический состав и пространственная структура территориальных единиц растительности при-морских маршей Малоземельской тундры. *Фиторазнообразие Восточной Европы*, 15(3), 52–66. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-3-52-66>. EDN: <https://elibrary.ru/YDSNNB>
3. Мосеев, Д. С., Сергиенко, Л. А., Лещев, А. В., Брагин, А. В., Романов, Р. Е., & Чуракова, Е. Ю. (2021). Редкие растительные сообщества озёр и эстуариев рек Архангельской области. *Turczaninowia*, 24(3), 138–162. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.24.3.11>. EDN: <https://elibrary.ru/SFAMLH>
4. Мосеев, Д. С., Сергиенко, Л. А., Паринова, Т. А., & Волков, А. Г. (2021). Галофитная растительность южного побережья Печорской губы. *Ботанический журнал*, 106(11), 1050–1065. <https://doi.org/10.31857/s0006813621110053>. EDN: <https://elibrary.ru/FQRHUW>
5. Нешатаева, В. Ю., Нешатаев, В. Ю., Кораблев, А. П., & Кузьмина, Е. Ю. (2014). Растительность приморских маршей побережья залива Корфа

- (Олюторский район Камчатского края). *Ботанический журнал*, 99(8), 868–894. EDN: <https://elibrary.ru/SIQTPX>
6. *Полевая геоботаника* (Т. 1–4). (1959–1972). Москва; Ленинград.
 7. *Продуктивность луговых сообществ*. (1978). Ленинград: Наука. 287 с.
 8. Рожкова-Тимина, И. О. (2023). Растительность маршей прибрежно-морских водно-болотных угодий (карбоновый полигон в бухте Лососей, Южный Сахалин). *Процессы в геосредах*, (4(38)), 2215–2220. EDN: <https://elibrary.ru/IAWGDA>
 9. Рожкова-Тимина, И. О., Кораблев, О. А., & Павлов, М. В. (2024). Структура и продуктивность растительности прибрежных маршей южной части о. Сахалин (карбоновый полигон в бухте Лососей). *Процессы в геосредах*, (2(40)), 2462–2466. EDN: <https://elibrary.ru/GEBURI>
 10. Сергиенко, Л. А., Дьячкова, Т. Ю., & Андросова, В. И. (2020). Флористическое богатство и насыщенность приморских растительных сообществ с доминированием *Triglochin maritima* L. (Juncaginaceae) на побережье северных морей. *Национальная Ассоциация Учёных*, (53-1(53)), 17–20. EDN: <https://elibrary.ru/WSRTLС>
 11. Сергиенко, Л. А., & Мосеев, Д. С. (2015). Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика флороценотического комплекса побережий Российской Арктики. *Учёные записки Петрозаводского государственного университета*, (6(151)), 28–33. EDN: <https://elibrary.ru/VCDNRN>
 12. Тилянова, А. А., Базилевич, Н. И., Снытко, В. А., & Ильин, В. Б. (1988). *Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности*. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 131 с. ISBN: 5-02-028879-9. EDN: <https://elibrary.ru/RXLFGР>
 13. Тилянова, А. А., Косых, Н. П., Миронычева-Токарева, Н. П., & Романова, И. П. (1996). *Подземные органы растений в травяных экосистемах*. Новосибирск: Наука. 128 с. ISBN: 5-02-031220-7. EDN: <https://elibrary.ru/YVNGKK>
 14. Черепанов, С. К. (1995). *Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР)*. Санкт-Петербург: Мир и семья. 992 с.
 15. Шепелева, Л. Ф., Пудова, М. С., Леденева, Е. А., & Колесниченко, Л. Г. (2023). Надземная и подземная фитомассы луговых сообществ поймы Средней Оби (Кривошеинский район Томской области). *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*, 16(4), 454–470. EDN: <https://elibrary.ru/QIXPYE>

16. Campbell, A., Fatoyinbo, L., Goldberg, L., & Lagomasino, D. (2022). Global hotspots of salt marsh change and carbon emissions. *Nature*, 612(7941), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05355-z>. EDN: <https://elibrary.ru/MMVHIX>
17. Chen, N., Zhu, J., Zhang, Y., Liu, Y., Li, J., Zu, J., & Huang, K. (2019). Nonlinear response of ecosystem respiration to multiple levels of temperature increases. *Ecology and Evolution*, 9(3), 925–937. <https://doi.org/10.1002/ece3.4658>
18. Ganjurjav, H., Hu, G., Gornish, E., Zhang, Y., Li, Y., Yan, Y., Wu, H., Yan, J., He, S., Danjiu, L., & Gao, Q. (2022). Warming and spring precipitation addition change plant growth pattern but have minor effects on growing season mean gross gross ecosystem productivity in an alpine meadow. *Science of the Total Environment*, 841, 156712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156712>. EDN: <https://elibrary.ru/HBHYLH>
19. Hossain, L., Kabir, H., Nila, U. S., & Rubaiyat, A. (2021). Response of grassland net primary productivity to dry and wet climatic events in four grassland types in Inner Mongolia. *Plant-Environment Interactions*, 2(5), 250–262. <https://doi.org/10.1002/pei3.10064>. EDN: <https://elibrary.ru/DHGIGF>
20. Nkrumah, T., Meiling, Z., Stephen, N., & Xingyu, W. (2022). Response of carbon budget to climate change of the alpine meadow in Gannan using the CEN-TURY model. *Journal of Water and Climate Change*, 13(6), 2298–2318. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.362>. EDN: <https://elibrary.ru/YJDRYB>
21. Quan, Q., Zhang, F., Meng, C., Meng, C., Ma, F., Niu, S., & Zhou, Q. (2020). Shifting biomass allocation determines community water use efficiency under climate warming. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba472>. EDN: <https://elibrary.ru/GDMJFF>
22. Zhang, B., Cadotte, M., Chen, S., Tan, X., You, C., Ren, T., Chen, M., Wang, S., Li, W., Chu, C., Jiang, L., Bai, Y., Huang, J., & Han, X. (2019). Plants alter their vertical root distribution rather than biomass allocation in response to changing precipitation. *Ecology*, 100(11), e02828. <https://doi.org/10.1002/ecy.2828>. EDN: <https://elibrary.ru/DNLYKB>
23. Zhang, L., Gao, J., Tang, Z., & Jiao, K. (2021). Quantifying the ecosystem vulnerability to drought based on data integration and processes coupling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301–302, 108354. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.1083>. EDN: <https://elibrary.ru/NUXYBI>
24. Zhang, W., Ge, Z., Li, S., Tan, L., Zhou, K., Li, Y., Xie, L., & Dai, Z. (2022). The role of seasonal vegetation properties in determining the wave attenuation capacity of coastal marshes: Implications for building natural defenses. *Ecological Engineering*, 175, 106494. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106494>. EDN: <https://elibrary.ru/GUGVBO>

References

1. Lavrinenko, I. A. (2020). Typology and syntaxonomic composition of vegetation territorial units: a new approach using the example of Arctic marshes. *Vegetation of Russia*, (39), 100–148. <https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.39.100>. EDN: <https://elibrary.ru/CQXCMQ>
2. Lapina, A. M., & Ivanova, K. V. (2021). Syntaxonomic composition and spatial structure of vegetation territorial units of seaside marshes in the Malozemel'skaya tundra. *Phytodiversity of Eastern Europe*, 15(3), 52–66. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-3-52-66>. EDN: <https://elibrary.ru/YDSNNB>
3. Moseev, D. S., Sergienko, L. A., Leshchev, A. V., Bragin, A. V., Romanov, R. E., & Churakova, E. Yu. (2021). Rare plant communities of lakes and river estuaries in Arkhangelsk Oblast. *Turczaninowia*, 24(3), 138–162. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.24.3.11>. EDN: <https://elibrary.ru/SFAMLH>
4. Moseev, D. S., Sergienko, L. A., Parinova, T. A., & Volkov, A. G. (2021). Halophytic vegetation of the southern coast of the Pechora Bay. *Botanical Journal*, 106(11), 1050–1065. <https://doi.org/10.31857/s0006813621110053>. EDN: <https://elibrary.ru/FQRHUW>
5. Neshataeva, V. Yu., Neshataev, V. Yu., Korablev, A. P., & Kuzmina, E. Yu. (2014). Vegetation of seaside marshes along the coast of Korf Bay (Olyutorsky District, Kamchatka Krai). *Botanical Journal*, 99(8), 868–894. EDN: <https://elibrary.ru/SIQTPX>
6. *Field geobotany* (Vols. 1–4). (1959–1972). Moscow; Leningrad.
7. *Productivity of meadow communities*. (1978). Leningrad: Nauka. 287 p.
8. Rozhkova-Timina, I. O. (2023). Vegetation of marshes in coastal wetlands (carbon polygon in Lososi Bay, South Sakhalin). *Processes in Geomediums*, (4(38)), 2215–2220. EDN: <https://elibrary.ru/IAWGDA>
9. Rozhkova-Timina, I. O., Korablev, O. A., & Pavlov, M. V. (2024). Structure and productivity of vegetation in coastal marshes of southern Sakhalin Island (carbon polygon in Lososi Bay). *Processes in Geomediums*, (2(40)), 2462–2466. EDN: <https://elibrary.ru/GEBURI>
10. Sergienko, L. A., Dyachkova, T. Yu., & Androsova, V. I. (2020). Floristic richness and saturation of seaside plant communities dominated by *Triglochin maritima* L. (Juncaginaceae) along the coasts of northern seas. *National Association of Scientists*, (53-1(53)), 17–20. EDN: <https://elibrary.ru/WSRTLCL>
11. Sergienko, L. A., & Moseev, D. S. (2015). Taxonomic structure and ecological-geographical characteristics of the floristic-coenotic complex of the Russian Arctic coasts. *Proceedings of Petrozavodsk State University*, (6(151)), 28–33. EDN: <https://elibrary.ru/VCDNRN>

12. Tilyanova, A. A., Bazilevich, N. I., Snytko, V. A., & Ilyin, V. B. (1988). *Biological productivity of grass ecosystems. Geographical patterns and ecological features*. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch. 131 p. ISBN: 5-02-028879-9. EDN: <https://elibrary.ru/RXLFGFR>
13. Tilyanova, A. A., Kosykh, N. P., Mironycheva-Tokareva, N. P., & Romanova, I. P. (1996). *Underground plant organs in grass ecosystems*. Novosibirsk: Nauka. 128 p. ISBN: 5-02-031220-7. EDN: <https://elibrary.ru/YVNGKK>
14. Cherepanov, S. K. (1995). *Vascular plants of Russia and adjacent states (within the former USSR)*. St. Petersburg: Mir i Semya. 992 p.
15. Shepeleva, L. F., Pudova, M. S., Ledeneva, E. A., & Kolesnichenko, L. G. (2023). Aboveground and underground phytomass of meadow communities in the floodplain of the Middle Ob River (Krivosheinsky District, Tomsk Oblast). *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 16(4), 454–470. EDN: <https://elibrary.ru/QIXPYE>
16. Campbell, A., Fatoyinbo, L., Goldberg, L., & Lagomasino, D. (2022). Global hotspots of salt marsh change and carbon emissions. *Nature*, 612(7941), 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05355-z>. EDN: <https://elibrary.ru/MMVHIX>
17. Chen, N., Zhu, J., Zhang, Y., Liu, Y., Li, J., Zu, J., & Huang, K. (2019). Nonlinear response of ecosystem respiration to multiple levels of temperature increases. *Ecology and Evolution*, 9(3), 925–937. <https://doi.org/10.1002/ece3.4658>
18. Ganjurjav, H., Hu, G., Gornish, E., Zhang, Y., Li, Y., Yan, Y., Wu, H., Yan, J., He, S., Danju, L., & Gao, Q. (2022). Warming and spring precipitation addition change plant growth pattern but have minor effects on growing season mean gross ecosystem productivity in an alpine meadow. *Science of the Total Environment*, 841, 156712. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156712>. EDN: <https://elibrary.ru/HBHYLH>
19. Hossain, L., Kabir, H., Nila, U. S., & Rubaiyat, A. (2021). Response of grassland net primary productivity to dry and wet climatic events in four grassland types in Inner Mongolia. *Plant Environment Interactions*, 2(5), 250–262. <https://doi.org/10.1002/pei3.10064>. EDN: <https://elibrary.ru/DHGIGF>
20. Nkrumah, T., Meiling, Z., Stephen, N., & Xingyu, W. (2022). Response of carbon budget to climate change of the alpine meadow in Gannan using the CEN-TURY model. *Journal of Water and Climate Change*, 13(6), 2298–2318. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.362>. EDN: <https://elibrary.ru/YJDRYB>
21. Quan, Q., Zhang, F., Meng, C., Meng, C., Ma, F., Niu, S., & Zhou, Q. (2020). Shifting biomass allocation determines community water use efficiency under climate warming. *Environmental Research Letters*, 15(9), 094041. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba472>. EDN: <https://elibrary.ru/GDMJFF>

22. Zhang, B., Cadotte, M., Chen, S., Tan, X., You, C., Ren, T., Chen, M., Wang, S., Li, W., Chu, C., Jiang, L., Bai, Y., Huang, J., & Han, X. (2019). Plants alter their vertical root distribution rather than biomass allocation in response to changing precipitation. *Ecology*, 100(11), e02828. <https://doi.org/10.1002/ecy.2828>. EDN: <https://elibrary.ru/DNLYKB>
23. Zhang, L., Gao, J., Tang, Z., & Jiao, K. (2021). Quantifying the ecosystem vulnerability to drought based on data integration and processes coupling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301–302, 108354. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.1083>. EDN: <https://elibrary.ru/NUXYBI>
24. Zhang, W., Ge, Z., Li, S., Tan, L., Zhou, K., Li, Y., Xie, L., & Dai, Z. (2022). The role of seasonal vegetation properties in determining the wave attenuation capacity of coastal marshes: Implications for building natural defenses. *Ecological Engineering*, 175, 106494. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106494>. EDN: <https://elibrary.ru/GUGVBO>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Рожкова-Тимина Инна Олеговна, кандидат биологических наук

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет

ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация

inna.timina@mail.ru

Павлов Максим Викторович

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет

ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация

Горбунов Алексей Олегович, кандидат географических наук

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет; ФГБУН

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация; ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Российская Феде-

рация

Уба Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет; ФГБУН

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН

ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация; ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Российская Феде-

рация

Левицкий Александр Игоревич

*ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет; ФГБУН
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация;
ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Российская Федерация*

Кораблев Олег Андреевич

*ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет
ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация*

Афанасьев Виктор Викторович, доктор географических наук

*ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет; ФГБУН
Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
ул. Ленина, 290, г. Южно-Сахалинск, 693020, Российская Федерация;
ул. Науки, 1Б, г. Южно-Сахалинск, 693022, Российская Федерация*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inna O. Rozhkova-Timina, PhD in Biology

*Sakhalin State University
290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation
inna.timina@mail.ru*

Maxim V. Pavlov

*Sakhalin State University
290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation*

Aleksey O. Gorbunov, PhD in Geography

*Sakhalin State University; Institute of Marine Geology and Geophysics
290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation; 1B,
Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation*

Aleksey V. Uba

*Sakhalin State University; Institute of Marine Geology and Geophysics
290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation; 1B,
Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation*

Aleksandr I. Levitsky

*Sakhalin State University; Institute of Marine Geology and Geophysics
290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation; 1B,
Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation*

Oleg A. Korablev*Sakhalin State University**290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation***Viktor V. Afanas'ev**, Doctor of Geographic Sciences*Sakhalin State University; Institute of Marine Geology and Geophysics**290, Lenin Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693020, Russian Federation; 1B,**Nauki Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russian Federation*

Поступила 20.02.2025

После рецензирования 29.04.2025

Принята 19.05.2025

Received 20.02.2025

Revised 29.04.2025

Accepted 19.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1252

EDN: BKOHHF

UDC 57.042



Original article

REFORESTATION AT LARGE BURNT AREAS IN MIDDLE TAIGA OF THE WESTERN SIBERIA

*S.N. Gashev, M.N. Kazantseva, S.P. Aref'ev, A.V. Soromotin,
E.A. Bykova, N.V. Sorokina*

Abstract

Background. In forested regions of Russia, hundreds of thousands of hectares of forest are destroyed by wildfires every year. As a result, the success of natural forest regeneration in large-scale fire-affected areas is a relevant issue. In addition, our task was to examine how various forest types respond to wildfire and the regeneration patterns in the region.

Purpose. The study was to examine forest restoration in the middle taiga of the West Siberian Plain.

Material and methods. This study was carried out in the Nizhnevartovsk district of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug (KhMAO-Yugra). 20 large-scale fire-affected areas were surveyed six years after the wildfires, covering a total area of 105.29 thousand hectares. The data for this study were collected by field surveys of fire-affected areas in pine and stone pine forests, representing the main variants of pre-fire forest growth conditions (groups of forest types).

Results. The study showed that among conifers, *Pinus sylvestris* L. regenerates better. In productive pine forest types (lingonberry, green-moss, long-moss), the number of pine seedlings ranges from 11.8 to 23.4 thousand/ha. In extreme dry (lichen) and wet (sphagnum) forest types, pine regeneration is unsatisfactory. *Pinus sibirica* Du Tour colonizes the burnt areas primarily through the *Nucifraga caryocatactes* L. and the *Eutamias sibiricus* Laxmann. This study provided significant insights into the ecological recovery of different forest types. Stone pine regeneration can only be considered successful in green-moss stone pine forests (2.8 thousand/ha). The regeneration of deciduous trees - *Betula pubescens* Ehrh. and *Populus tremula* L. is significantly more numerous than conifers in all fire-affected areas (except for lichen types). Its quantity in productive forest types reaches 40 thousand/ha.

Conclusion. In general, forest restoration is proceeding successfully in most of the surveyed fire-affected areas; more than 90% of the surveyed area can be considered forest-covered.

Keywords: Western Siberia; burnt areas; pine forests; Siberian stone; natural reforestation; undergrowth

For citation. Gashev, S. N., Kazantseva, M. N., Aref'ev, S. P., Soromotin, A. V., Bykova, E. A., & Sorokina, N. V. (2025). Reforestation at large burnt areas in middle taiga of the Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 203-228. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1252>

Научная статья

ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА КРУПНЫХ ГАРЯХ В СРЕДНЕЙ ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*С.Н. Гашев, М.Н. Казанцева, С.П. Арефьев,
А.В. Соромотин, Е.А. Быкова, Н.В. Сорокина*

Аннотация

Обоснование. В многолесных регионах России ежегодно выгорают сотни тысяч гектаров леса. В связи с этим актуальным является вопрос успешности естественного возобновления леса на крупноплощадных гарях.

Цель. Изучить лесовосстановление в средней тайге Западно-Сибирской равнины, на территории Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО–Югра).

Материалы и методы. Обследовано 20 крупноплощадных гарей через 6 лет после лесных пожаров на общей площади 105,29 тыс. га. Объектами исследований послужили гари в сосновых и кедровых лесах, представленные основными вариантами допожарных лесорастительных условий (групп типов леса).

Результаты. Из хвойных лучше возобновляется сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). На гарях продуктивных типов сосняков (брусничные, зеленомошные, долгомошные) количество соснового подроста составляет от 11,8 до 23,4 тыс. шт./га, в крайних сухих (лишайниковые) и сырых (сфагновые) типах леса возобновление сосны неудовлетворительное. Заселение гарей кедром сибирским (*Pinus sibirica* Du Tour) осуществляется в основном кедровой (*Nucifraga caryocatactes* L.) и бурундуком (*Eutamias sibiricus* Laxmann).

Возобновление кедра может считаться успешным только в зеленомшных кедровниках (2,8 тыс. шт./га). Подрост лиственных деревьев – березы (*Betula pubescens* Ehrh.) и осины (*Populus tremula* L.) на всех гарях (кроме лишайниковых), значительно более многочисленный, чем хвойный. Его количество в продуктивных типах леса достигает 40 тыс. шт./га.

Заключение. В целом восстановление леса на большей части обследованных гарей идет успешно; более 90% от площади обследования может считаться лесопокрытой.

Ключевые слова: Западная Сибирь; гарь; сосняки; кедровники; естественное возобновление леса; древесный подрост

Для цитирования. Гашев, С. Н., Казанцева, М. Н., Арефьев, С. П., Сомотин, А. В., Быкова, Е. А., & Сорокина, Н. В. (2025). Лесовозобновление на крупных гарях в средней тайге Западной Сибири. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 203-228. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1252>

Introduction

Forest fires have an ambivalent meaning for nature and human economic activity. On one hand, they are an integral part of the evolution of forest ecosystems and the current state of the Earth's forest cover [16], but on the other hand, they lead to significant environmental, economic and social losses.

Current global climate changes are accompanied by more frequent weather anomalies – hot and dry seasons occur more frequently. This also affects the forest fire situation – the intensity of fires and the size of the burnt areas increase [12; 18; 21; 24; 27]. According to FBI «RCFH», approximately 10-35 thousand forest fires are recorded annually in Russia, and the average amount of caused damage is estimated at about 20 billion rubles [13]. The increase in the number of forest fires is also affected by the prolongation of the fire danger period (early spring – late autumn) and a significantly increased number of fires caused by dry thunderstorms [7; 9; 19]. The destruction and transformation of the forest cover during fires as well as under other impacts, and during long-term recovery successions are accompanied by changes in the composition, biological productivity, sanitary-physiological state and phenology of forest-forming species both in Russia and abroad [2; 4; 10; 20; 22; 25].

The Khanty-Mansi Autonomous Okrug (KHAMAO-Yugra), located in the central part of the West Siberian Plain is among the most fire-hazardous regions of Russia. The forest resources of the KHAMAO-Yugra consist of 50 million hectares of forests and almost 30 thousand hectares of forest burn out annually

on average. As a result, individual burnt areas can amount to the area of more than 1-5 thousand hectares.

Materials and methods

The research was conducted on the territory of the Nizhnevartovsk administrative district of KhMAO-Yugra (Fig. 1). According to geobotanical zoning, the surveyed area is located in the middle taiga subzone of the West Siberian Plain. This territory is characterized by the predominance of dark coniferous (spruce-stone pine) and pine forests and derivative communities.

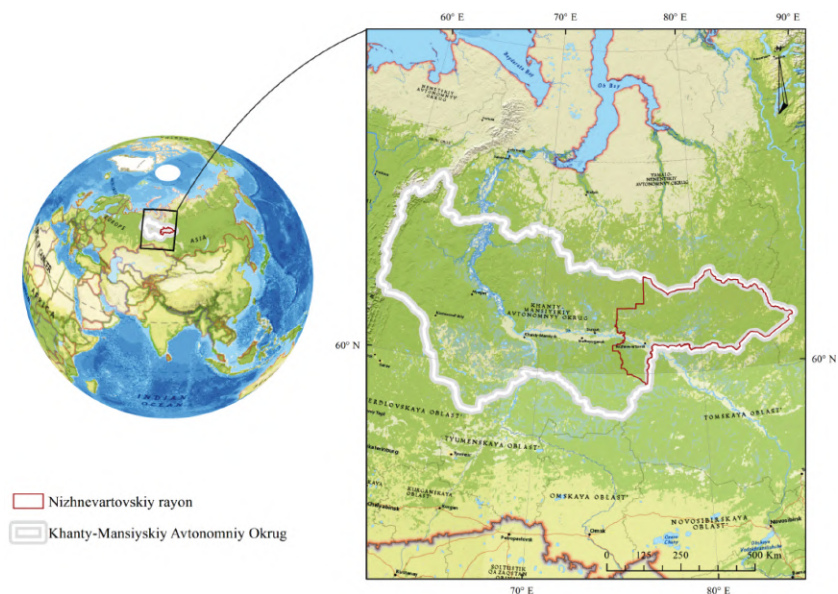


Fig. 1. Surveyed area

Nizhnevartovsk district contains almost a quarter of the forest resources of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra – 11.7 million hectares; 60% of them are forested. The main forest-forming species are conifers; 58% of the forests are pine forests, 23% are Siberian pine forests. Coniferous forests generally have a complex structure. In addition to Siberian pine and Scots pine, Siberian spruce *Picea obovata* Ledeb., deciduous tree species (birch, aspen), sometimes fir, and in the northern regions – larch *Larix sibirica* Ledeb. are also present in different proportions.

Judging by observation data from the nearby Laryak weather station, the global warming is very prominent in this area (Fig. 2). During the 1936-2023 period the growth rate of average annual air temperature (per century) amounted to $+2.5^{\circ}\text{C}$, and it especially intensified in recent years, reaching $+9.1^{\circ}\text{C}$ in the 2000-2023 period.

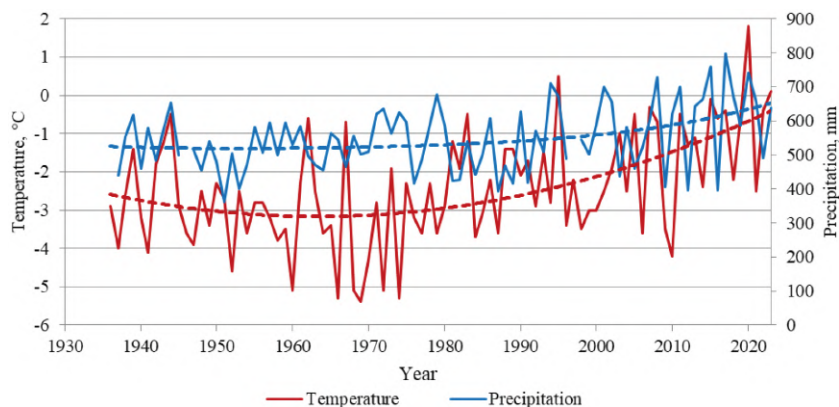


Fig. 2. Changes in the annual average air temperature and annual precipitation in the surveyed area according to the observation data from Laryak weather station (with a polynomial trendline)

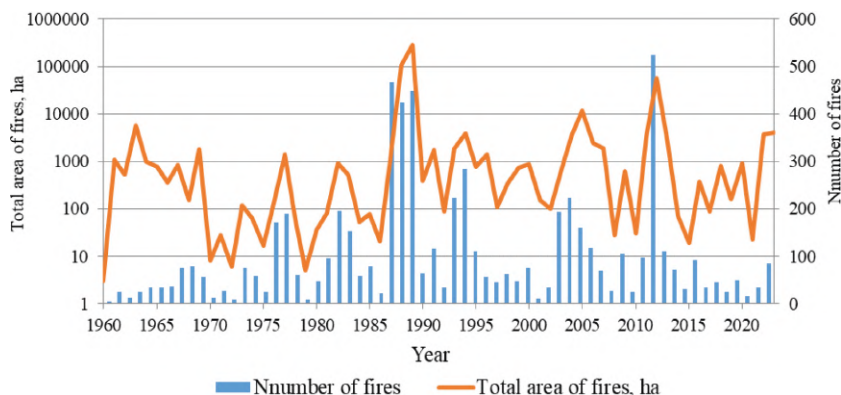


Fig. 3. Number and area of forest fires in the Nizhnevartovsk district, 1960–2023

Due to such climate changes, the coniferous forest-forming trees in Nizhnevartovsk district also show the signs of deterioration in their ecological and physiological state [23], which also reduces their fire resistance.

According to long-term data, an average of 103 forest fires occur per year in Nizhnevartovsk district [19]. Forest fires have a certain cyclicity, determined by the weather and climate characteristics of fire hazard seasons (Fig. 3). The most severe period in terms of forest fires over the past 60 years was the 1988-1989 period, when more than 160 thousand hectares of local forests have been burnt, with most of the burnt areas being results of large fires with an area of more than 1000 hectares.

Six years after these events, in August 1995, we carried out research to assess the success rate of natural reforestation in 20 large burnt areas of the Nizhnevartovsk district, with a total area of 105.29 thousand hectares. The length of reconnaissance routes for selecting areas for research was: covered by land transport – about 300 km, by water – about 80 km and by air – more than 710 km.

During the research we studied the main forest formations (pine, Siberian pine) and types of forest growth conditions (groups of forest types) present in the burnt areas of the middle taiga of Western Siberia. The distribution of the surveyed burnt area by source formations and forest types is shown in Table 1.

Table 1.

Distribution of the surveyed burnt area by source formations and forest type groups.

Formations	Forest type group					
	Lichen	Lingonberry	Green moss	Long moss	Grass-marsh	Sphagnum
Siberian pine forests	–	–	30 775	35 918	5 850	–
Pine forests	1 098	1 800	9 827	16 250	–	3 772

Research work to assess the natural reforestation in burnt areas was conducted via a selective enumeration method, by laying transects and census plots. The transects were arranged perpendicular to the main border of the burnt area and covered areas that were at least 2 km long and 100 meters wide. On transects, we assessed the number of seed trees that have remained unharmed after the fire – as individual trees or tree groups. At each burnt area, at least 4 transects were laid, oriented to all cardinal directions. Along the transects, the 2x2m-sized census plots were distributed evenly, where we have been counting tree shoots and specimens of viable undergrowth that were up to 150 cm high. At least 20 census plots were arranged on each transect. The obtained data was then recalculated per hectare. A total of 57 transects were surveyed with a total length of 114 km, containing more than 1,140 census sites.

To assess the range of seed dispersal, we selected individual trees located more than 100 m apart from each other, groups of other trees and forest edges. From these trees, a transect was laid with census plots located 10 m apart from one another. The length of the transect was determined by the distance where the undergrowth and tree shoots of post-fire origin ceased to occur.

Snap-traps were used to catch small animals in surveyed area, in order to assess the species composition and abundance of small mammals that serve both as important seed spreaders and seed predators in burnt areas. Trap lines of 50 traps each were set and then checked daily.

Specimens of the Sciuridae family (*Sciurus vulgaris* L. and *Eutamias sibiricus* Laxmann) and nutcrackers (*Nucifraga caryocatactes* L.) were visually observed on transects, made for the observation of natural reforestation in burnt areas.

Results

Our research confirms the opinion of A.D. Vakurov [26] that in the northern forest zone, low- and medium-intensity fires are a rare occurrence (especially in terms of affected area). Out of the 20 surveyed burnt areas, only one had a few significant areas (about 10%) with partially living stone pine stands, but the amount of pre-fire Siberian stone pine undergrowth here was so large (up to 10 thousand pcs/ha) that the role of the surviving trees as seed trees was negligible. In most cases, the tree stand is completely destroyed when a forest area is burnt out. The only exceptions are few practically unburnt areas belonging to swamps and landscape lowerings (sphagnum and grass-marsh groups of forests), which form tree groups or forest edges that split huge burnt areas into parts and can be considered as potential sources of seeds. These areas are mistakenly included into the burnt area and are counted as unforested.

The composition and nature of reforestation in burnt areas depend on many factors. These include the initial composition of the primary tree stand and the degree of its damage caused by fire, the physicochemical (as well as biological) properties of the soil and the changes of those properties caused by fire, the terrain of the burned area and weather conditions in the post-fire period [29].

Another important factor is the presence or absence of animals who destroy the tree seeds or, on the contrary, contribute to their spreading [15; 17].

Nucifraga caryocatactes were encountered along the entire length of survey transects from the forest edges into the depths of the burnt area in equal numbers, which may indicate the possibility that it can spread seeds, for example, that of Siberian pine, over a distance of 2 km or even more.

The results of trapping small mammals in burnt areas of *Pínus sibírica* are given in Table 2.

Table 2.

The results of trapping small mammals in burnt areas (pcs.).

Small Mammal Species	Burnt area of Siberian pine forest (long moss type)	Burnt area of Siberian pine forest (green moss type, with sanitary loggings)	Burnt area of Siberian pine forest (green moss type, without sanitary loggings)
<i>Sorex araneus</i> L.	18	8	0
<i>Sorex caecutiens</i> Lax.	2	0	0
<i>Clethrionomys rutilus</i> Pall.	2	20	56
<i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber	0	2	4
<i>Microtus oeconomus</i> Pall.	22	0	0
<i>Microtus agrestis</i> L.	0	18	4
Total	44	48	64

Species composition reforestation is largely determined by the conditions that existed in the pre-fire forest stand, with different levels of moisture and soil mechanical composition. Table 3 shows the success rate of woody plant regeneration in different groups of forest types according to survey results.

Table 3.

Average amount of viable undergrowth of the main woody plant species in burnt areas of different forest types

Forest type group	Soil mechanical composition	Amount of undergrowth 50-150 cm, thsd. pcs. / ha				
		pine	Siberian stone pine	Spruce, fir	birch	aspen
Pine forests						
Lichen	sand	2,100	0,00	0,00	0,00	0,00
Lingonberry	sandy loam	23,40	0,00	0,00	35,15	3,80
Green moss	sandy loam	17,44	1,18	0,00	21,73	11,02
Long moss	light loam	11,80	1,33	0,00	29,00	13,75
Grassmarsh	medium loam	1,25	0,00	0,00	7,00	0,00
Sphagnum	heavy loam	0,01	0,00	0,00	2,50	0,00
Siberian pine forests						
Green moss (with inclusion of pine)	light loam	8,60	1,46	0,64	43,20	14,85

Green moss (without pine)	medium loam	0,58	2,80	0,61	35,92	11,00
Long moss (with inclusion of pine)	medium loam	3,16	0,65	0,15	17,46	5,41
Long moss (without pine)	heavy loam	0,96	0,43	0,11	24,43	6,38
Grassmarsh (without pine)	heavy loam	0,48	0,20	0,00	13,23	0,42

Discussion

In the pine burnt areas that we examined, only pine and, to a lesser extent, Siberian stone pine were present among the coniferous undergrowth; in one of the areas, solitary larch shoots were also observed.

We should mention that the amount of spruce or fir burnt areas is very scarce. This is primarily due to the higher humidity of habitats of these forest formations, which prevents the large spread of fire.

Received data on the natural post-fire spruce regeneration confirms the opinion of most authors who studied the subject that the part of spruce in northern forests in the overall composition of undergrowth is relatively small [26]. The best spruce regeneration was registered in green moss Siberian pine forests, where it can act as “pioneer” tree in open areas. Dead-wood, as well as stumps and herbaceous vegetation can have a similar effect on spruce in the initial post-fire years, and in later years the protective effect can be granted by the undergrowth of deciduous trees.

Post-fire regeneration of Siberian pine is most successful on light and medium loams in green moss and long-moss groups of forest types, and not only in Siberian pine forests, but also in pine forests. This is explained by the zoochoric nature of its seed spread (primarily by the nutcracker), when its seeds are carried considerable distances from the original seed tree forests [28]. Though the satisfactory level of Siberian stone pine regeneration was only observed in green moss pine forests (without any pines in the pre-fire forest stand) and in the long-moss pine forest.

Among the coniferous species, pine shows the widest range of conditions for good natural regeneration. Moreover, with the exception of extreme dry (lichen pine forests) and extreme damp (sphagnum and grass-marsh pine and Siberian pine forests) habitats, pine regeneration can be considered satisfactory, and in lingonberry and green moss pine forests its regeneration is so abundant that with an average height of undergrowth of about 50 cm, 6 years after the fire, the territory could already be transferred to the category of young-aged forest-

ed areas based on pine alone. The areas of green moss and long-moss Siberian pine forests without pines in the pre-fire forest stands are a different case: the regeneration of pine in these areas only happens due to the spread of seeds from neighboring areas and is, in general, very small.

Low rate of natural reforestation is typical for pine in extremely damp forest conditions (sphagnum pine forests). But these areas generally barely burn out during fires and usually remain forested with almost all of the pre-fire undergrowth remaining viable. In extremely dry habitats (lichen pine forest), reforestation occurs almost exclusively due to pine regeneration. If its regeneration is poor, it may lead to forming of sandy heathlands with areas covered by sod-forming grasses. At the same time, it has been reported, that in the north, in lichen pine forests affected by ground fires, from 15–20 to 70–80 thousand specimens of pine shoots and undergrowth per 1 hectare have been observed some 20–30 years after the fire [26], and the amount of self-seeding was inversely proportional to the amount of remaining forest stand.

Among the deciduous species, birch shows the widest range of conditions for good natural regeneration as well as the biggest amount of undergrowth. It does not regenerate only in lichen pine forests. The natural regeneration of birch is most successful in the green-moss and long-moss groups of forest types with soils ranging from sandy loam to heavy loam.

Aspen regenerates relatively well in Siberian pine and pine forests on slightly moist and moist soils, but it does not form independent stands of young trees. In extremely dry and damp habitats, natural regeneration of aspen may be completely absent.

In general, the relatively high rates of natural regeneration of deciduous species in burnt areas is explained by their ability to regrow not only by seed spreading, but vegetatively as well, thus giving them some advantage in the very first stages of regrowth in burnt areas, since they outgrow the post-fire herbaceous vegetation.

The effect of sanitary loggings on the natural reforestation of burnt areas is of much interest to researchers. The movement of tracked vehicles and the removal of logs contributes to soil mineralization creating better conditions for seed germination and having a beneficial effect on the course of natural reforestation [26]. Our research confirms it as well. Pine shows better levels of natural regeneration in cleared burnt areas in all forest growing conditions (Table 4), which is explained by its higher requirements for light and substrate mineralization necessary for seed germination.

Table 4.

The influence of sanitary loggings on the natural regeneration of the main tree species in burnt areas in various growth conditions

Forest type group, tree maintenance	Soil me- chanical composition	Amount of undergrowth, thsd. pcs. / ha				
		Pine	Siberian stone pine	Spruce	Birch	Aspen
Pine forests						
Lichen - with sanitary loggings - without sanitary loggings	sand	2,5 1,7	- -	- -	- -	- -
Green moss - with sanitary loggings - without sanitary loggings	sandy loam	16,1 5,3	0,2 0,3	- -	8,5 0,4	5,2 1,5
Long moss - with sanitary loggings - without sanitary loggings	light loam	17,3 12,3	1,8 1,9	- -	29,2 51,0	19,6 9,8
Siberian pine forests						
Green moss - with sanitary loggings - without sanitary loggings	medium loam	7,6 4,9	3,1 0,7	0,0 0,1	14,7 41,2	10,7 9,8
Long moss - with sanitary loggings - without sanitary loggings	medium loam	0,3 0,1	0,6 0,4	- -	55,9 42,8	9,2 8,4
Long moss - with sanitary loggings - without sanitary loggings	heavy loam	3,6 0,8	0,2 0,1	- -	28,5 7,9	17,5 5,1

Distinctive features of the fauna of small mammals – the main predators of stone pine seeds in large burnt areas, recorded in the process of their captures on trapping lines, are presented in Table 5.

Our data indicates that the reserves of small mammals (rodents and, to a lesser extent, insectivores) who act as seed predators in extensive Siberian pine burnt areas 9 years after the fire are no lesser than those of natural unburned stands (even in the most productive of them) (Table. 5). It contradicts some sources [17], but on the other hand, M. Stewart [23] reports even lower relative abundance of micromammals in unburned plots comparing to those burned annually, thus supporting our results.

Moreover, in burnt green-moss Siberian pine forests, the relative abundance of small mammals is 1.1 times (with sanitary logging conducted after the fire) and 1.5 times (without logging) higher than that in untouched green-moss Siberian pine forests. At the same time, the total food supply for predatory animals, consisting of rodents, in burnt areas as a whole (4.7 kg/ha) is almost 2 times

higher than the food supply in general for Siberian pine forests in the studied region. The share of the dominant species, *Clethrionomys rutilus*, in the total abundance of small mammals varies greatly in different biotopes, increasing from wet to drier and from areas with less debris to those containing more debris. In humid biotopes, representatives of the genus *Sorex* and the species *Microtus oeconomus* are found, which are practically absent in drier groups of forest types (especially without any loggings conducted), where, however, *Clethrionomys glareolus* and *Microtus agrestis* are being spotted among the micromammal population.

Table 5.

Fauna of small mammals on large burnt areas of Siberian pine in the middle taiga zone of the Middle Ob region

Parameters	Burnt Siberian pine forest, long moss type	Burnt Siberian pine forest, green moss type (with sanitary loggings)	Burnt Siberian pine forest, green moss type (without sanitary loggings)
Number of species (pcs.)	4	4	3
Species of small mammals:	<i>Sorex araneus</i> L. <i>Sorex caecutiens</i> Lax. <i>Clethrionomys rutilus</i> Pall. <i>Microtus oeconomus</i> Pall.	<i>Sorex araneus</i> L. <i>Clethrionomys rutilus</i> Pall. <i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber <i>Microtus agrestis</i> L.	<i>Clethrionomys rutilus</i> Pall. <i>Clethrionomys glareolus</i> Schreber <i>Microtus agrestis</i> L.
Relative abundance of small mammals (spec./100 trap-days)	44,0	48,0	64,0
Share of rodents, %	54,5	83,3	100,0
Relative abundance of rodents (spec./100 trap-days)	24,0	40,0	64,0
Absolute abundance of rodents (spec./ha)	79,2	132,0	211,2
Rodent biomass (kg/ha)	2,2	3,6	5,8
Share of <i>Clethrionomys rutilus</i> (%)	8,3	50,0	87,5

Animals, primarily the nutcracker (and a number of rodents), play a very important role in reforestation processes within large burnt areas, where the role of wind seed dispersal for pine seeds is relatively limited (even over snow crust), and the seed dispersal has an almost exclusively zoochoric nature [5; 6]. This makes the role of squirrels *Sciurus vulgaris* and Siberian chipmunks *Eutamias*

sibiricus especially important, since they are the most reliable seed spreaders among mammals, being able to transport Siberian pine seeds hundreds of meters from the nearest seed trees, while making their seed caches for the winter. And the number of chipmunks, as we established earlier [8], grows in recovering burnt areas also because of the favorable food conditions occurring due to the growth of prickly rose *Rosa acicularis* Lindl., rowan *Sorbus aucuparia* L. and other berry bushes on burnt areas.

The nutcracker, unlike rodents, cannot reach the soil surface through the debris of trunks and branches formed after the destruction and collapse of trees. We should also mention, that the nutcracker prefers soft substrates – like hummocks of moss, rotten stumps, etc. for burying Siberian pine seeds [28]. Operation of tracked vehicles during loggings create a large number of such substrates – upturned heaps of soil, parts of forest floor, crushed stumps or rotting dead wood. Our research shows that the shoots of Siberian pine are most often observed in such areas.

We also observed a clear positive reaction of aspen undergrowth to sanitary loggings in burnt areas, most strongly expressed on the lightest and heaviest of soils – which are less favorable for its natural regeneration.

Birch showed ambiguous reaction to sanitary loggings depending on different forest conditions. In burnt areas with extreme levels of soil moisture and mechanical composition, more abundant natural regeneration was observed after the loggings, than in burnt areas not affected by logging. Under optimal moisture conditions, the opposite picture can be observed: the amount of birch undergrowth in cleared areas is two or more times less than in areas that did not undergo logging.

The limited data on natural regeneration of spruce indicates that it is more successful in uncleared areas, which confirms the previously expressed idea about the positive effect of moderate amounts of wood debris on spruce regeneration.

Sparse herbs and shrubs contribute to the regeneration of some tree species, in particular spruce, protecting its sprouts from frost. The competitive impact of living ground cover on the self-seeding of woody plants starts to show 2-3 years after the fire and intensifies as the density of herbaceous plants and mosses increases [11].

Conducted research showed that the influence of herbaceous vegetation differs from that of mosses (primarily Polytrichopsida). Moreover, the latter have different effects on the natural regeneration of the main coniferous species: pine and Siberian pine. A strong negative correlation was determined between the

pine undergrowth and the total projective cover (TPC) of grasses, which was growing stronger as the growing conditions being surveyed became more humid (Table 6). The same picture was observed for mosses, but the correlation coefficients were lower. Among the herbs, reed grasses (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *C. langsдорffii* (Link) Trin.) and fireweed (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) have the greatest negative effect on the natural regeneration of pine, while shorter forest grasses have almost no effect on its success.

Table 6.

Correlation coefficients between the abundance of pine and Siberian pine undergrowth and the total projective cover (TPC) of herbs and mosses

Compared options	$R \pm m$					
	Pine forests			Siberian pine forests		
Pine undergrowth and herbs TPC	-0,07±0,17	-0,75±0,15	-0,79±0,11	-0,80±0,14	-0,90±0,10	-
Pine undergrowth and mosses TPC	-0,04±0,17	-0,21±0,23	-0,50±0,20	-0,61±0,17	-0,70±0,15	-
Siberian pine undergrowth and herbs TPC	-	-	-	-0,52±0,18	-0,47±0,25	-0,96±0,15
Siberian pine undergrowth and mosses TPC	-	-	-	0,64±0,16	0,69±0,25	0,85±0,27

Note: $R \pm m$ – correlation coefficient with error estimation.

Natural regeneration of Siberian pine is also inversely proportional to the TPP of herbaceous vegetation, but the correlation is weaker than that of pine regeneration (Table 6).

It is well known that deciduous tree species, especially birch, help increase soil fertility, and in moist conditions they also play the role of natural land reclamation agents. Another positive effect of deciduous species on reforestation of burnt areas is them suppressing the development of sod-forming grasses, which prevent regeneration of coniferous trees.

Our research has shown that there is a direct correlation between the total abundance of undergrowth of deciduous species (birch+aspen) and the amount of undergrowth of pine and Siberian pine: the correlation coefficients are $0,35 \pm 0,17$ ($t_{\phi} = 2,09$) and $0,51 \pm 0,15$ ($t_{\phi} = 3,30$) respectively. Thus, considering the reforestation process from all points of view, the opinion on absolute undesirability of a temporary change of forest-forming species to deciduous ones, does not seem entirely justified.

The main sources of woody plants' seeds in burnt areas are the forest edges located along the area's perimeter and some groves that cross the territory of burnt areas along natural landscape lowerings. To a lesser extent, individual surviving trees (which are usually practically absent) or groups of 5 or more specimens can sometimes act as potential seed sources.

The resistance of preserved seed trees (those located in tree groups, forest edges along the perimeter of the burnt area or groves partially crossing the area) to wind is of the utmost importance. In the middle taiga, the part of the forest edge of 5 m wide is subjected to the most severe destruction by wind. As we move deeper into the forest, the degree of destruction decreases and remains equal to 10–12% of the total volume of growing trees within the 30-meter edge zone. Low-growing sphagnum pine forests are the most wind-resistant; long-moss and sphagnum Siberian pine forests are moderately resistant, as well as birch and aspen forests. The highest degree of the destruction of edges was observed in the most productive green moss forest types (16–25%) [3]. Descending by wind resistance, tree species can be listed in the following order: pine, Siberian pine, birch, spruce, fir, aspen.

We have studied the success rate of natural regeneration of conifers depending on the distance from the seed trees. The results showed that the amount of pine undergrowth is determined by the distance from the seed trees according to the laws of the power function ($Y=aX^b$) (Fig. 4).

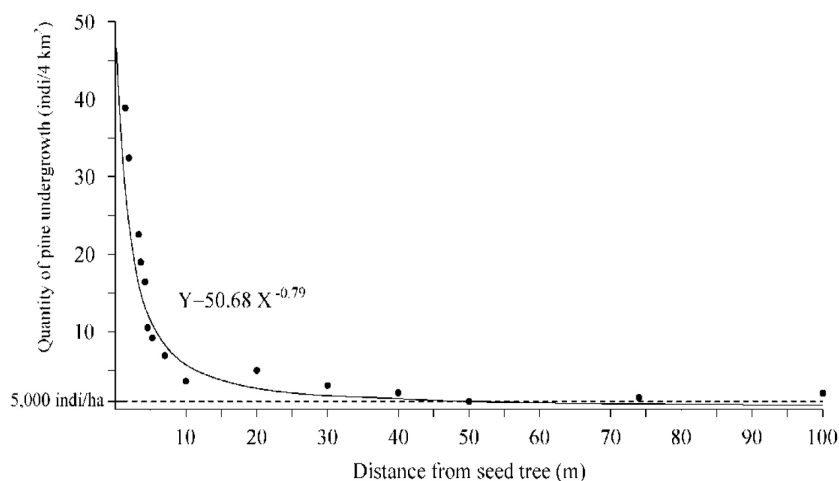


Fig. 4. The success rate of natural regeneration of pine in burnt green moss pine forests at different distances from individual seed trees and tree groups

In optimal growth conditions for pine regeneration (green-moss pine forests), at a distance of about 50 m from individual trees or tree groups, the amount of pine undergrowth stabilized at a level suitable for successful natural reforestation, and remained such at a distance of more than 100 m. In green-moss pine and Siberian pine forests, where forest edges or larger tree groups act as main seed sources, at a distance of about 100 m from the seed source the amount of undergrowth was more than twice the satisfactory level, and with further moving away it showed no clear tendency for decrease up to a 2-kilometer mark (Fig. 5).

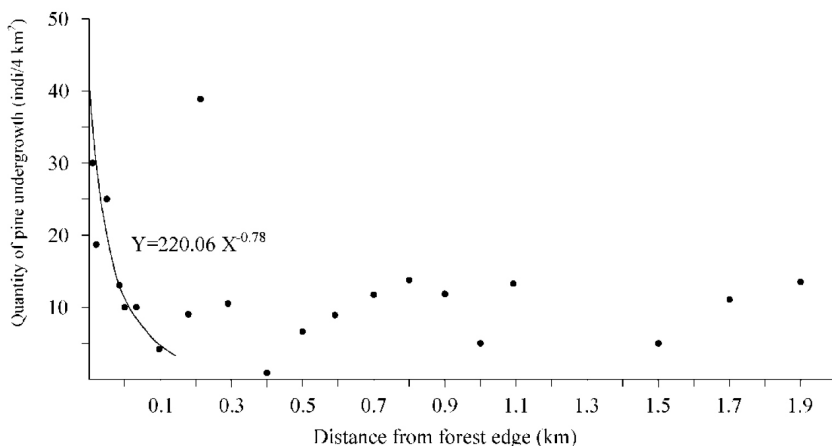


Fig. 5. The success rate of natural regeneration of pine in burnt green moss pine forests at different distances from the forest edges

Some quantitative differences in the dispersal of pine seeds from seed trees were noted depending on the position of the forest edge relative to the direction of the prevailing winds, but they do not change the qualitative picture. It is also important to mention the presence of young self-sown trees (0-5 cm high) in the center of the burnt areas, which may indicate that some of the pine seeds appeared there even 3-4 years after the fire, when heavily damaged trees should have already fallen out or dried out, and mostly non-damaged ones and viable – should have been included in the records.

All this allows us to assume that the distance from the seed trees does not play a determining role in the success rate of the natural regeneration of pine on large pine burnt areas, since its seeds spread in sufficient quantities (apparently over the crust that forms in spring) to a distance exceeding the actual size

of the burnt areas. The factors determining the amount of pine undergrowth are the conditions of seed germination and their further development.

This applies to an even greater extent to trees like birch and especially aspen, whose seeds are carried by the wind over much longer distances and are less demanding for germination conditions.

While conducting our research, we were also unable to identify a significant correlation between the amount of Siberian pine undergrowth in the burnt area and its distance from the seed trees. This is understandable, since the nutcracker, unlike rodents, carries the seeds of Siberian pine over distances of more than 6 km, preferring areas more distant and less forested areas that have smaller populations of other animals that can plunder its seed reserves [28]. Unlike pine seeds, the seeds of Siberian pine almost immediately get into favorable conditions for germination and further development of sprouts due to the help of animals.

Conclusion

We can conclude, that almost complete reforestation of burnt areas within 6-8 years after the fire is typical for the middle taiga subzone of Western Siberia. The general course of reforestation showed high rates of natural reforestation of both deciduous and coniferous forest-forming species: out of 105,290 hectares of surveyed areas that have been recorded as burnt back in 1988–89, 98,530 hectares can now be considered forested, with 27,950 hectares – as being covered by the main forest-forming species (pine). In most of the Siberian stone pine burnt areas, the undergrowth is dominated by fast-growing deciduous tree species, which leads to restoration of the original dark-coniferous communities through the preliminary deciduous forest stage. The sowing of the burnt areas by Siberian stone pine is carried out mainly by spotted nutcracker and Siberian chipmunk and does not depend on the distance from the seed trees but on the availability of conditions necessary for them to establish the seed caches.

Sponsorship information. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ FWRZ-2021-0006).

References

1. Arefyev, S. P. (2023). Dendrochronological analysis of the response of forest-forming tree species in the proposed Mystyg'egan wildlife sanctuary (Vakh River basin) to climate changes in the 20th–21st centuries. *Bulletin of Nizhne-*

- varovsk University, (6(63)), 18–34. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EOGYZT>
2. Arefyev, S. P., & Kazantseva, M. N. (2020). Fire frequency and natural regeneration of light-coniferous forests and woodlands in the Nadym District of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Siberian Journal of Forest Science*, (1), 3–15. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200101>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQXFNN>
 3. Vakurov, A. D. (1975). *Forest fires in the North*. Moscow: Nauka. 100 p.
 4. Valendik, E. N., Matveev, P. M., & Sofronov, M. A. (1979). *Major forest fires*. Moscow: Nauka. 198 p.
 5. Ivanova, G. A., Konard, S. G., MacRae, D. D., Bezkorovaynaya, I. N., Bogorodskaya, A. V., Zhila, S. V., Ivanov, V. A., Ivanov, A. V., Kovaleva, N. M., Krasnoshchekova, E. N., Kukavskaya, E. A., Oreshkov, D. N., Perevoznikova, V. D., Samsonov, Yu. N., Sorokin, N. D., Tarasov, P. A., Tsvetkov, P. A., & Shishikin, A. S. (2014). *Impact of fires on ecosystem components of middle-taiga pine forests in Siberia*. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch. 232 p. ISBN: 978-5-02-019163-1. EDN: <https://elibrary.ru/LPPHNA>
 6. Vorobyov, V. N. (1982). *The nutcracker and its relationship with Siberian pine*. Novosibirsk: Nauka. 113 p.
 7. Gashev, S. N. (2000). *Mammals in the ecological monitoring system (case study of Tyumen Oblast)*. Tyumen: Tyumen State University Press. 220 p. ISBN: 5-88081-183-2. EDN: <https://elibrary.ru/QVSMXJ>
 8. Debkov, A. M., & Ilintsev, A. S. (2018). Structure and dynamics of forest regeneration on burned areas in the middle taiga of Western Siberia. *Forestry Bulletin*, 22(6), 31–39. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-6-31-39>. EDN: <https://elibrary.ru/YVDBDV>
 9. Dyubanova, N. V. (2013). *Morphoecological features of common juniper coenopopulations in the Prip'yshminsky borons of the pre-forest-steppe subzone of Western Siberia* (Candidate of Biological Sciences dissertation abstract). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 18 p. EDN: <https://elibrary.ru/SUUETN>
 10. Sannikova, N. S., Sannikov, S. N., Kochubey, A. A., & Petrova, I. V. (2019). Natural regeneration of pine on burned areas in the forest-steppe of Western Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, (5), 22–29. <https://doi.org/10.15372/SJFS20190503>. EDN: <https://elibrary.ru/GVSQYU>
 11. Evstigneev, O. I., Voevodin, P. V., Korotkov, V. N., & Murashev, I. A. (2013). Zoochory and seed dispersal distance in coniferous-broadleaf forests of Eastern Europe. *Advances in Modern Biology*, 133(4), 392–400. EDN: <https://elibrary.ru/QZMKZB>

12. Kazantseva, M. N. (2008). Ecological consequences of fires and oil pollution in taiga forests of the Middle Ob region. *Advances in Modern Biology*, 128(1), 108–112. EDN: <https://elibrary.ru/ICEESX>
13. Ivanova, G. A., Ivanov, V. A., Musokhranova, A. V., & Onuchin, A. A. (2023). Forest fires and their causes in Central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, (6), 6–16. <https://doi.org/10.15372/SJFS20230602>. EDN: <https://elibrary.ru/WLJIIC>
14. Zhila, S. V., Ivanova, G. A., Ivanov, V. A., & Tsvetkov, P. A. (2019). Forest regeneration after fires of varying intensity in pine forests of Central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, (6), 53–62. <https://doi.org/10.15372/SJFS20190606>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQRDXW>
15. Matveeva, A. G. (2021). Dynamics of forest fires in the Far East. *Siberian Journal of Forest Science*, (6), 30–38. <https://doi.org/10.15372/SJFS20210603>. EDN: <https://elibrary.ru/HYXBFC>
16. *Guidelines for promoting natural regeneration of coniferous species in lowland forests of Tyumen Oblast*. (1999). Tyumen: Tyumen State University Press. 64 p.
17. Saltykov, A. N., Vatlina, T. V., & Belyaev, D. A. (2017). Seasonal dynamics of rodent abundance in coniferous-broadleaf forests of the “Smolenskoye Poozerye” National Park and assessment of their impact on conifer regeneration surges. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Natural Sciences*, (267(18)), 63–72. EDN: <https://elibrary.ru/ZHEVEX>
18. Sannikov, S. N. (1992). *Ecology and geography of natural regeneration of Scots pine*. Moscow: Nauka. 264 p. ISBN: 5-02-004130-0. EDN: <https://elibrary.ru/VTOSOX>
19. Seredovskikh, B. A., Yarosh, D. A., & Deryabina, V. V. (2023). Analysis of the forest fire situation in the Nizhnevartovsk District: status and trends. In *Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference “Regional Aspects of Science and Education Development in Architecture, Construction, Land Management, and Cadastres at the Beginning of the 3rd Millennium”* (pp. 368–373). Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-na-Amure State University. EDN: <https://elibrary.ru/TEVIYB>
20. Tumanik, N. V. (2024). Influence of the reclamation method on the formation of the pigment complex in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on technogenic lands. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 263–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-852>. EDN: <https://elibrary.ru/PHFEPK>
21. Chizhov, B. E. (1998). *Forest and oil of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug*. Tyumen: Yu. Mandrik Publishing House. 144 p. ISBN: 5-93020-004-1. EDN: <https://elibrary.ru/WJQWPP>

22. Shvidenko, A. Z., & Shchepashchenko, D. G. (2013). Climate change and forest fires in Russia. *Forest Science*, (5), 50–61. EDN: <https://elibrary.ru/RDUBBH>
23. Shcherbov, B. L., Lazareva, E. V., & Zhurkova, I. S. (2015). *Forest fires and their consequences*. Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”. 153 p.
24. Schuldt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T. E. E., Hauck, M., & Hajek, P. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, (45), 86–103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>. EDN: <https://elibrary.ru/OOWLQU>
25. Flannigan, M. D., Stocks, B. J., Turetsky, M. R., & Wotton, B. M. (2009). Impact of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology*, (15), 549–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>. EDN: <https://elibrary.ru/MMRFCB>
26. Stewart, M. M. (1972). Relation of fire to habitat preference of small mammals on the Nyika Plateau. *Society of Malawi Journal*, 25(1), 33–42.
27. Talucci, A. C., Loranty, M. M., & Alexander, H. D. (2022). Siberian taiga and tundra fire regimes from 2001–2020. *Environmental Research Letters*, 17(2), 025001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3f07>. EDN: <https://elibrary.ru/VWENXM>
28. Solonkin, A. V., Belyaev, A. I., Pugacheva, A. M., Hoi, N. D., Solomentseva, A. S., Egorov, S. A., Cuong, D. H., & Huong, T. T. T. (2024). The problem of reforestation of woody vegetation in mountain ranges of Kon Chu Rang Nature Reserve (Vietnam). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 443–473. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-835>. EDN: <https://elibrary.ru/LCFZOR>
29. Kharuk, V. I., Ponomarev, E. I., Ivanova, G. A., Dvinskaya, M. L., Cooogan, S. C. P., & Flannigan, M. D. (2021). Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*, (50), 1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>. EDN: <https://elibrary.ru/RCPDIA>

Список литературы

1. Арефьев, С. П. (2023). Дендрохронологический анализ реакции лесобразующих видов деревьев проектируемого Мыстыгъеганского заказника (бассейн р. Вах) на изменения климата в XX–XXI столетиях. *Вестник Нунжневартовского университета*, (6(63)), 18–34. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/23-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EOGYZT>
2. Арефьев, С. П., & Казанцева, М. Н. (2020). Периодичность пожаров и естественное возобновление светловойных лесов и редколесий в Надымском

- районе Ямало-Ненецкого автономного округа. *Сибирский лесной журнал*, (1), 3–15. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200101>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQXFNN>
3. Вакуров, А. Д. (1975). *Лесные пожары на Севере*. Москва: Наука. 100 с.
 4. Валендик, Э. Н., Матвеев, П. М., & Софронов, М. А. (1979). *Крупные лесные пожары*. Москва: Наука. 198 с.
 5. Иванова, Г. А., Конард, С. Г., Макрае, Д. Д., Безкоровайная, И. Н., Богородская, А. В., Жила, С. В., Иванов, В. А., Иванов, А. В., Ковалева, Н. М., Краснощекова, Е. Н., Кукавская, Е. А., Орешков, Д. Н., Перевозникова, В. Д., Самсонов, Ю. Н., Сорокин, Н. Д., Тарасов, П. А., Цветков, П. А., & Шишкин, А. С. (2014). *Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаёжных сосняков Сибири*. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 232 с. ISBN: 978-5-02-019163-1. EDN: <https://elibrary.ru/LPPHNA>
 6. Воробьёв, В. Н. (1982). *Кедровка и её взаимосвязи с кедром сибирским*. Новосибирск: Наука. 113 с.
 7. Гашев, С. Н. (2000). *Млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области)*. Тюмень: Издательство ТюмГУ. 220 с. ISBN: 5-88081-183-2. EDN: <https://elibrary.ru/QVSMXJ>
 8. Дебков, А. М., & Ильинцев, А. С. (2018). Структура и динамика возобновления лесов на гарях средней тайги Западной Сибири. *Лесной вестник*, 22(6), 31–39. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2018-6-31-39>. EDN: <https://elibrary.ru/YVDBDV>
 9. Дюбанова, Н. В. (2013). *Морфоэкологические особенности ценопопуляций можжевельника обыкновенного в Припышминских борах подзоны предлесостепи Западной Сибири* (Автореферат диссертации кандидата биологических наук). Екатеринбург: УрО РАН. 18 с. EDN: <https://elibrary.ru/SUUETN>
 10. Санникова, Н. С., Санников, С. Н., Кочубей, А. А., & Петрова, И. В. (2019). Естественное возобновление сосны на гарях в лесостепи Западной Сибири. *Сибирский лесной журнал*, (5), 22–29. <https://doi.org/10.15372/SJFS20190503>. EDN: <https://elibrary.ru/GVSQYU>
 11. Евстигнеев, О. И., Воеводин, П. В., Коротков, В. Н., & Мурашев, И. А. (2013). Зоохория и дальность разноса семян в хвойно-широколиственных лесах Восточной Европы. *Успехи современной биологии*, 133(4), 392–400. EDN: <https://elibrary.ru/QZMKZB>
 12. Казанцева, М. Н. (2008). Экологические последствия пожаров и нефтяного загрязнения в таёжных лесах Среднего Приобья. *Успехи современной биологии*, 128(1), 108–112. EDN: <https://elibrary.ru/ICEESX>

13. Иванова, Г. А., Иванов, В. А., Мусохранова, А. В., & Онучин, А. А. (2023). Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири. *Сибирский лесной журнал*, (6), 6–16. <https://doi.org/10.15372/SJFS20230602>. EDN: <https://elibrary.ru/WLJIIC>
14. Жила, С. В., Иванова, Г. А., Иванов, В. А., & Цветков, П. А. (2019). Лесовозобновление после пожаров разной интенсивности в сосняках Средней Сибири. *Сибирский лесной журнал*, (6), 53–62. <https://doi.org/10.15372/SJFS20190606>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQRDXW>
15. Матвеева, А. Г. (2021). Динамика лесных пожаров на Дальнем Востоке. *Сибирский лесной журнал*, (6), 30–38. <https://doi.org/10.15372/SJFS20210603>. EDN: <https://elibrary.ru/HYXBFC>
16. *Рекомендации по содействию естественному возобновлению хвойных пород в равнинных лесах Тюменской области.* (1999). Тюмень: Издательство ТюмГУ. 64 с.
17. Салтыков, А. Н., Ватлина, Т. В., & Беляев, Д. А. (2017). Сезонная динамика численности мышевидных грызунов в хвойно-широколиственных лесах НП «Смоленское Поозерье» и оценка их влияния на всплеск возобновления хвойных. *Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки*, (267(18)), 63–72. EDN: <https://elibrary.ru/ZHEVEX>
18. Санников, С. Н. (1992). *Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной.* Москва: Наука. 264 с. ISBN: 5-02-004130-0. EDN: <https://elibrary.ru/VTOSOX>
19. Середовских, Б. А., Ярош, Д. А., & Дерябина, В. В. (2023). Анализ лесопожарной обстановки на территории Нижневартовского района: состояние и тенденции. В *Материалы X Международной научно-практической конференции «Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия»* (с. 368–373). Комсомольск-на-Амуре: КнАГУ. EDN: <https://elibrary.ru/TEVIYB>
20. Туманик, Н. В. (2024). Влияние способа рекультивации на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной на техногенных землях. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 263–282. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-852>. EDN: <https://elibrary.ru/PHFERK>
21. Чижов, Б. Е. (1998). *Лес и нефть Ханты-Мансийского автономного округа.* Тюмень: Издательство Ю. Мандрика. 144 с. ISBN: 5-93020-004-1. EDN: <https://elibrary.ru/WJQWPP>
22. Швиденко, А. З., & Щепашенко, Д. Г. (2013). Климатические изменения и лесные пожары в России. *Лесоведение*, (5), 50–61. EDN: <https://elibrary.ru/RDUBBH>

23. Щербов, Б. Л., Лазарева, Е. В., & Журкова, И. С. (2015). *Лесные пожары и их последствия*. Новосибирск: Академическое издательство «Гео». 153 с.
24. Schultdt, B., Buras, A., Arend, M., Vitasse, Y., Beierkuhnlein, C., Damm, A., Gharun, M., Grams, T. E. E., Hauck, M., & Hajek, P. (2020). A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. *Basic and Applied Ecology*, (45), 86–103. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2020.04.003>. EDN: <https://elibrary.ru/OOWLQU>
25. Flannigan, M. D., Stocks, B. J., Turetsky, M. R., & Wotton, B. M. (2009). Impact of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest. *Global Change Biology*, (15), 549–560. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01660.x>. EDN: <https://elibrary.ru/MMRFCB>
26. Stewart, M. M. (1972). Relation of fire to habitat preference of small mammals on the Nyika Plateau. *Society of Malawi Journal*, 25(1), 33–42.
27. Talucci, A. C., Loranty, M. M., & Alexander, H. D. (2022). Siberian taiga and tundra fire regimes from 2001–2020. *Environmental Research Letters*, 17(2), 025001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3f07>. EDN: <https://elibrary.ru/VWENXM>
28. Solonkin, A. V., Belyaev, A. I., Pugacheva, A. M., Hoi, N. D., Solomentseva, A. S., Egorov, S. A., Cuong, D. H., & Huong, T. T. T. (2024). The Problem of Reforestation of Woody Vegetation in Mountain Ranges of Kon Chu Rang Nature Reserve (Vietnam). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(3), 443–473. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-3-835>. EDN: <https://elibrary.ru/LCFZOR>
29. Kharuk, V. I., Ponomarev, E. I., Ivanova, G. A., Dvinskaya, M. L., Coogan, S. C. P., & Flannigan, M. D. (2021). Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*, (50), 1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01490-x>. EDN: <https://elibrary.ru/RCPDIA>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey N. Gashev, Head of the Department of Zoology and Evolutionary Ecology of Animals, Dr. of Biol. Sc., Professor

Tyumen State University

3, Pirogova Str., Tyumen, 625043, Russian Federation

gsn-61@mail.ru

SPIN-code: 1159-6815

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5774-0427>

ResearcherID: H-3379-2013

Scopus Author ID: 6506271830

Mariya N. Kazantseva, Leading Researcher, Cand. of Biol. Sc.

Institute of Northern Development Problems SB RAS

86, Malygina Str., Tyumen, 625046, Russian Federation

MNKazantseva@yandex.ru

SPIN-code: 2462-3852

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1227-6720>

ResearcherID: I-7753-2018

Scopus Author ID: 54880495800

Stanislav P. Aref'ev, Chief Researcher, Dr. of Biol. Sc., Senior Researcher

Institute of Northern Development Problems SB RAS

86, Malygina Str., Tyumen, 625046, Russian Federation

sp_arefyev@mail.ru

SPIN-code: 6081-1053

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8621-9884>

ResearcherID: I-7761-2018

Scopus Author ID: 15128882000

Andrey V. Soromotin, Director of the Research Institute of Ecology and Use of Natural Resources, Cand. of Biol. Sc., Asc. Prof.

Research and Development Institute of Ecology and Rational Use of Natural Resources; Tyumen State University

34/4, Schiller Str., Tyumen, 625048, Russian Federation; 37/1, Przhemval'sky Str., Tyumen, 625023, Russian Federation

asoromotin@mail.ru

SPIN-code: 6169-3090

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7771-4592>

ResearcherID: H-3408-2013

Scopus Author ID: 15731563700

Elena A. Bykova, Head of the Laboratory for Registration and Cadastre of Rare Animal Species, Ph.D. in Biology, Senior Researcher

Institute of Zoology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

232, Bogishamol Str., Tashkent, 100053, Uzbekistan

ebykova67@mail.ru

SPIN-code: 9666-9449

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6047-4652>

ResearcherID: ABE-5763-2021

Scopus Author ID: 14034003400

Natal'ya V. Sorokina, Associate Professor at the Department of the Department of Zoology and Evolutionary Ecology of Animals, Cand. of Biol. Sc., Asc. Prof. Tyumen State University

3, Pirogova Str., Tyumen, 625043, Russian Federation

natalya.v.sorokina@gmail.com

SPIN-code: 9492-2480

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7895-5585>

ResearcherID: P-7899-2017

Scopus Author ID: 57200646095

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гашев Сергей Николаевич, д.б.н., профессор, заведующий кафедрой зоологии и эволюционной экологии животных

Тюменский государственный университет

ул. Пирогова, 3, г. Тюмень, 625043, Российская Федерация

gsn-61@mail.ru

Казанцева Мария Николаевна, к.б.н., ведущий научный сотрудник

Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра

Сибирского отделения Российской академии наук

ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625046, Российская Федерация

MNKazantseva@yandex.ru

Арефьев Станислав Павлович, д.б.н., старший научный сотрудник

Институт проблем освоения Севера Тюменского научного центра

Сибирского отделения Российской академии наук

ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625046, Российская Федерация

sp_arefyev@mail.ru

Соромотин Андрей Владимирович, д.б.н., доцент, директор научно-исследовательского института экологии и рационального использования природных ресурсов

Научно-исследовательский институт экологии и рационального использования природных ресурсов; Тюменский государственный университет

*ул. Шиллера, 34/4, г. Тюмень, 625048, Российская Федерация; ул. Пржевальского, 37/1, г. Тюмень, 625023, Российская Федерация
asoromotin@mail.ru*

Быкова Елена Александровна, к.б.н., старший научный сотрудник, заведующая лаборатории учета и кадастра редких видов животных
*Институт зоологии Академии Наук Республики Узбекистан
ул. Багишамол, 232б, г. Ташкент, 100053, Республика Узбекистан
ebykova67@mail.ru*

Сорокина Наталья Владимировна, к.б.н., доцент

*Тюменский государственный университет
ул. Пирогова, 3, г. Тюмень, 625043, Российская Федерация
natalya.v.sorokina@gmail.com*

Поступила 10.12.2024

После рецензирования 25.01.2025

Принята 24.02.2025

Received 10.12.2024

Revised 25.01.2025

Accepted 24.02.2025

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1248

EDN: IRRXEV

UDC 577.218:577.17:576.3



Original article

THE EFFECT OF OXIDATIVE STRESS ON EPIGENETIC REGULATION OF GENE EXPRESSION IN INTESTINAL CANCER

W.A. Jawad, N.M. Siraj

Abstract

Background. Cancer is caused by the accumulation of genetic and epigenetic changes in the oncogenes and tumor-substituting genes. The discovery of the epigenetic pathways that control gene expression has substantially progressed in understanding cancer biology.

Purpose. Investigation of epigenetic effects of oxidative stress on the regulation of gene expression in intestinal cancer.

Methods. DLD-1 colorectal adenocarcinoma cells were treated with the oxidant 2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) and the antioxidant hydroxytyrosol. Cellular viability, apoptosis, reactive oxygen species (ROS) production, and expression of key genes (CDH17, CXCL12, TGFB1) were examined.

Results. Hydroxytyrosol treatment improved DLD-1 cell viability in a time-dependent manner. AAPH-induced oxidative stress decreased cell viability and increased apoptosis and ROS production. Combination treatment with hydroxytyrosol and antioxidant enzymes enhanced these effects. Oxidative stress altered the expression of CDH17, CXCL12 and TGFB1, with TGFB1 showing a dose-dependent increase.

Conclusion. Oxidative stress influences epigenetic regulation of gene expression in intestinal cancer cells. Combination therapies targeting both oxidative stress

pathways and epigenetic mechanisms may be a promising approach for colorectal cancer treatment.

Keywords: epigenetic; gene expression; DLD-1; AAPH; oxidative stress; hydroxytyrosol

For citation. Jawad, W. A., & Siraj, N. M. (2025). The effect of oxidative stress on epigenetic regulation of gene expression in intestinal cancer. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 229-241. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1248>

Introduction

The discovery of the epigenetic pathways that control gene expression has substantially progressed in understanding cancer biology [1]. Cancer is caused by the accumulation of genetic and epigenetic changes in the oncogenes and tumor-substituting genes. Epigenetic variations influence human appearance, behavior, stress responses, disease susceptibility, and even longevity by affecting the individual's gene expression [2]. Cancer is a broad and heterogeneous term that defines a wide range of diseases affecting any part of the organism [3]. The disorders are known as multi-phase diseases characterized primarily by abnormal cells in tissues whose unconstrained development is beyond their limits. They can spread to other body parts by invading organs [4]. A lack of balance between reactive Oxygen Species Production (ROS) and antioxidant enzyme responses is known as oxidative stress [5].

Colorectal cancer (CRC) has a rising prevalence and mortality rates in various countries as a global public health issue. Different figures show that in countries with inadequate healthcare, the CRC incidence is rising. More complementary strategies have been used to recognize genes usually methylated for colon cancer. Fifty-six lines were analyzed for colon cancers, 22 non-cancerous colonic humans, and 14 lines of human colon cancer cells [6].

CRC is the third leading cause of male and female cancer mortality [7]. The human colorectal mucosa has been shown to have high rates of various OS markers, such as reactive oxygen species (ROS) that may also be involved in CRC formation [8]. OS is known to have a pathogenic function in producing ulcerative colitis (UC) and CCC [6]. Sub-oxide radicals (O_2), peroxide (H_2O_2 , H_2O), and hydroxyl radical (HO) are formed in such inflammatory conditions (ROS) at a higher concentration that they accumulate protein dysfunction and DNA damage that cause gene mutations [9].

The third most prevalent disease is Colorectal Cancer (CRC), accounting for around 9% of all cancer incidences worldwide. Additionally, the 4th most

common cause of cancer mortality is CRC [1]. The three central routes are the CRC pathway, the microsatellite instability path, and the clamped pathway; pathogenesis depends on different ways [10]. Most chromosomal chromosome segregation, telomere stability, and damage response characterize the CIN pathway. Various risk factors contribute to the onset and development of colorectal cancer, including environmental conditions, inactivity, smoking, drinking, diet, and obesity [6].

A tumor suppressor gene that plays a crucial role in regulating and propagating the intestine is a candidate tumor-specific transcription factor, caudal type homeobox-1. In colorectal cancers, colon cancer-derived cell lines are aberrantly dysregulated by encouraging hypermethylation [11]. The study explored epigenetic alterations in colorectal cell cancer that occur in reactive oxygen species (ROS) [12]. The effect of oxidative stress on tumor suppressor gene transcription is mainly unknown. The aimed of the study oxidative stress was examined for the epigenetic consequences of gene expression regulation in intestinal cancer.

Materials and methods

Materials

2 azobis poisons, 2(AAPH), 5-(- 6)- chloromethyl 20, 70-dichlorodihydro-fluorescein ester, and vital reagents like Turf antibodies utilized. The changed Bird's medium (DMEM), fetal cow-like serum, and glutamine were used in this review, given in nitrogen.

Cell culture

Human colorectal cancer cells were grown in a single layer at 37 °C in a 5 percent CO₂ incubator from the National Cancer Research Centre. The cells were developed in DMEM with 10% FBS, two mmol L⁻¹, L-glutamine, and 25 mg mL⁻¹, as defined in [13].

Cell treatment

DLD1 cells have been treated at (50) μmol L⁻¹ levels with AAPH for 24 and 48h; cells with 50 μmol L⁻¹ AAPH have hatched for 24 hours for both Grass and catalase contemplates. The McCoy Adjusted 5A medium contains 10% FBS, 0.1 mmol superfluous amino acids, and 50 units for every mL of gentamycin. Fifty units for each mL of penicillin, undyingly non-harmful human colon epithelial CRL1807 developed. In a 5% CO₂ hatchery, cells were held at 37°C.

Cell viability assays

The suitability of the cells was estimated by the [13] strategy 3-(4,5-dimethylthiazol); momentarily, cells treated with a 50 mL MTT arrangement (5 mg mL⁻¹) were brooded with 5% CO₂ for four hours at 37°C toward the finish of AAPH

medicines. The MTT arrangement was isolated, and the organizing arrangement was disintegrated in the designing system utilizing 100 mL DMSO. The harvest retention was estimated using a 560 nm frequency multi-well spectrophotometer (Apparition Max 190; Atomic Gadgets, Sunnyvale, CA). As OD esteems, the reasonability of the cells communicated. The discoveries are estimated in the control societies as the level of retention.

Apoptosis analysis

As indicated by the maker definition to evaluate the level of apoptotic cells, the twofold shading of the Annexin V-fluorescein Isothiocyanate (FITC)/propidium iodide (BD Pharmingen). In DMEM well plates, the DLD1 cells were developed to convert 80 to 90 percent. Cells in this way go through AAPH, Turf, or catalase treatment. The cells were washed with PBS toward the finish of the hatching cycle, processed with 0.25% trypsin/EDTA, and washed with PBS. The limiting cushion for the cells was 500 mL, and Annexin V-FITC/PI was added. Cytometry of stream was utilized to count the cells at room temperature after 5 min incubation.

ROS assay

Carboxy-H2DCFDA and oxidized carboxy-DCFDA have been utilized for the diclorofluoresce in (DCF) test. The preloaded Fluorescence with Carboxy-H2DCFDA was standardized to screen cell count, shading, and ester cleavage contrasts between the distinctive treatments bunches by preloading Carboxy-DCFDA (H2DCFDA/DCFDA proportion) with the fluorescence of preloaded cells.

Extraction and Preparation of RNA

Total RNA was separated using Qiagen's RNeasy units of the adenomatous polyps and ordinary mucosal cells (Valencia, CA). Without RNA, RNase tests have been treated with oligo (dT) and irregular preliminaries to dispose of sans genome DNA defilement using Superscript II (Invitrogen, Carlsbad, CA) (Invitrogen). The Applied Biosystems 5700 Grouping Locator Framework utilized 50 ng of cDNA from each example as a manual for enhancing the PCR utilizing explicit oligonucleotide groundworks (PE Applied Biosystems, Cultivate City, CA). PCR responses were completed using the SYBR Green PCR center unit coordinated by the maker (PE Applied Biosystems). Dissolving temperatures and dissociation bends affirmed the personality of the PCR items.

Gene Expression Assay

In view of past examinations, three critical qualities that are accepted to be adjusted in human colon disease articulation have been assessed. CDH17, CXCL12, and TGFB1 were made, and with Groundwork Express Programming, explicit preliminaries against every quality were planned. Groundworks have been created to develop just the cDNA layout further, but not the genomic

DNA format, as much as could be expected. The genomic DNA contaminations tried utilizing introductions for b-actin genomic DNA in all cDNA tests. The fluorescence of SYBR Green color attached to PCR items has been determined after each cycle to measure quality articulation. The cycle numbers are accounted for when the combined signs pass a self-assertive boundary (CT esteem). The CT esteems are utilized to assess the general significance of quality articulation.

Statistical analysis

An understudy T-test (for a correlation with two gatherings) and a single direction ANOVA measurable review were done (for a very long-time examination). The discoveries are viewed as medium $\pm$ SEM. All the multivariate ANOVA tests depended on Wilks' standard and were completed utilizing Log' values for the articulation [14].

Results

DLD-1 was exposure for performed Hydroxytyrosol 50 μ mol for 24 or 48 hours. Hydroxytyrosol's effect on DLD-1 viability was 89.13 after 24 hr, and was 98.11 after 48 hr, while the control showed that viability was 114.27. Higher value was after 24 hr, then after 48 hr, followed by control, as shown in (Table 1) and (Figure 1).

Table 1.

Effect of Hydroxytyrosol on the viability percentage of DLD-1 cells

	24 hr	48 hr	control
(50) μ mol	89.13	98.11	114.27

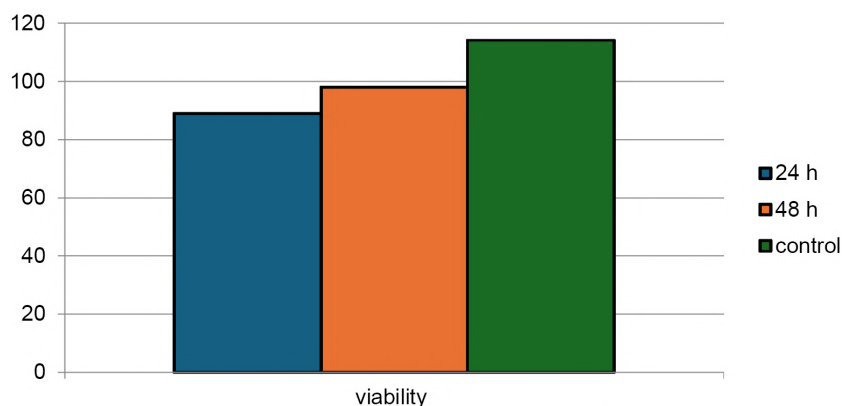


Fig. 1. The viability percentage of Hydroxytyrosol on DLD1 cells

After treatment, the effect of Hydroxytyrosol on cell viability was tested. The impact on the viability percentage of DLD1 on oxidative stress therapy cells, higher value was control, then SOD, catalase, hydroxytyrosol, HT + SOD, then HT + CAT, as shown in (Table 2) and (Figure 2).

Table 2.

Effect of oxidative stress treatment on % viability on DLD1 cells

Treatment	Viability %
SOD	92.15
Catalase	84.71
hydroxytyrosol	67.19
HT + SOD	46.18
HT + CAT	42.51
Control	100

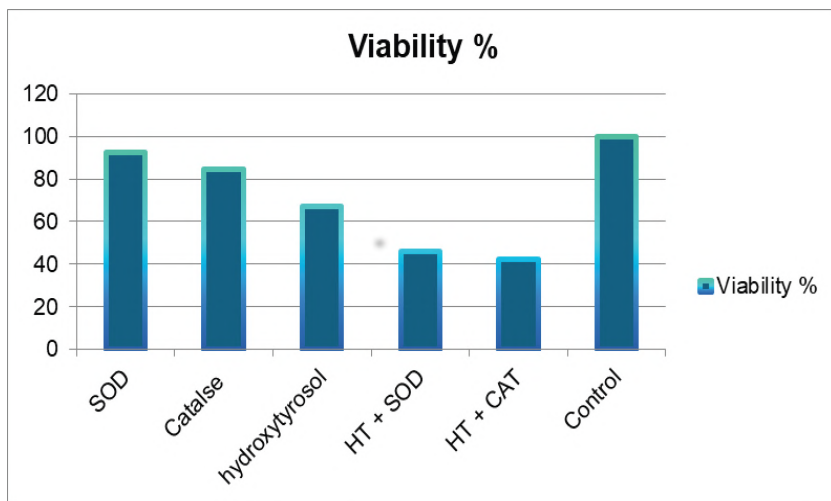


Fig. 2. Shows viability percentage on DLD1 cell lines

The effects of oxidative stress on DLD1 cells in producing H_2O_2 are showed 24-hour hydroxytyrosol treatment with H_2O_2 contributes to catalase activation. Also, the increased concentration of H_2O_2 and hydroxytyrosol activation was positive. Treatment of the cells with H_2O_2 has more activity than fold than untreated control cells hydroxytyrosol, as shown in (Table 3) and (Figure 3).

Table 3.

Effect of oxidative stress on the production of H₂O₂ on DLD1 cells

Treatment	% H ₂ O ₂
SOD	109.11
Catalase	88.45
hydroxytyrosol	143.18
HT + SOD	127.41
HT + CAT	116.72
Control	100

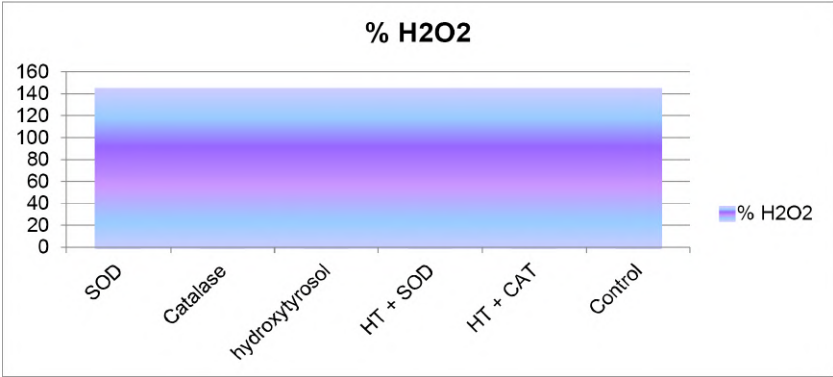


Fig. 3. Shows hydrogen peroxide percentage on DLD1 cell lines

The effect of programmed cell death DLD1 on human colon cancer cells is demonstrated in (Table 4). Colon cancer is the world’s leading cause of cancer death, with few patients surviving. HT + SOD presented at higher colon cancer death levels as shown in (Table 4) and (Figure 4).

Table 4.

Effect of oxidative stress on programmed cell death on DLD1 cells

Treatment	% Death
SOD	34.07
Catalase	5.17
hydroxytyrosol	57.19
HT + SOD	94.52
HT + CAT	54.65
Control	3.33

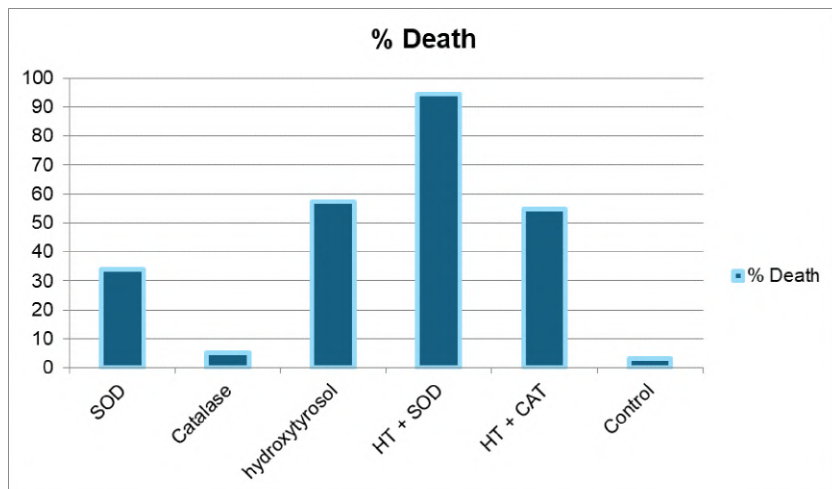


Fig. 4. Shows death percentage of the DLD1 cell lines

The effect of selected gene expression on human colon cancer (DLD1) cells of oxidative stress has been demonstrated that the expression levels CDH17, CXCL12, and TGFB1 of the three main proteins were examined to confirm proteins' participation. The results showed that TGFB1 expression increased by dose-dependent treatment (Table 5) and (Figure 5).

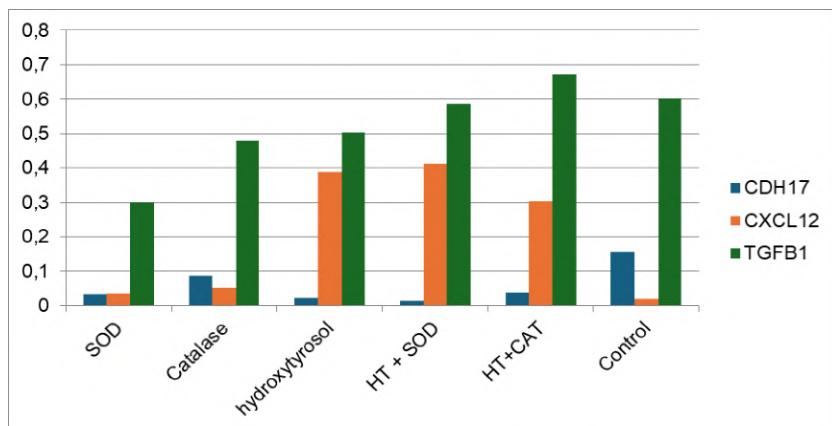


Fig. 5. Shows effect degree of the oxidative stress on selected gene expression on DLD1 cells

Table 5.

Effect of oxidative stress on selected gene expression on DLD1 cells

Treatment	CDH17	CXCL12	TGFB1
SOD	0.032*	0.035	0.301
Catalase	0.085*	0.052	0.480
hydroxytyrosol	0.023*	0.387	0.504
HT + SOD	0.015*	0.411	0.586
HT+CAT	0.038*	0.302	0.671
Control	0.157	0.019*	0.602

Values are the mean of three replicates, and * is significant at $p < 0.05$

Discussion

Hydroxytyrosol is released from the colon during acidification treatment, with a median recovery of around 33 percent compared with the initial amount [15]. The colon is degraded in the big intestine by a Microflora that induces Hydroxytyrosol's biological activity for large intestinal cells [10]. Hydroxytyrosol is a colon metabolite made from olive products by chemical synthesis [16].

The directional passive diffusion process typical for Hydroxytyrosol absorbed into the intestine [2] and [17] determined the bioavailability and exclusion of Hydroxytyrosol in humans. Hydroxytyrosol decreases the ROS level (reactive gene species of oxygen) and avoids oxidant damage to the breast cancer lines of MCF10A [9].

The percentage viability of human colon cancer cell lines via cell reduction, apoptotic body development, chromatin condensation, cell proliferation suppression, and cell viability reductions in colon cancer cell lines has a significant influence [11]. A recent study of the colon in human hepatoma cells in oleuropein showed that the dose was diminished [5]. The cell viability activates the caspase pathway, inducing apoptosis and eliminating the gene's expression. N-acetylcysteine reversed autophagy defects, cell viability loss, and hydroxytyrosol induction. The therapy of SOD and Hydroxytyrosol for human colon cancer resulted in dose-dependent proliferation inhibition. Colon caused by Hydroxytyrosol as confirmed by the SOD, Catalase, HT+SOD, and HT+CAT ratios of flow. Many experiments have shown the presence of reactive oxygen species [12].

Our data show that those 24 hours of H_2O_2 cell treatment contribute to depletion. More data indicates the inducement of mitochondrial dysfunction by oxidative stress [6]. Oxidative damage to the mitochondrial membrane's thiols leads to the opening of the permeability pores, reducing membrane potential

and inhibiting synthesis [18]. Many studies have shown that depletion can lead to cell death. In this analysis, the deficit caused by H_2O_2 may be a significant factor regarding this evidence.

Oxidative stress refers to a disturbance of redox signaling and regulation and molecular damage in processing antioxidants and oxidants for later purposes. However, prolonged ovarian treatment can lead to the development of different aging diseases, including cancer, but can cause damage to proteins, lipids, and nucleic acids [16].

In the cytosol, nucleus, and inter-membrane space of mitochondria, SOD transforms superoxide into hydrogen peroxide (H_2O_2) and molecular oxygen. By maintaining low superoxide levels in cytosol, SOD protects cells from oxidative stress and subsequent cell death. Different cells of SOD inhibition increased superoxide, decreased antioxidant glutathione activity, and increased intracellular concentrations of H_2O_2 [12].

The study found that hydroxytyrosol induction was responsible for HT-induced growth inhibition. The findings show that after 48 hours of treatment, HT-induced DLD1 cells were dose-dependent. Throughout the procedure, the sum further increased. In this study, the combination of HT treatment with SOD increased the gene expression significantly [13].

Conclusion

This study demonstrates that the epigenetic effects of oxidative stress are associated with the regulation of gene expression in intestinal cancer. The findings indicate that oxidative stress can influence the epigenetic landscape, leading to altered expression of key genes implicated in colorectal cancer pathogenesis. Importantly, combination treatments utilizing antioxidants and targeting specific epigenetic pathways showed enhanced effects on cell viability, apoptosis, and gene expression. These results suggest that therapies addressing both oxidative stress and epigenetic mechanisms may be an effective strategy for the treatment of intestinal cancers. Further investigation into the interplay between oxidative stress and epigenetic regulation in colorectal cancer is warranted to develop more targeted and personalized therapeutic approaches.

Ethics committee conclusion. All subjects gave their informed consent for inclusion before they participated in the study. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki, and the protocol was approved by the Ethics Committee in Basic Sciences, Al-Qadisiyah University of (no. 490 in 1th Mar. 2023).

Conflict of interest information. The authors have declared no conflict of interest.

Sponsorship information. This research received no external funding.

References

1. Donkena, K. V., Young, C. Y. F., & Tindall, D. J. (2010). Oxidative stress and DNA methylation in prostate cancer. *Obstetrics and Gynecology International*, 2010(1), 1–14.
2. Montgomery, M., & Srinivasan, A. (2024). Epigenetic gene regulation by dietary compounds in cancer prevention. *Advances in Nutrition*, 10(6), 1012–1028.
3. García-Guede, Á., Vera, O., & Ibáñez-de-Caceres, I. (2020). When oxidative stress meets epigenetics: Implications in cancer development. *Antioxidants*, 9(6), 468–480.
4. Sreevalsan, S., & Safe, S. (2013). Reactive oxygen species and colorectal cancer. *Current Colorectal Cancer Reports*, 9(4), 350–357. <https://doi.org/10.1007/s11888-013-0190-5>. EDN: <https://elibrary.ru/USKKQF>
5. Tor, Y. S., Yazan, L. S., Foo, J. B., Armania, N., Cheah, Y. K., Abdullah, R., Imam, M. U., Ismail, N., & Ismail, M. (2014). Induction of apoptosis through oxidative stress-related pathways in MCF-7, human breast cancer cells, by ethyl acetate extract of *Dillenia suffruticosa*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-55>. EDN: <https://elibrary.ru/DPSJKZ>
6. El-Tokhy, A. K., Zin, E. D. H., Foda, M., Moussa, G. I., & Abo, E.-N. S. E.-D. A. el-Fatah. (2018). The interplay between paraoxonase-1 and epigenetic changes in colorectal carcinoma. *African Journal of Biochemistry Research*, 12(7), 63–72.
7. Basak, D., Uddin, M. N., & Hancock, J. (2020). The role of oxidative stress and its counteractive utility in colorectal cancer (CRC). *Cancers*, 12(11), 3336–3369. <https://doi.org/10.3390/cancers12113336>. EDN: <https://elibrary.ru/PHXKFE>
8. Wijeratne, S. S. K., Cuppett, S. L., & Schlegel, V. (2005). Hydrogen peroxide induced oxidative stress damage and antioxidant enzyme response in Caco-2 human colon cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8768–8774. <https://doi.org/10.1021/jf0512003>. EDN: <https://elibrary.ru/XUBKTD>
9. Wang, J., Luo, B., Li, X., Lu, W., Yang, J., Hu, Y., Huang, P., & Wen, S. (2017). Inhibition of cancer growth in vitro and in vivo by a novel ROS-modulating agent with ability to eliminate stem-like cancer cells. *Cell Death & Disease*, 8(6), 2887–2896.

10. Cusimano, A., Balasus, D., Azzolina, A., Augello, G., Emma, M. R., Di Sano, C., Gramignoli, R., Strom, S. C., McCubrey, J. A., Montalto, G., & Cervello, M. (2017). Oleocanthal exerts antitumor effects on human liver and colon cancer cells through ROS generation. *International Journal of Oncology*, 51(2), 533–544.
11. Zhang, R., Kang, K. A., Kim, K. C., Na, S.-Y., Chang, W. Y., Kim, G. Y., Kim, H. S., & Hyun, J. W. (2013). Oxidative stress causes epigenetic alteration of CDX1 expression in colorectal cancer cells. *Gene*, 524(2), 214–219.
12. Arita, A., & Costa, M. (2014). Oxidative stress and the epigenome in human disease. *Journal of Genetics and Genome Research*, 1(2), 1–5.
13. Sun, L., Luo, C., & Liu, J. (2014). Hydroxytyrosol induces apoptosis in human colon cancer cells through ROS generation. *Food & Function*, 5(8), 1909–1914.
14. Robert, D. (2024). *Introductory biostatistics for the health sciences*. John Wiley & Sons: Awileg Medical Publication, 161–179.
15. Cheng, Y., He, C., Wang, M., Ma, X., Mo, F., Yang, S., Han, J., & Wei, X. (2019). Targeting epigenetic regulators for cancer therapy: Mechanisms and advances in clinical trials. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 4(1), 1–39. <https://doi.org/10.1038/s41392-019-0095-0>. EDN: <https://elibrary.ru/HJWSXI>
16. Gao, X., Zhang, Y., Burwinkel, B., Xuan, Y., Holleczeck, B., Brenner, H., & Schöttker, B. (2019). The associations of DNA methylation alterations in oxidative stress-related genes with cancer incidence and mortality outcomes: A population-based cohort study. *Clinical Epigenetics*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13148-018-0604-y>. EDN: <https://elibrary.ru/HMYSVB>
17. Song, L., Liu, J., Jin, X., Li, Z., Zhao, M., & Liu, W. (2014). *p,p'*-Dichlorodiphenyldichloroethylene induces colorectal adenocarcinoma cell proliferation through oxidative stress. In C. Liu (Ed.), *PLoS ONE*, 9(11), 1–11.
18. Kim, S. J., Noh, T. H., Son, S., Kim, D. H., Kim, W., Lee, Y., Choo, J., Heo, G., Kim, M. J., Chung, H. Y., Jung, Y., Jung, J. H., Moon, H. R., & Im, E. (2018). Novel β -phenylacrylic acid derivatives exert anticancer activity by inducing Src-mediated apoptosis in wild-type KRAS colon cancer. *Cell Death & Disease*, 9(9), 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41419-018-0942-x>. EDN: <https://elibrary.ru/GULTLE>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Widad Abed Jawad, PhD, Assistant Professor, Department of Basic Sciences
Al-Qadisiyah University

Al-Qadisiya, Iraq

widad.jwad@qu.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7305-4849>

Noor Mahmood Siraj, Master, Assistant Lecturer, Department of Basic Sciences

Al-Qadisiyah University

Al-Qadisiya, Iraq

noor.mahmoud@qu.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1820-9307>

Поступила 18.10.2024

После рецензирования 16.03.2025

Принята 14.04.2025

Received 18.10.2024

Revised 16.03.2025

Accepted 14.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1274

EDN: DGSTTB

УДК 577.336:57.037



Научная статья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИИ СВЕТОИЗЛУЧЕНИЯ, КАТАЛИЗИРУЕМОЙ ПЕРОКСИДАЗОЙ ХРЕНА

*Н.О. Ронжин, Е.Д. Посохина,
О.А. Могильная, В.С. Бондарь*

Аннотация

Обоснование. Благодаря своей высокой антиоксидантной активности кофейная кислота обладает рядом положительных фармакологических эффектов. Для количественного определения кофейной кислоты в различных препаратах в настоящее время используются такие физико-химические методы как жидкостная и газовая хроматографии, УФ-спектрофотометрия, капиллярный электрофорез с масс-спектрометрией. Однако, перечисленные методы являются достаточно сложными и многостадийными, требуют специализированного оборудования и значительных затрат времени. Это определяет потребность поиска новых способов определения кофейной кислоты, отличающихся простотой, чувствительностью и эффективностью ее обнаружения. В настоящей работе нами выявлен эффект излучения квантов света при окислении кофейной кислоты пероксидазой хрена, данная реакция явилась предметом нашего изучения.

Цель. Исследовать некоторые основные показатели реакции люминесценции при окислении кофейной кислоты пероксидазой хрена и оценить возможность определения кофейной кислоты с помощью предложенного люминесцентного метода.

Материалы и методы. В экспериментах использовали реактивы высокой степени чистоты: пероксидазу из корней хрена (horseradish root peroxidase – HRP), кофейную кислоту, раствор перекиси водорода. Водные растворы реактивов для проведения экспериментов готовили *in situ* в деионизированной воде. Интенсивность и динамику световой эмиссии реакций регистрировали на люминометре. Люминесцентные сигналы измеряли в режиме одно измерение в секунду и выражали уровень световой эмиссии в относительных единицах.

Результаты. Установлено, что в присутствии пероксида водорода HRP катализирует окисление кофейной кислоты с величиной $K_m = 1.4 \times 10^{-4}$ М и обеспечивает реакцию светоизлучения в широком диапазоне pH с максимумом световой эмиссии при pH 8. В экспериментах *in vitro* показана применимость катализируемой HRP люминесцентной реакции для быстрого выявления и определения концентрации кофейной кислоты в водной среде. Установлено, что линейное увеличение регистрируемого светового сигнала наблюдается в диапазоне концентраций аналита 20–200 мкМ.

Заключение. Выявленная реакция светоизлучения является перспективной аналитической платформой и открывает возможности создания на ее основе новых люминесцентных сенсоров для тестирования кофейной кислоты в различных препаратах и экстрактах из биологических источников.

Ключевые слова: кофейная кислота; пероксидаза корней хрена; пероксид водорода; люминесценция

Для цитирования. Ронжин, Н. О., Посохина, Е. Д., Могильная, О. А., & Бондарь, В. С. (2025). Определение кофейной кислоты с помощью реакции светоизлучения, катализируемой пероксидазой хрена. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 242-254. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1274>

Original article

DETERMINATION OF CAFFEIC ACID USING A LIGHT EMISSION REACTION CATALYZED BY HORSERADISH PEROXIDASE

*N.O. Ronzhin, E.D. Posokhina,
O.A. Mogilnaya, V.S. Bondar*

Abstract

Background. Due to its high antioxidant activity, caffeic acid has a number of positive pharmacological effects. For the quantitative determination of caffeic acid in various preparations, some physicochemical methods, such as liquid and gas chromatography, UV spectrophotometry, capillary electrophoresis with mass spectrometry, are currently used. However, it is worth noting, that these methods are quite complex and multi-stage, require specialized equipment and significant time costs. This determines the need to search for new methods for determining

caffeic acid, distinguished by simplicity, sensitivity and efficiency of its detection. In this work, we have revealed the effect of light quantum emission during the oxidation of caffeic acid by horseradish peroxidase; this reaction was the subject of our study.

Purpose. To investigate some of the main performances of the luminescence reaction during the oxidation of caffeic acid by horseradish peroxidase and to evaluate the possibility of determining caffeic acid using the proposed luminescence method.

Materials and methods. The experiments were performed using high-purity reagents: horseradish root peroxidase (HRP), caffeic acid, and hydrogen peroxide solution. Aqueous solutions of the reagents for the experiments were prepared *in situ* in deionized water. The intensity and dynamics of the light emission of the reactions were recorded using a luminometer. Luminescent signals were measured in the mode of one measurement per second and the level of light emission was expressed in relative units.

Results. It was found that HRP catalyzes the oxidation of caffeic acid in the presence of hydrogen peroxide with a K_m value of 1.4×10^{-4} M and provides a light emission reaction in a wide pH range with a maximum light emission at pH 8. *In vitro* experiments demonstrated the applicability of the HRP-catalyzed luminescent reaction for rapid detecting and determining the concentration of caffeic acid in an aqueous medium. A linear increase in the recorded light signal is ensured in the analyte concentration range of 20–200 μ M.

Conclusion. The obtained results indicate that the discovered light emission reaction is a promising analytical platform and opens up the possibilities of creating new luminescent sensors on its basis for testing caffeic acid in various preparations and extracts from biological sources.

Keywords: caffeic acid; horseradish root peroxidase; hydrogen peroxide; luminescence

For citation. Ronzhin, N. O., Posokhina, E. D., Mogilnaya, O. A., & Bondar, V. S. (2025). Determination of caffeic acid using a light emission reaction catalyzed by horseradish peroxidase. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 242–254. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1274>

Введение

Кофейная (3,4-дигидроксикоричная) кислота входит в группу ароматических фенольных соединений, имеющих фенилпропаноидную (С6–С3) структуру [4]. Она является широко распространенным вторичным метаболитом, который содержится практически во всех растениях, расти-

тельных продуктах (фрукты, овощи, злаки, чай, кофе, какао, и т.д.) [19] и встречается в высших грибах [14]. Благодаря высокой антиоксидантной активности кофейная кислота обладает рядом положительных фармакологических эффектов – в частности, проявляет противовоспалительное, противоопухолевое, антидиабетическое, иммуномодулирующее и нейропротекторное действие [20; 1; 15]. В настоящее время для мониторинга кофейной кислоты в различных препаратах используют разные физико-химические методы, например: жидкостную и газовую хроматографии [10; 18], УФ-спектрофотометрию [3], капиллярный электрофорез с масс-спектрометрией [12]. При этом следует сказать, что указанные методы являются достаточно сложными и многостадийными, включают ряд промежуточных процедур предварительной подготовки образцов, требуют специализированного оборудования и значительных затрат времени. Это определяет потребность поиска новых способов определения кофейной кислоты, отличающихся простотой, чувствительностью и эффективностью ее обнаружения. В частности, для тестирования кофейной кислоты в последние годы активно разрабатываются различные электрохимические сенсоры [2; 5] и биосенсоры [8; 9]. В то же время следует отметить, что в доступной научной литературе мы не нашли информации о сенсорах определения кофейной кислоты на основе люминесценции. В настоящей работе нами выявлен эффект излучения квантов света при окислении кофейной кислоты пероксидазой хрена, что явилось предметом нашего дальнейшего изучения.

Цель – исследовать некоторые основные показатели реакции люминесценции при окислении кофейной кислоты пероксидазой хрена и оценить возможность определения кофейной кислоты с помощью предложенного люминесцентного метода.

Материалы и методы исследования

В экспериментах использовали высокочистую пероксидазу из корней хрена (horseradish root peroxidase – HRP) (EC 1.11.1.7), поставляемую фирмой Sigma (США); кофейную кислоту высокой степени чистоты ($\geq 98.0\%$, HPLC) (Sigma, США); 3% раствор перекиси водорода (ООО Тульская фармацевтическая фабрика, Россия). Для исследований водные растворы HRP, кофейной кислоты и H_2O_2 готовили *in situ* в деионизированной воде ($18.2 \text{ M}\Omega/\text{см}$), полученной с помощью Milli-Q system (Millipore, США).

Способность HRP катализировать в присутствии пероксида водорода окисление кофейной кислоты с излучением квантов света оценивали сле-

дующим образом. При тестировании концентрация компонентов в водном объеме реакционной смеси 120 мкл составляла: 160 мкг/мл HRP; 0.02–1.33 mM кофейной кислоты; 3.7–147 mM пероксида водорода. Концентрации кофейной кислоты и H_2O_2 в реакционной смеси варьировали для изучения зависимостей интенсивности световой эмиссии. Эффективность функционирования HRP в реакции светоизлучения в зависимости от pH среды оценивали с использованием серии 50 mM Na-ацетатных буферов со значениями pH от 4 до 10.

Интенсивность и динамику световой эмиссии при тестировании регистрировали на люминометре GloMax[®] 20/20 (Promega BioSystems Sunnyvale, Inc., США). Измерения проводили следующим образом. В прозрачные пластиковые пробирки объемом 1.5 мл (Axygen Scientific, Inc., США) вносили водные растворы HRP и H_2O_2 . Пробирки устанавливали в измерительную камеру люминометра и регистрировали исходный уровень люминесценции образцов, который во всех случаях соответствовал уровню фонового шума прибора. После этого к содержащим фермент и пероксид водорода образцам добавляли 5 мкл водного раствора кофейной кислоты и вновь регистрировали интенсивность и динамику световой эмиссии. Люминесцентные сигналы тестировали в режиме одно измерение в секунду и выражали уровень световой эмиссии в относительных единицах. Каждый вариант измерения проводили в трех повторях.

Результаты и обсуждение

В исследованиях мы установили, что добавки кофейной кислоты в содержащую HRP и H_2O_2 реакционную смесь приводят к развитию люминесцентного сигнала, максимальная интенсивность которого превышает исходный уровень свечения от нескольких раз до нескольких десятков раз, в зависимости от концентрации добавляемого вещества. Как следует из полученных данных (рис. 1), после добавления кофейной кислоты к тестируемому образцу происходит быстрый (в течение 1–1.5 мин) рост уровня световой эмиссии с достижением максимума интенсивности. После этого наблюдается медленное (в течение 15–20 мин) экспоненциальное снижение светового сигнала (рис. 1). Рассчитанные константы скорости подъема (k_{rise}) и спада (k_{decay}) для реакции составили 0.055 и 0.006 соответственно. При этом следует отметить, что в контрольных экспериментах добавление пероксида водорода к образцам, содержащим только HRP, или только кофейную кислоту, не сопровождалось какими-либо изменениями исходного уровня их люминесценции.

Хорошо известно, что каталитическая активность HRP обеспечивается циклической окислительно-восстановительной трансформацией иона железа, входящего в состав гема активного центра фермента, и включает три ферментативные стадии (HRP, HRP-I, HRP-II) [6]. Это позволяет предполагать, что и катализируемое HRP окисление кофейной кислоты (как донора водорода) в присутствии H_2O_2 (как акцептора водорода) с излучением света осуществляется по такому же механизму и обеспечивает окислительно-восстановительными превращениями гемового железа в активном центре фермента.

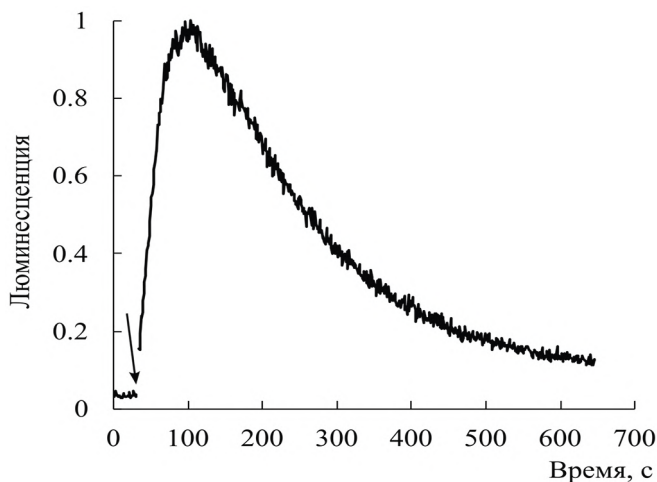


Рис. 1. Интенсивность и динамика люминесцентного сигнала, регистрируемого при окислении кофейной кислоты HRP в присутствии пероксида водорода. Стрелкой показан момент добавления кофейной кислоты в реакционную смесь HRP – H_2O_2 . Представленные данные нормированы на максимальное значение уровня световой эмиссии.

С использованием серии 50 мМ Na-ацетатных буферов со значениями pH от 4 до 10 в работе была изучена эффективность функционирования HRP в реакции окисления кофейной кислоты в зависимости от pH среды. Как показали эксперименты (рис. 2а), во всем указанном диапазоне pH фермент в присутствии H_2O_2 катализирует окисление кофейной кислоты с излучением квантов видимого света. При этом наибольшую каталитическую эффективность фермент проявляет в интервале pH от 7 до 9, обеспечивая максимальную световую эмиссию при pH 8.

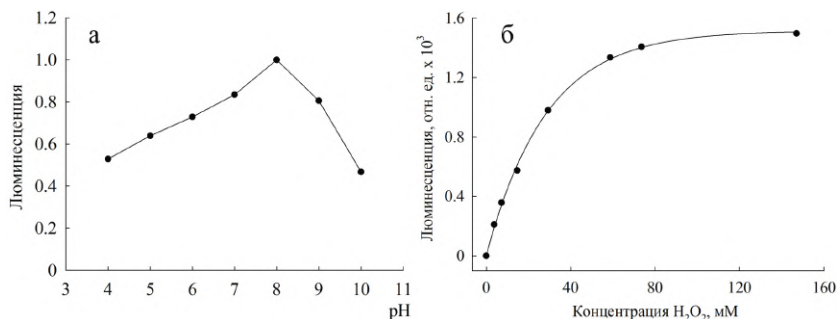


Рис. 2. Интенсивность люминесценции реакции HRP – H_2O_2 – кофейная кислота: (а) – в зависимости от pH среды, (б) – в зависимости от концентрации пероксида водорода. Данные на рисунке (а) нормированы на максимальное значение интенсивности световой эмиссии в ряду измерений.

Изучение влияния концентрации пероксида водорода на интенсивность люминесцентного сигнала катализируемой HRP реакции окисления кофейной кислоты показало следующее (рис. 2б). В диапазоне концентраций пероксида водорода 0–15 mM наблюдается практически линейная зависимость увеличения уровня световой эмиссии. При дальнейшем увеличении концентрации H_2O_2 в реакции рост интенсивности люминесценции замедляется и плавно выходит на плато при концентрации пероксида водорода выше 80 mM.

Варьирование концентрации кофейной кислоты в катализируемой HRP реакции позволило получить зависимость интенсивности регистрируемого люминесцентного сигнала от содержания субстрата в пробе (рис. 3). Расчеты константы Михаэлиса, проведенные из данных полученной зависимости, показали, что в использованных нами экспериментальных условиях HRP катализирует окисление кофейной кислоты с величиной K_m , составляющей 1.4×10^{-4} M. Анализ полученной зависимости показал, что в диапазоне концентраций кофейной кислоты 0–0.2 mM регистрируется практически линейное возрастание уровня световой эмиссии. Дальнейшее увеличение концентрации субстрата в реакции сопровождается нелинейным ростом интенсивности световой эмиссии с ее выходом на плато при концентрации кофейной кислоты около 0.7 mM. В результате, в работе нами была построена линейная калибровочная зависимость (коэффициент детерминации $R^2 = 0.99$) люминесцентного сигнала от концентрации кофейной кислоты, позволяющая проводить количественное определение данного аналита в диапазоне от 20 до 200 мкM (рис. 3, вставка). Получен-

ная в работе аналитическая область определения кофейной кислоты была оценена в сравнении с аналитическими диапазонами, которые обеспечивают некоторые другие разработанные сенсоры, основанные на разных принципах детекции (таблица 1). Анализ этого сравнения показал, что диапазон выявляемых концентраций кофейной кислоты при использовании люминесцентного метода сопоставим с порядками величин детектируемых концентраций этого аналита при использовании других методов.

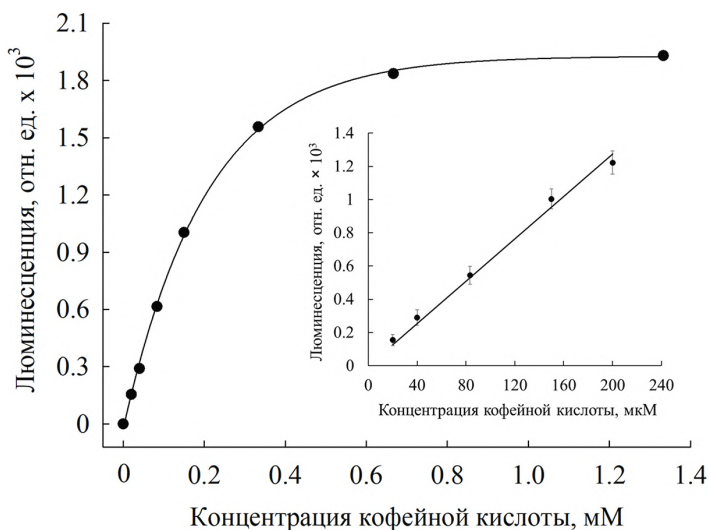


Рис. 3. Зависимость интенсивности люминесцентного сигнала от концентрации кофейной кислоты в водной пробе. На вставке: диапазон линейной зависимости интенсивности люминесцентного сигнала от концентрации кофейной кислоты (20–200 мкМ).

Таблица 1.

Сравнение аналитических диапазонов определения кофейной кислоты у ряда сенсоров, основанных на разных принципах детекции

Компонентный состав сенсора / реакции	Принцип	Линейный диапазон, мкМ	Ссылка на работу
CuZnOx/MWCNTs/GCE	Амперометрия	1–100	[13]
GO-PTC/SPE	Квадратно-волновая вольтамперометрия	5–100	[17]
Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-tyrosinase PEDOT-Тур	Циклическая вольтамперометрия	10–300	[7]

NGC/GCE	Хроноамперометрия	50–1000	[16]
G-quadruplex/hemin DNAzyme	Флуориметрия	2–350	[11]
HRP–H ₂ O ₂	Люминесценция	20–200	эта работа

Заключение

Совокупность экспериментальных данных проведенного исследования позволяет нам резюмировать полученные в работе результаты и сделать следующие выводы.

1. В представленной работе обнаружен эффект генерации квантов света при окислении кофейной кислоты пероксидазой из корней хрена (HRP) в присутствии пероксида водорода.

2. Установлено, что HRP в присутствии H₂O₂ катализирует окисление кофейной кислоты с величиной $K_m = 1.4 \times 10^{-4}$ М и обеспечивает реакцию светозлучения в широком диапазоне pH с максимумом световой эмиссии при pH 8.

3. В экспериментах *in vitro* продемонстрирована применимость катализируемой HRP люминесцентной реакции для быстрого выявления и определения концентрации кофейной кислоты в водной среде. Установлено, что при окислении кофейной кислоты, катализируемом HRP, линейное увеличение регистрируемого светового сигнала наблюдается в диапазоне концентраций аналита 20–200 мкМ.

4. В целом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что обнаруженная нами реакция окисления кофейной кислоты под действием HRP является перспективной аналитической платформой и открывает возможности для создания на ее основе новых люминесцентных сенсоров для практического применения в медицине и пищевой промышленности. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию предложенного метода тестирования и повышение его чувствительности.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2024-0018).

Список литературы / References

1. Alam, M., Ahmed, S., Elasbali, A. M., et al. (2022). Therapeutic implications of caffeic acid in cancer and neurological diseases. *Frontiers in Oncology*, 12,

860508. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.860508>. EDN: <https://elibrary.ru/LZZRHU>
2. Albu, C., Eremia, S. A. V., Veca, M. L., et al. (2019). Nano-crystalline graphite film on SiO₂: Electrochemistry and electro-analytical application. *Electrochimica Acta*, 303, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.02.093>. EDN: <https://elibrary.ru/IYYBSJ>
 3. Bounegru, A. V., & Apetrei, C. (2021). Laccase and tyrosinase biosensors used in the determination of hydroxycinnamic acids. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 4811. <https://doi.org/10.3390/ijms22094811>. EDN: <https://elibrary.ru/QGNTUC>
 4. Cai, N., Li, Y., Chen, S., et al. (2016). A fluorometric assay platform for caffeic acid detection based on the G-quadruplex/hemin DNAzyme. *Analyst*, 141, 4456–4462. <https://doi.org/10.1039/C6AN00543H>
 5. Deng, Y., & Lu, S. (2017). Biosynthesis and regulation of phenylpropanoids in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36, 257–290. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1402852>. EDN: <https://elibrary.ru/YFNCHR>
 6. Dodeigne, C., Thunus, L. N., & Lejeune, R. (2000). Chemiluminescence as diagnostic tool: A review. *Talanta*, 51, 415–439. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(99\)00294-5](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(99)00294-5). EDN: <https://elibrary.ru/LTTDQV>
 7. Duan, Q., Cao, J., & Zhang, J. (2012). Analysis of phenolic acids and their antioxidant activity by capillary electrophoresis-mass spectrometry with field-amplified sample injection. *Analytical Methods*, 4, 3027–3032. <https://doi.org/10.1039/C2AY25437A>. EDN: <https://elibrary.ru/RKNRGB>
 8. García-Guzmán, J. J., López-Iglesias, D., Cubillana-Aguilera, L., et al. (2019). Assessment of the polyphenol indices and antioxidant capacity for beers and wines using a tyrosinase-based biosensor prepared by sinusoidal current method. *Sensors*, 19, 66. <https://doi.org/10.3390/s19010066>
 9. Heleno, S. A., Martins, A., Queiroz, M. J., et al. (2015). Bioactivity of phenolic acids: Metabolites versus parent compounds: A review. *Food Chemistry*, 173, 501–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.057>
 10. Kalinke, C., Zanicoski-Moscardi, A. P., de Oliveira, P. R., et al. (2020). Simple and low-cost sensor based on activated biochar for the stripping voltammetric detection of caffeic acid. *Microchemical Journal*, 159, 105380. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105380>. EDN: <https://elibrary.ru/UVGMLF>
 11. Khan, F., Bamuniarachchi, N. I., Tabassum, N., et al. (2021). Caffeic acid and its derivatives: Antimicrobial drugs toward microbial pathogens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69, 2979–3004. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c07579>. EDN: <https://elibrary.ru/FNNKIH>

12. Oršolić, N., Sirovina, D., Odeh, D., et al. (2021). Efficacy of caffeic acid on diabetes and its complications in the mouse. *Molecules*, 26, 3262. <https://doi.org/10.3390/molecules26113262>. EDN: <https://elibrary.ru/WITWFA>
13. Razboršek, M. I., Ivanović, M., & Kolar, M. (2021). Validated stability-indicating GC-MS method for characterization of forced degradation products of trans-caffeic acid and trans-ferulic acid. *Molecules*, 26, 2475. <https://doi.org/10.3390/molecules26092475>. EDN: <https://elibrary.ru/IHWYEW>
14. Sikora, F. J., & McBride, M. B. (1990). Aluminum complexation by protocatechuic and caffeic acids as determined by ultraviolet spectrophotometry. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 78–86. <https://doi.org/10.2136/sssaj1990.03615995005400010012x>
15. Sorgi, C. A., de Campos Chaves Lamarque, G., Verri, M. P., et al. (2021). Multifaceted effect of caffeic acid against *Streptococcus mutans* infection: Microbicidal and immunomodulatory agent in macrophages. *Archives of Microbiology*, 203, 2979–2987. <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02290-x>. EDN: <https://elibrary.ru/VYNNNZ>
16. Trifan, A. G., & Apetrei, I. M. (2023). Development of novel electrochemical biosensors based on horseradish peroxidase for the detection of caffeic acid. *Applied Sciences*, 13, 2526. <https://doi.org/10.3390/app13042526>. EDN: <https://elibrary.ru/GZZLVG>
17. Tudose, M., Baratoiu-Carpen, R. D., Anghel, E. M., et al. (2021). A novel composite based on pyrene thiazole grafted on graphene oxide: Physico-chemical characterization and electrochemical investigations. *Materials Chemistry and Physics*, 262, 124315. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124315>. EDN: <https://elibrary.ru/UKGPRW>
18. Wang, X., Li, W., Ma, X., et al. (2015). Simultaneous determination of caffeic acid and its major pharmacologically active metabolites in rat plasma by LC-MS/MS and its application in pharmacokinetic study. *Biomedical Chromatography: BMC*, 29, 552–559. <https://doi.org/10.1002/bmc.3313>
19. Xie, A., Wang, H., Zhu, J., et al. (2021). A caffeic acid sensor based on CuZnOx/MWCNTs composite modified electrode. *Microchemical Journal*, 161, 105786. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105786>. EDN: <https://elibrary.ru/OIBXCP>
20. Zamarchi, F., Silva, T. R., Winiarski, J. P., et al. (2022). Polyethylenimine-based electrochemical sensor for the determination of caffeic acid in aromatic herbs. *Chemosensors*, 10, 357. <https://doi.org/10.3390/chemosensors10090357>. EDN: <https://elibrary.ru/UCKHOE>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ронжин Никита Олегович, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории нанобиотехнологии и биолюминесценции

*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
roniol@mail.ru*

Посохина Екатерина Дмитриевна, м.н.с. лаборатории нанобиотехнологии и биолюминесценции

*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
posokhinaed@bk.ru*

Могильная Ольга Алексеевна, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории нанобиотехнологии и биолюминесценции

*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
ol_mog@mail.ru*

Бондарь Владимир Станиславович, доктор биол. наук, заведующий лабораторией нанобиотехнологии и биолюминесценции

*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
bondvs@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nikita O. Ronzhin, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Nanobiotechnology and Bioluminescence

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS

50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

roniol@mail.ru

SPIN-code: 1369-0940

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0735-3362>

Scopus Author ID: 55619945000

Ekaterina D. Posokhina, Junior Researcher, Laboratory of Nanobiotechnology and Bioluminescence

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS

50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

posokhinaed@bk.ru

SPIN-code: 9160-4279

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8276-9213>

Scopus Author ID: 57212486616

Olga A. Mogilnaya, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Nanobiotechnology and Bioluminescence

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS

50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

ol_mog@mail.ru

SPIN-code: 7083-0380

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1792-1602>

Scopus Author ID: 6507466380

Vladimir S. Bondar, Doctor of Biological Sciences, Head of Laboratory of Nanobiotechnology and Bioluminescence

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS

50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation

bondvs@mail.ru

SPIN-code: 8382-4517

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1555-6514>

Scopus Author ID: 7005781920

Поступила 15.01.2025

После рецензирования 20.02.2025

Принята 06.03.2025

Received 15.01.2025

Revised 20.02.2025

Accepted 06.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1220

EDN: SFEDPC

УДК 636.977:599.591.4+575.2



Научная статья

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ (*RANGIFER TARANDUS* L.) В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МАЛОЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ И СЕВЕРНОГО ТИМАНА

Т.М. Романенко

Аннотация

Обоснование. Северный олень (*R. tarandus*) – адаптированный вид животных, разведением которого широко занимаются в северных регионах Российской Федерации. Территориально организованный выпас стадного содержания животных в ландшафтно-экологических условиях с регламентируемыми режимами природопользования отличающиеся большим разнообразием на территории Ненецкого автономного округа, создает определённые ограничения, на которые организмы реагируют по-разному в зависимости от их силы. В северном оленеводстве популяция (олeneводческое хозяйство) представлена в основном несколькими стадами (субпопуляциями), за каждым из которых закреплён земельный участок и определён маршрут выпаса по сезонам года. Субпопуляция рассматривается как самостоятельная генетическая система, которая несёт в себе историю формирования структуры. Отсутствие знаний о генетическом и морфологическом разнообразии северных оленей на уровне отдельных стад производящие выпас в разных экологических условиях создаёт угрозу сохранения биологического разнообразия.

Цель. Оценка генетической дифференциации и фенотипической изменчивости субпопуляций северных оленей Малоземельской и Тиманской тундр.

Материалы и методы. Для генетической характеристики 6 субпопуляций провели анализ по 9 микросателлитным локусам. Для анализа использовали кусочки тканей, отобранные во время очистки рогов животных и убойной компаниии. Для контроля изменчивости признаков использовали анализ РСА по

семи наиболее информативным экстерьерным показателям самок и самцов, определили параметры распределения показателя глубины груди как одного из основных селекционных признаков.

Результаты. Анализ полученных данных дает представление о аллельном и генетическом разнообразии 6 субпопуляций. Установлены причинно-следственные связи, определяющие характер миграции и интенсивности потока генов. По результатам сравнительного анализа экстерьерных показателей на территории выявлены морфологически различающиеся группы животных.

Заключение. Полученные результаты о генетическом и морфологическом разнообразии северных оленей имеют большое значение для селекционно-племенной работы и могут быть использованы для освежения крови племенных и пользовательных стад.

Ключевые слова: *Rangifer tarandus* L.; субпопуляция; генетическое разнообразие; фенотипическая изменчивость; племенная работа, микросателлитные локусы

Для цитирования. Романенко, Т. М. (2025). Генетическая дифференциация и фенотипическая адаптация северных оленей (*Rangifer tarandus* L.) в экологических условиях Малоземельской тундры и Северного Тимана. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 255-277. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1220>

Original article

GENETIC DIFFERENTIATION AND PHENOTYPIC ADAPTATION OF REINDEER (*RANGIFER TARANDUS* L.) IN THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE MALOZEMELSKAYA TUNDRA AND NORTHERN TIMAN

T.M. Romanenko

Abstract

Background. The reindeer (*R. tarandus*) is an adapted animal species, which is widely bred in the northern regions of the Russian Federation. Territorially organised grazing of herd animals in landscape-ecological conditions with regulated regimes of nature use, which are very diverse on the territory of the Nenets Autonomous distric, creates certain restrictions to which organisms react differently de-

pending on their strength. In reindeer husbandry, the population (reindeer farm) is mainly represented by several herds (subpopulations), each of which has a land plot assigned and a grazing route determined by the seasons. The subpopulation is considered as an independent genetic system, which carries the history of the formation of the structure. The lack of knowledge about the genetic and morphological diversity of reindeer at the level of individual herds grazing in different environmental conditions poses a threat to the conservation of biological diversity.

Purpose. Assessment of genetic differentiation and phenotypic variability of reindeer subpopulations in the Malozemelskaya and Timanskaya tundras.

Materials and methods. For the genetic characteristics of 6 subpopulations, an analysis was performed on 9 microsatellite loci. For the analysis, pieces of tissue were used, selected during the cleaning of the horns of animals and the slaughter company. To control the variability of traits, PCA analysis was used for seven of the most informative exterior indicators of females and males, and the parameters of the distribution of the breast depth index as one of the main breeding characteristics were determined.

Results. The analysis of the obtained data gives an idea of allelic and genetic diversity of 6 subpopulations. The cause-and-effect relationships determining the nature of migration and intensity of gene flow have been established. Based on the results of comparative analysis of exterior parameters, morphologically distinct groups of animals were identified.

Conclusions. The results obtained on the genetic and morphological diversity of reindeer are of great importance for selection and breeding work and can be used to freshen the blood of breeding and commercial herds.

Keywords: Rangifer tarandus L.; subpopulation; genetic diversity; phenotypic variability; breeding; microsatellite loci

For citation. Romanenko, T. M. (2025). Genetic differentiation and phenotypic adaptation of reindeer (*Rangifer tarandus* L.) in the ecological conditions of the Malozemelskaya tundra and Northern Timan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 255-277. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1220>

Введение

Северный олень (*R. tarandus*) адаптированный вид животных, разведением которого широко занимаются в северных регионах Российской Федерации [1, с. 3-5; 2]. Происходящие процессы изменения климата, наряду с распространением болезней, не имеющих защиты, интенсификацией промышленного освоения арктических территорий ставит задачу в части сохранения биологического разнообразия северных оленей [3, с. 28-37; 4,

с. 163-168; 5, с. 54-60]. Территория Ненецкого автономного округа вытянута почти на тысячу километров полосой вдоль морей Северного Ледовитого океана, которая представлена крупными геоморфологическими районами: Канино-Тиманская тундра, Малоземельская тундра, Большеземельская тундра и острова Баренцева моря – Колгуев и Вайгач, агроклиматическими районами: субарктический, полярный и подзонами растительности: типичная тундра, южно-кустарничковая тундра, лесотундра [6, с. 7-27].

Территориально организованный выпас стадного содержания животных в ландшафтно-экологических условиях с регламентируемыми режимами природопользования отличающиеся большим разнообразием на территории округа, создает определённые ограничения, на которые организмы реагируют по-разному в зависимости от их силы [7, с. 74-92; 8 с. 1177-1187].

Популяция (оленоводческое хозяйство) в северном оленеводстве представлена в основном несколькими стадами (субпопуляциями), за каждым из которых закреплён земельный участок и определён маршрут выпаса по сезонам года. На процесс формирования пороодообразующих факторов северных оленей оказывают влияние не только природно-климатические условия и кормовая база, но и искусственный отбор для сохранения и размножения особей с желаемой комбинацией признаков [9, с. 10; с. 51-61; 11, с. 80-104]. Субпопуляция (стадо) рассматривается как самостоятельная генетическая система, которая несёт в себе историю формирования структуры [12, с. 80-84; 13, с. 1175-1183].

В настоящее время одной из проблем является отсутствие знаний о генетическом и морфологическом разнообразии северных оленей на уровне отдельных стад (субпопуляций) оленеводческих хозяйств производящие выпас в разных экологических условиях. Изучение миграции и интенсивности потока генов между ними требует выяснения характера их перемещения.

Цель исследований

Дать оценку генетической дифференциации и фенотипической изменчивости субпопуляций северных оленей, пространственно размещённых на территории Малоземельской тундры и Северного Тимана.

Материалы и методы

В работе использовали пробы тканей (мышц, кожи) и промеры домашних северных оленей ненецкой породы субпопуляций, расположенных на

территории двух геоморфологических районов Малоземельской тундры и восточной части Северного Тимана Ненецкого автономного округа.

Для сравнительного анализа послужили шесть пространственно разобщенных субпопуляций СРО «Табседа» (TABS), СРО «Илебц» (ILB), СРО «Опседа» (OPS), СПК «Инди́га», бригада № 1 (IND1), бригада № 8 (IND8), бригада № 1 АО НАК (NAC1), Экологическая характеристика биотопов субпопуляций представлена описанием условий обитания (геоморфологический и агроклиматический район, подзоны растительности, среднегодовая относительная влажность воздуха, %) и их местоположением [14, с. 21-29] (табл. 1., рис. 1).

Сравнительный анализ аллелофонда и генетического разнообразия внутривидовой изменчивости проводили с использованием ДНК-профилей 9 STR-маркеров шести субпопуляций IND8 – 64 гол., IND1 – 32 гол., TABS – 94 гол., OPS – 48 гол., VTU– 33 гол., NAC1– 58 гол.

Таблица 1.

Экологическая характеристика биотопов

№ п/п	Субпопуляция	Код выборки	Описание биотопа (геоморфологический и агроклиматический район, подзоны растительности, среднегодовая относительная влажность воздуха, %)
1	СРО «Табседа»	TABS	Малоземельская тундра, субарктический западный район, типичная и южная тундра, 88 %
2	СРО «Вы Ту»	VTU	Малоземельская тундра, субарктический западный район типичная тундра, 88 %
3	СРО «Опседа»	OPS	Малоземельская тундра, субарктический западный район, южная тундра, 85 %
4	СРО «Илебц»	ILB	Малоземельская тундра, субарктический район западный, типичная и южная тундра, 88 %
5	СПК «Инди́га», бригада № 1	IND1	Тиманская тундра (Северный Тиман), субарктический западный и полярный район, южная тундра и лесотундра, 82 %
6	СПК «Инди́га», бригада № 8	IND8	Малоземельская тундра, субарктический район, южная тундра и лесотундра, 82-83,5 %
7	АО НАК, бригада № 1	NAC1	Малоземельская тундра, субарктический западный и полярный район, южная тундра и лесотундра, 82 %.

Примечание: СПК – сельскохозяйственный производственный кооператив, СРО – семейно-родовая община.

ДНК-тестирование проводили в лаборатории функциональной и эволюционной геномики животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста методом анализа полиморфизма микросателлитной ДНК. Выделение ДНК осуществлялось с использованием колонок фирмы Nexttec («Nexttec Biotechnologie GmbH», Германия) и с 2022 года наборов ДНК-Экстан-2 (ЗАО «Синтол», Россия) согласно рекомендациям фирм-изготовителей. ПЦР-анализ проведен по 9 микросателлитным локусам (NVHRT 21, NVHRT 24, NVHRT 76, RT1, RT6, RT7, RT9, RT27 и RT30) [15, с. 756-765]. Полученные фрагменты ДНК визуализировали посредством фрагментного анализа с помощью программного обеспечения Gene Mapper v. 4 на генетическом анализаторе ABI3130xl («Applied Biosystems», США).



Рис. 1. Местоположение субпопуляций домашнего северного оленя в границах Малоземельской тундры и Северного Тимана Ненецкого автономного округа
Коды выборок: TABS – СРО «Табседа», VTU – СРО «Вы Ту», OPS – СРО «Опседа», IND8 – бригада № 8 СПК «Индига», IND1 – бригада № 1 СПК «Индига», NAC1 – бригада № 1 АО НАК.

В программе GenAlEx 6.5 рассчитывали показатели аллельного разнообразия, включая эффективное число аллелей (N_e), число частных аллелей (Pr), процент общих аллелей, ожидаемую (H_e) и наблюдаемую (H_o) гетерозиготность, индекс разнообразия Шеннона (I), коэффициент

инбридинга особи относительно субпопуляции (F_{is}) с доверительным интервалом (CI) 95 % и генетические дистанции по М. Nei. Аллельное разнообразие (Ar) вычисляли с использованием алгоритма «разрежения» [16, с. 2537-2539; 17, с. 539-543].

Дендрограмма генетической изменчивости между субпопуляциями была построена на основе генетических расстояний по М. Nei методом невзвешенной попарно-групповой кластеризации (UPGMA) с использованием бутстрэп-анализа для 100 реплик [18, с. 337-354; 19, с. 1125-1134].

Модель возможных миграций между субпопуляциями на основе числа мигрантов на поколение (Nm) реализовывали в R-пакете *divMigrant* [20, с. 3467-3475].

Для вычисления коэффициента корреляции между генетическими и географическими дистанциями субпопуляций использовали тест Мантелла (999 permutations) [21, с. 209-220].

Для сравнения применили полученные данные генетического разнообразия субпопуляции ILB (СПО Илебц) авторов Доцев А.В. и др. [13, с. 1175-1183] и Денискова Т.Е. и др. [22, с. 1152-1161].

Для определения нормальности распределения показателя глубины груди самок и самцов старше 5,5 лет четырех субпопуляций, как одного из основных селекционных признаков проводили вычисления асимметрии (A_s) и эксцесса (E_x). Глубину груди животных определяли с помощью мерной палки Лидтена осенью в период их наивысшей продуктивности.

Анализ главных компонент (Principal Components Analysis, PCA) по наиболее информативным экстерьерным признакам (высота в холке, глубина груди, ширина груди, обхват груди за лопатками, косая длина туловища, длина головы, обхват пясти) самок и самцов 4 субпопуляций проводили с помощью программы Statistica for Windows, v. 8.0 (StatSoft Inc., США).

Результаты исследований

Генотипическая характеристика субпопуляций

Число исследованных аллелей в микросателлитных локусах варьировало в зависимости от маркера и составляло 4 – 11 (OPS), 5 – 11 (TABS, IND9), 6 – 11 (VTU), 5 – 10 (IND1), 6 – 14 (NAC1). Равные числа аллелей в таких маркерах, как NVHRT24, RT7 и RT30 наблюдали в трех субпопуляциях (TABS, IND8 и IND1).

Показатели аллельного богатства (Ar) варьировали от 4,07 (IND8) до 5,12 (NAC1).

Таблица 2.

Аллельное и генетическое разнообразие субпопуляций северных оленей

Субпопуляция	<i>n</i>	<i>Ar</i>	%	N_e	H_o	H_e	<i>I</i>	F_{is}
TABS	94	4.49	77.7	4.46	0.662	0.749	1.665	0.116[-0.103; 0.607]
VTU	33	4.64	69.7	4.58	0.623	0.762	1.737	0.179[-0.114; 0.425]
OPS	48	4.42	50	4.44	0.657	0.755	1.672	0.127[-0.027; 0.327]
IND8	60	4.07	79.7	3.97	0.602	0.723	1.527	0.162[-0.083; 0.425]
IND1	32	4.65	53.1	4.84	0.691	0.768	1.718	0.100[-0.080; 0.425]
NAC1	58	5.12	76	5.96	0.588	0.809	1.944	0.263[-0.071; 0.460]

Примечание: *n* – число животных, *Ar* – аллельное обогащение после разрежения, % – процент общих аллелей, N_e – число эффективных аллелей, H_o и H_e – наблюдаемая и ожидаемая гетерозиготность, *I* – индекс разнообразия Шеннона, F_{is} – коэффициент инбридинга особи относительно субпопуляции.

Значения индекса Шеннона (*I*) варьировали от 1,527 (IND8) до 1,944 (NAC1) и свидетельствовали о высоком аллельном разнообразии (табл.2). Процент общих аллелей находился на уровне от 50 % (OPS) до 79,7 % (IND8). Полученные частоты генотипов по 9 STR-маркерам, выявили положительные значения F_{is} , что показывало на смещение генетического равновесия в сторону дефицита гетерозигот от 0,100 (IND1) до 0,263 (NAC1). При этом наибольший коэффициент инбридинга наблюдался в трех субпопуляциях IND8 (0,162), VTU (0,179), NAC1 (0,263) и ILB (0,257). Наиболее низкими показателями характеризовались IND1(0,100) и TABS (0,116).

Высокая частота ожидаемой гетерозиготности (H_e) была выявлена во всех выборках в пределах 0,723 (IND8) – 0,809 (NAC1), что свидетельствовало о большей открытости изучаемых субпопуляций и высоком уровне полиморфизма.

Наибольшим аллельным и генетическим разнообразием среди субпопуляций выделялась NAC1 (*Ar* = 5,12) как по числу эффективных аллелей (N_e) 5,96, так и показателями ожидаемой гетерозиготности (H_e) 0,809 и индекса Шеннона (*I*) 1,944.

Приватные аллели идентифицированы во всех субпопуляциях, кроме IND1, принадлежащие 7 STR-маркерам из 9, которые можно рассматривать в качестве популяционно-специфических (табл. 3). Наибольшим числом приватных аллелей характеризовались NAC1 и VTU (35,3 % и 29 % соответственно), у которых было обнаружено большее число аллелей для локуса RT30.

Парные значения *Fst*, рассчитанные по 9 STR-маркерам характеризуют степень дифференциации между изучаемыми субпопуляциями. По клас-

сификации Hartl et al. (1997) большая часть значений индекса фиксации имела незначительную дифференциацию (0.017 – 0.049), умеренная обнаружена между NAC1– IND8 (0,060) и NAC1– TABS (0,051) (табл. 4).

Таблица 3.

Приватные аллели

Субпопуляция	STR- маркер	Аллель	Частота аллеля
IND8	RT27	109	0.008
IND8	RT27	115	0.008
VTU	NVHRT 24	147	0.045
VTU	RT30	180	0.030
VTU	RT30	222	0.030
VTU	RT1	139	0.015
VTU	RT7	236	0.015
OPS	RT1	247	0.011
OPS	RT7	234	0,011
TABS	RT1	217	0.016
TABS	RT7	233	0.005
NAC1	RT9	114	0.017
NAC1	RT30	182	0.009
NAC1	RT30	212	0.009
NAC1	RT30	214	0.017
NAC1	RT30	218	0.017
NAC1	NVHRT21	176	0.069

Таблица 4.

Генетические дистанции между субпопуляциями северных оленей

Субпопуляция	IND8	VTU	IND1	OPS	TABS	NAC1
IND8	0.000	0.155	0.112	0.128	0.182	0.477
VTU	0.030	0.000	0.274	0.200	0.246	0.410
IND1	0.023	0.042	0.000	0.071	0.130	0.394
OPS	0.024	0.034	0.017	0.000	0.094	0.279
TABS	0.030	0.039	0.022	0.017	0.000	0.423
NAC1	0.060	0.049	0.047	0.038	0.051	0.000

Примечание: над диагональю – несмещенные дистанции по M.Nei, под диагональю – попарные значения *F_{st}*

Географически удаленные субпопуляции характеризовались разными дистанциями TABS – IND8 (0,030) и VTU – IND8 (0,030), TABS – OPS

(0,017) и TABS – NAC1 (0,051), ILB – IND8 (0,018). В то время тесно граничащие между собой TABS – VTU (0,039), TABS – ILB были наиболее дифференцированы.

На дендрограмме субпопуляционных взаимоотношений, построенной методом UPGMA на основе генетических расстояний M.Nei субпопуляции NAC1 и VTU формировали отдельные ветви с высоким уровнем надежности, остальные были представлены единым кластером.

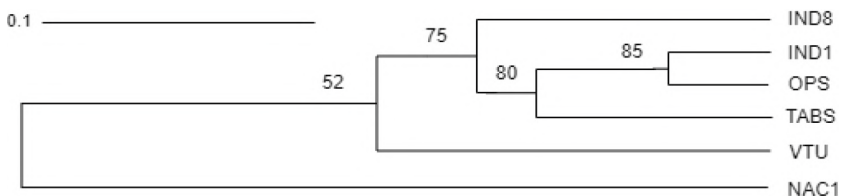


Рис. 2. Дендрограмма субпопуляционных взаимоотношений, построенная методом невзвешенной попарно-групповой кластеризации (UPGMA) на основе генетических расстояний M.Nei

При F_{st} равном 0,058, отражающим степень подразделенности субпопуляций, 94,2 % приходилось на генетическую изменчивость внутри субпопуляций и лишь 5,8 % на изменчивость между стадами, что указывает на их генетическую однородность. Поток генов между стадами (N_m) был на уровне 5,33. Интенсивность обмена генами в шести субпопуляциях составляла в среднем 5 мигрантов на поколение. Наибольший вклад в генетическую дифференциацию субпопуляций из 9 микросателлитов вносят три локуса RT30 (10,7 %), RT7 (9,1%) и NVHRT24 (8,9 %).

Модель направленных миграционных потоков с помощью критерия (Nm) отражает характер миграции и потока генов между 6 субпопуляциями и вероятность того, что эти события произошли (P_m). При этом между географически удаленными субпопуляциями OPS – TABS, OPS – IND1 и TABS – IND1, была выявлена максимальная степень миграции ($P_m \geq 0.95$), где OPS выступает в качестве донора потока генов. Напротив, субпопуляция NAC1, характеризующаяся высоким генетическим разнообразием представлена реципиентом ($P_m \geq 0.45$) (рис.3).

Фенотипическая изменчивость признаков

Для контроля изменчивости признаков северных оленей в изучаемых субпопуляциях, сформировавшиеся на разных природных биотопах, важным является определение параметров распределения экстерьерных показателей, которые разработали на примере показателя глубины груди как одного из ос-

новых селекционных признаков, по которому судят о крепости животных, их выносливости и приспособленности к условиям среды обитания [24, с. 37-40].

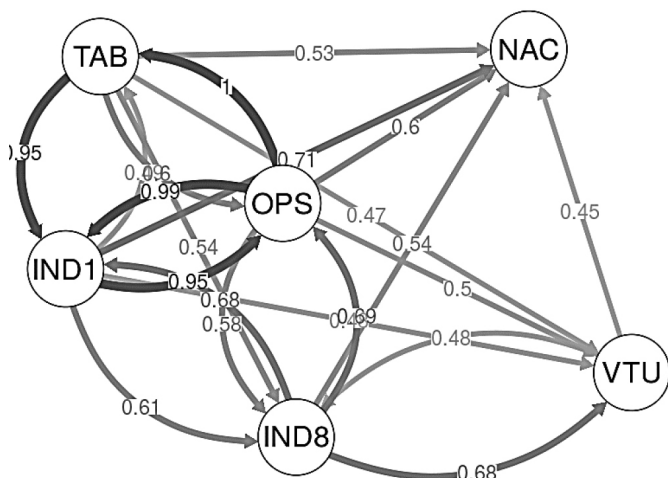


Рис. 3. Модель миграционных потоков между 6 субпопуляциями северных оленей

Более глубокой грудью отличались самки и самцы IND1(42,5; 47,8), IND8 (43,2; 47,5) и NAK1 (42,8; 47,3) от TABS (41,3; 44,7) с достоверной разницей у самок при $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$, у самцов ($p < 0,01$) соответственно.

Показатели глубины груди имели различие по полу. Самки отличались наибольшей изменчивостью по этому признаку 3,9 – 5,2 % в сравнении с самцами 2,9 – 4,7 %. Степень варьирования признака характеризовалась слабой изменчивостью и не превышала 10 %.

Показатели, характеризующие симметричность распределения (асимметрии, A_s) и особенность распределения вариант выборки около центра (эксцесса, E_x) глубины груди имели различия в пределах пола, как внутри субпопуляций, так и между ними (табл. 5). Так, у самцов показатели асимметрии и эксцесса принимали отрицательный характер и находились в пределах от -0,502 до -0,111 и от -1,77 до -0,89 соответственно. У самок показатели асимметрии и эксцесса были значительно ниже от 0,167 до -0,053 и от 0,2 до -0,089 соответственно и принимали как отрицательный, так и положительный характер. Положительная асимметрия и эксцесс наблюдались у самок IND8 (0,167 и 0,089), характеризующий признак наиболее однородным со

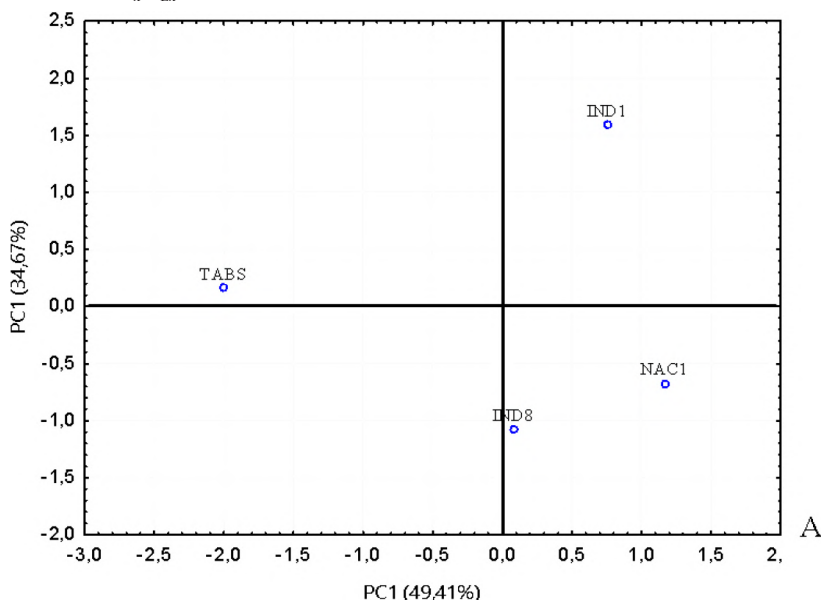
сдвигом вправо. Самки TABS по глубине груди имели отрицательную асимметрию (-0,188) и положительный эксцесс (0,2), однородность признака со сдвигом влево. Значимые отклонения асимметрии и эксцесса не выявлены.

Таблица 5.

Параметры распределения показателя глубины груди северных оленей

Субпопуляция	Пол	$\bar{X}$	SEM	C_v %	A_s	tA_s	A_{sp}	E_x	tE_x
TABS	самки	41.3	2.129	5.2	-0.188	0.32	0.31	0.2	0.265
	самцы	44.7	1.855	4.14	-0.111	0.18	-0.75	-0.89	1.262
IND8	самки	43.2	1.874	4.33	0.167	0.29	0.44	0.089	0.118
	самцы	47.5	1.355	2.49	-0.502	0.82	-0.54	-0.98	1.960
IND1	самки	42.5	1.662	3.91	-0.240	0.39	0.71	-0.75	1.134
	самцы	47.8	2.154	4.7	-0.317	0.51	1.21	-1.77	2.966
NAC1	самки	42.8	2.377	5.07	-0.053	0.09	0.24	-0.76	1.007
	самцы	47.3	1.333	2.91	-0.281	0.46	-0.69	-1.17	2.340

Примечание: $\bar{X}$ – среднее значение, SEM – стандартная ошибка, C_v – коэффициент вариации, %, A_s – коэффициент асимметрии Пирсона, tA_s – соотношение A_s/S_{A_s} , A_{sp} – структурный коэффициент асимметрии Пирсона; E_x – эксцесс, tE_x – соотношение E_x/S_{E_x} .



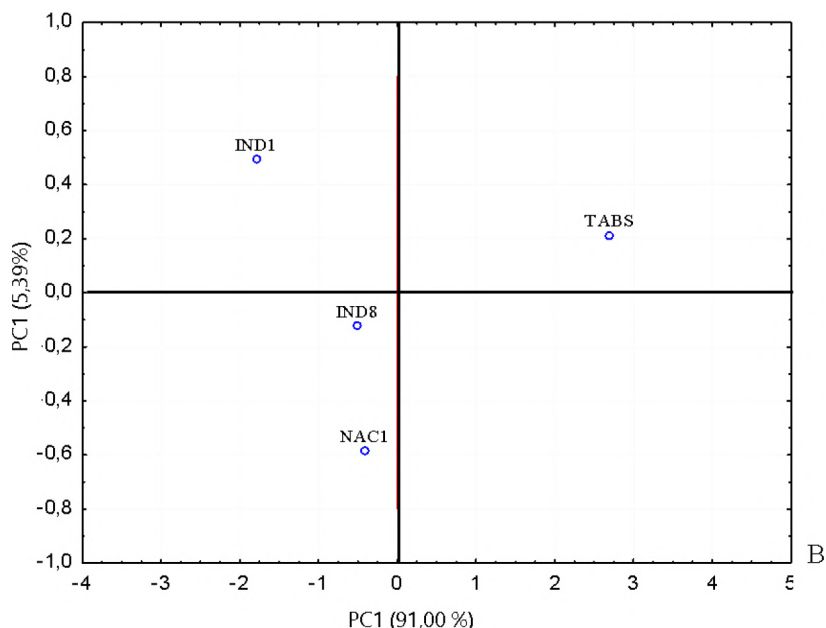


Рис. 4. Пространство главных координат (PCA) с отображением положения выборок самок и самцов старше 5,5 лет: А – Самки, В - Самцы

Наибольшая степень скошенности (tEx) показателя глубины груди наблюдалась у самцов IND1 (2,966), который не превышал показатель для нормального распределения ($2,966 < 3$), но был близок к существенному и указывал на направленный отбор животных по этому признаку [25, с. 7-23].

Проекция самок и самцов четырех субпопуляций (TABS, IND8, IND1, NAC1) в пространстве двух координат (PCA) по наиболее тесно связанным с главной компонентой признаков (высота в холке, глубина груди, ширина груди и обхват пясти), выделила кластер с наиболее близкими по показателям NAC1 и IND8 и две отдельные независимые ветви (TABS и IND1). Соответствие морфологических различий по этим признакам для самок и самцов составило 96,39 % и 84,08 %.

Обсуждение

Получив информацию о миграционных потоках между 6 субпопуляциями (рис. 3), длительное время совместно населяющих это пространство с помощью источников, удалось выяснить какими факторами были вызва-

ны перемещения животных, чтобы понять характер и степень миграции, лежащий в основе интенсивного потока генов. Это позволило дать ответ к пониманию происходящих эволюционных процессов в период становления и развития северного оленеводства на Крайнем Севере.

Установленное исследованиями высокое генетическое разнообразие в NAC1 подтверждается достоверными различиями со всеми субпопуляциями при $p < 0,001$ (IND8), $p < 0,01$ (OPS и TABS), $p < 0,05$ (VTU и IND1). Генетические предпосылки для эволюционного процесса NAC1 были созданы при формировании опытного стада в 1931 году изначально на базе Ненецкого оленсовхоза и в 1934 году переданного Нарьян-Марской сельхозстанции (ныне АО НАК) [25, с. 7-23; 26, с. 45-49; 27, с. 55-56]. Источником мигрантов служили отдельные стада разных хозяйств, из числа личного поголовья оленеводов [27, с. 55]. Этим объясняется значительный поток генов ($0,45 \leq Pm \leq 0,71$) от всех исследуемых субпопуляций, где NAC1 в модели миграционных потоков выступает реципиентом. При этом следует отметить, что животные характеризовались наибольшим дефицитом гетерозигот ($F_{is} = 0,263$), возможно, как результат влияния направленного отбора, одного из элементов племенной работы, который мог привести к повышению гомозиготности, превращения ряда полиморфных признаков в мономорфные [29, с. 58-61; 30, с. 45-49; 31, с. 2-32].

В предложенной модели часть субпопуляций (стад) OPS, TABS, VTU и ILB до 2010 года принадлежали СПК им. И.П. Выучейского, в котором OPS с 1953 года выполняла функции племенного. Состав стада, которой был улучшен за счет обмена менее продуктивных животных на более лучших по развитию с другими стадами от 100 гол. и более, проводившегося на внутри хозяйственном уровне [32, с. 3-45; 33, с. 22-24].

В отдельные годы в связи с метеорологическими явлениями (1952, 1958, 1971–1972, 1973–1974 и др.) стихийные бедствия (гололед, ледяная корка, высокий уровень снежного покрова и др.) в оленеводстве приводили к массовым падежам животных до 40 тыс. голов [6, 14, с. 57-63; 33, с. 27-28]. Полученные данные ранних исследований объясняют минимальные генетические дистанции (0,018) географически удаленных IND и ILB, которые связаны с передачей части поголовья оленей (более 500 гол.) и вероятность того, что эти события произошли и между OPS и IND1 (0,017; $Pm \leq 0,99$).

Значительный поток генов ($Pm \leq 1,0$) от OPS к TABS географически удаленных друг от друга обусловлен переводом личных оленей (более 400 гол.) при выходе части оленеводов из бригады после ликвидации хозяйства привело к сокращению генетических дистанций (0,017).

Большие потоки генов направленные от OPS ($0,5 \leq P_m \leq 1,0$), а также от TABS ($0,5 \leq P_m \leq 0,95$) во все изучаемые субпопуляции способствовали сокращению различий между ними.

Наиболее высокие коэффициенты инбридинга, обусловленные увеличением доли гомозиготных особей в субпопуляциях IND8 (0,162), VTU (0,179) и ILB (0,257) отражают результат резкого снижения численности поголовья в два раза и более. При этом СРО «Вы Ту» (VTU) и СРО «Илебц» (ILB) были образованы путем разделения стада после ликвидации хозяйства в целях сохранения традиционной культуры и образа жизни.

Компактность размещения стад изучаемой территории в системе коротких маршрутов создает высокий риск для миграционных потоков, особенно, в местах граничащих территорий выпаса. Оценка корреляций между матрицами генетических расстояний по M.Nei и географическими расстояниями (GGD) с использованием теста N.Mantel (99 permutations) выявила среднюю связь и положительные значения ($r = 0,6735$, $y = 9,9054x - 0,1245$), что предполагает имеющиеся изоляции расстоянием среди них.

Проведенные исследования раскрывают характер миграций между субпопуляциями, который обусловлен восполнением численности поголовья стад в связи с утратой оленей в годы (1950 – 1980-е) с аномальными метеорологическими явлениями, формированием племенных стад (1934–1950-е гг.), активным обменом производителями на внутри и межпопуляционном уровнях (1930 – 1970 -е гг.) послужило интенсивному потоку генов [34, с. 11-20].

В условиях промышленного производства мяса в северном оленеводстве при оценке субпопуляций необходимо использовать не только генетические различия, но и фенотипические, также условия содержания животных в целях ускорения процесса приспособления, учитывая, что направление действия отбора определяется условиями внешней среды, в котором осуществляется онтогенез [35, с. 3-11].

Согласно анализу PCA в 4 пространственно разобщенных субпопуляциях выявлено три морфологически отличающиеся группы. К одной были отнесены животные TABS ($p < 0,05$), отличающиеся меньшей глубиной грудости за счет развития в ширину, придающие грудной клетке более цилиндрическую форму. Приспособительные реакции к условиям круглогодичного использования пастбищ со среднегодовой относительной влажностью воздуха 88 % в процессе эволюции способствовали перестройки фенотипа, позволяющие вернуть энергетический обмен и остальные функ-

ции на исходный или близкий к исходному уровню, отнести их к адаптивному типу как нормы реакции к системообразующему фактору среды [36, с. 3-16; 37, с. 58-70].

Такая работа по изучению генетической и фенотипической изменчивости животных на уровне отдельных стад (субпопуляций) оленеводческих хозяйств (популяций) с использованием агроклиматических параметров и исторического подхода к раскрытию характера миграционных потоков генов в рамках одной территории проводится впервые.

Заключение

Проведенный анализ полиморфизма по 9 микросателлитным локусам показал высокое генетическое разнообразие в 6 пространственно размещенных субпопуляциях, которые характеризовались достаточно высокой генетической однородностью и морфологическим разнообразием.

Полученные данные генетической и фенотипической изменчивости животных на уровне отдельных стад (субпопуляций) оленеводческих хозяйств (популяций) с использованием агроклиматических параметров и исторического подхода к раскрытию характера миграционных потоков генов в рамках одной территории являются первым шагом для практического использования в селекционно-племенных программах.

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены в соответствии с темой № FUUW-2022-0055 Государственного задания (рег. № 122011400382-8).

Благодарности. Автор выражает благодарность за помощь в организации исследования руководителям оленеводческих хозяйств и оленеводам за помощь в отборе экспериментального материала.

Список литературы

1. Баскин, Л. М. (1970). *Северный олень. Экология и поведение*. Москва: Издательство «Наука». С. 3–5.
2. Mathiesen, S. D., Eira, I. M. G., Turi, E. I., Oskal, A., Pogodaev, M., & Tonkopeeva, M. (Eds.). (2022). *Reindeer husbandry adaptation to the changing Arctic. Volume 1*. Springer Polar Sciences. Cham: Springer. 277 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-17625-8>. ISBN: 978-3-031-17625-8. EDN: <https://elibrary.ru/GKLUWM>
3. Тишков, А. А., & Кренке-мл., А. Н. (2015). «Позеленение» Арктики в XXI в. как эффект синергизма действия глобального потепления и хозяй-

- ственного освоения. *Арктика: экология и экономика*, (4(20)), 28–37. <http://arctica-ac.ru/article/184>. EDN: <https://elibrary.ru/VBHPNR>
4. Курбаков, К. А., Коноров, Е. А., Семина, М. Т., и др. (2022). Распространение ассоциированных с болезнью хронического изнурения аллелей гена PRNP у диких и домашних северных оленей *Rangifer tarandus* на территории России. *Генетика*, 58(2), 163–168. <https://doi.org/10.31857/S0016675822020102>. EDN: <https://elibrary.ru/GWUUZS>
 5. Патова, Е. Н., Кулюгина, Е. Е., & Стенина, А. С. (2016). Изменение природных комплексов Большеземельской тундры и Полярного Урала в результате воздействия линейных сооружений газопровода «Бованенково-Ухта». *Известия Коми научного центра УрО РАН*, (3(27)), 54–60. EDN: <https://elibrary.ru/WYMXNP>
 6. Рочев, П. А. (Ред.). (1975). *Система ведения сельского и промыслового хозяйства в Ненецком национальном округе: Методические рекомендации*. Нарьян-Мар: Нарьян-Марская сельскохозяйственная опытная станция. РТП. Тип. ВИР. С. 7–27.
 7. Лавриненко, И. А. (2013). Геоботаническое районирование Большеземельской тундры и прилегающих территорий. *Геоботаническое картографирование*, 74–92. <https://doi.org/10.31111/geobotmap/2013.74>. EDN: <https://elibrary.ru/RWMCHJ>
 8. Ильина, Л. А., Лайшев, К. А., Йылдырым, Е. А., и др. (2019). Место обитания как определяющий фактор формирования микробиома рубца у северных оленей в Арктической России. *Сельскохозяйственная биология*, 54(6), 1177–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1177>. EDN: <https://elibrary.ru/GDKXDE>
 9. Holmoy, I. H., Holand, O., Thoresen, S. I., et al. (2009). Associations between annual seasonal variations in body mass and reproductive and blood biochemical parameters in semi-domesticated reindeer. *Rangifer*, 29(1), 51–61. <https://doi.org/10.7557/2.29.1.210>
 10. Южаков, А. А., Мухачев, А. Д., & Лайшев, К. А. (2023). *Породы и проблемы селекции северных оленей России*. Москва: Наука. С. 21–35. ISSN: 0032-874X. ISBN: 978-5-02-040992-7. EDN: <https://elibrary.ru/UXNWUM>
 11. Muuttooanta, K., & Maki-Tanila, A. (2011). Selection decisions among reindeer herders in Finland. *Rangifer*, 31(1), 129–138. <https://doi.org/10.7557/2.31.1.2034>
 12. Кузнецов, В. М. (2014). F-статистики Райта: Оценка и интерпретация. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (4), 80–104. EDN: <https://elibrary.ru/TFRDMN>
 13. Доцев, А. В., Романенко, Т. М., Харзинова, В. Р., и др. (2017). Фенотипические и генетические особенности популяций северного оленя ненец-

- кой породы. *Сельскохозяйственная биология*, 52(6), 1175–1183. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1175>. EDN: <https://elibrary.ru/YLSVDD>
14. Гулинова, Н. В. (Ред.). (1986). *Агроклиматические условия выпаса оленей на Севере Коми АССР и в Ненецком автономном округе Архангельской области: справочник*. Сыктывкар: Коми книжное издательство. 182 с. <https://search.rsl.ru/ru>
15. Харзинова, В. Р., Гладырь, Е. А., Романенко, Т. М., и др. (2015). Разработка мультиплексной панели микросателлитов для оценки достоверности происхождения и степени дифференциации северного оленя *Rangifer tarandus*. *Сельскохозяйственная биология*, 50(6), 756–765. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756>. EDN: <https://elibrary.ru/VHREQJ>
16. Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research — an update. *Bioinformatics*, 28, 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
17. Kalinowski, S. T. (2005). HP-Rare: A computer program for performing rarefaction on measures of allelic diversity. *Molecular Ecology*, 5, 187–189. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00845>
18. Pattengale, N. D., Alipour, M., Bininda-Emonds, O. R., Moret, B. M., & Stamatakis, A. (2010). How many bootstrap replicates are necessary? *Journal of Computational Biology*, 17(3), 337–354. PMID: 20377449. <https://doi.org/10.1089/cmb.2009.0179>
19. Garcia-Vallvé, S., Palau, J., & Romeu, A. (1999). Horizontal gene transfer in glycosyl hydrolases inferred from codon usage in *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Molecular Biology and Evolution*, 16(9), 1125–1134.
20. Sundqvist, L., Keenan, K., Zackrisson, M., et al. (2016). Directional genetic differentiation and relative migration. *Ecology and Evolution*, 6, 3461–3475. <https://doi.org/10.1002/ece3.2096>
21. Mantel, N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27, 209–220
22. Денискова, Т. Е., Харзинова, В. Р., Доцев, А. В., и др. (2018). Генетическая характеристика региональных популяций ненецкой породы северного оленя. *Сельскохозяйственная биология*, 53(6), 1152–1161. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1152rus>. EDN: <https://elibrary.ru/YYFQHR>
23. Hartl, D. L., & Clark, A. G. (1997). *Principles of population genetics*. Sunderland, United Kingdom
24. Преображенский, Б. В. (1953). О повышении продуктивности оленей в Ненецком национальном округе. Архангельск: Архангельское книжное издательство. С. 37–40. <https://search.rsl.ru/ru>. EDN: <https://elibrary.ru/UOUKBJ>

25. Гржибовский, А. М., Иванов, С. В., & Горбатова, М. А. (2016). Описательная статистика с использованием пакетов статистических программ Statistica и SPSS. *Наука и Здравоохранение*, (1), 7–23. <https://item.asp?id=25654144>. EDN: <https://elibrary.ru/VPKDEL>
26. Рочев, П. А., Брюшинин, П. И., Филиппов, В. Ф., и др. (Ред.). (1984). *Методические рекомендации по системе ведения сельского и промыслового хозяйства в Ненецком автономном округе*. Ленинград: Тип. ВИР. С. 45–49. <https://search.rsl.ru/ru>
27. Гульчак, Ф. Я. (1954). *Северное оленеводство*. Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы. С. 55–56. <https://e-catalog.nlb.by>
28. Друри, И. В. (1953). Племенная работа в северном оленеводстве. В *Доклады VI расширенной сессии Учёного совета института* (Вып. II, с. 3–10). Ленинград. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005582300
29. Брызгалов, Г. Я. (2010). Инбридинг в северном оленеводстве. В *VI Международная научно-практическая конференция «Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы»* (с. 58–61). Пенза. <https://search.rsl.ru/ru/record/01004879793>. EDN: <https://elibrary.ru/YNBQQP>
30. Бороздин, Э. К., Мухачев, А. Д., & Савадерева, Л. Ф. (1989). Проблемы генетики в северном оленеводстве. В *Совершенствование технологии и повышение экономической эффективности северного животноводства* (с. 45–49). Новосибирск
31. Ануфриев, Г. С. (Ред.). (1991). *Приёмы повышения продуктивности оленеводства Ненецкого автономного округа: Практические рекомендации*. Нарьян-Мар: Нарьян-Марская типография. С. 2–32
32. Зоотехнические и ветеринарные правила по оленеводству Ненецкого национального округа. (1947). Нарьян-Мар: Тип. газеты «Нарьяна-Вындер». С. 3–45
33. Рочев, П. А. (Отв. ред.). (1967). *Мероприятия по ведению сельского и промыслового хозяйства в Ненецком национальном округе*. Ленинград: Издательство РТП ВИР. С. 22–24. <https://e-catalog.nlb.by>
34. Преображенский, Б. В. (1953). Передовой опыт содержания и разведения северных оленей. В *Доклады VI расширенной сессии Учёного Совета института* (Вып. 2, с. 11–20). Ленинград. <https://e-catalog.nlb.by>
35. Марков, А. В., & Ивницкий, С. Б. (2016). Эволюционная роль фенотипической пластичности. *Вестник Московского университета. Серия 16. Биология*, (4), 3–11. <https://item.asp?id=27124566>. EDN: <https://elibrary.ru/WVOSZJ>
36. Спилов, А. В., Левченко, В. Ф., & Сабилов, М. А. (2021). Концепция канализированности и генетической ассимиляции в биологии развития. Со-

временные подходы и исследования. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*, 57(1), 3–16. <https://doi.org/10.31857/S0044452920060091>. EDN: <https://elibrary.ru/RSMXBD>

37. Плященко, С. И., & Сидоров, В. Т. (1987). *Стрессы у сельскохозяйственных животных*. Москва: ВО «Агроиздат». С. 58–70.

References

1. Baskin, L. M. (1970). *Reindeer. Ecology and behavior*. Moscow: Nauka. pp. 3–5.
2. Mathiesen, S. D., Eira, I. M. G., Turi, E. I., Oskal, A., Pogodaev, M., & Tonkopheeva, M. (Eds.). (2022). *Reindeer husbandry adaptation to the changing Arctic* (Vol. 1). *Springer Polar Sciences*. Cham: Springer. 277 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-17625-8>. ISBN: 978-3-031-17625-8. EDN: <https://elibrary.ru/GKLUWM>
3. Tishkov, A. A., & Krenke Jr., A. N. (2015). “Greening” of the Arctic in the 21st century as an effect of the synergy between global warming and economic development. *Arctic: Ecology and Economy*, (4(20)), 28–37. <http://arctica-ac.ru/article/184>. EDN: <https://elibrary.ru/VBHPNR>
4. Kurbakov, K. A., Konorov, E. A., Semina, M. T., et al. (2022). Distribution of PRNP gene alleles associated with chronic wasting disease in wild and domestic reindeer (*Rangifer tarandus*) across Russia. *Genetics*, 58(2), 163–168. <https://doi.org/10.31857/S0016675822020102>. EDN: <https://elibrary.ru/GWUUZS>
5. Patova, E. N., Kulyugina, E. E., & Stenina, A. S. (2016). Changes in natural complexes of the Bolshezemelskaya tundra and Polar Urals due to the impact of linear structures of the Bovanenkovo-Ukhta gas pipeline. *Proceedings of the Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, (3(27)), 54–60. EDN: <https://elibrary.ru/WYMXNP>
6. Rochev, P. A. (Ed.). (1975). *System of agricultural and commercial management in the Nenets National District: Methodological guidelines*. Naryan-Mar: Naryan-Mar Agricultural Experimental Station. RTP. VIR Printing House. pp. 7–27.
7. Lavrinenko, I. A. (2013). Geobotanical zoning of the Bolshezemelskaya tundra and adjacent territories. *Geobotanical Mapping*, 74–92. <https://doi.org/10.31111/geobotmap/2013.74>. EDN: <https://elibrary.ru/RWMCHJ>
8. Ilyina, L. A., Laishev, K. A., Yildirim, E. A., et al. (2019). Habitat as a determining factor in the formation of the rumen microbiome in reindeer in Arctic Russia. *Agricultural Biology*, 54(6), 1177–1187. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.6.1177>. EDN: <https://elibrary.ru/GDKXDE>
9. Holmoy, I. H., Holand, O., Thoresen, S. I., et al. (2009). Associations between annual seasonal variations in body mass and reproductive and blood biochem-

- ical parameters in semi-domesticated reindeer. *Rangifer*, 29(1), 51–61. <https://doi.org/10.7557/2.29.1.210>
10. Yuzhakov, A. A., Mukhachev, A. D., & Laishev, K. A. (2023). *Reindeer breeds and selection issues in Russia*. Moscow: Nauka. pp. 21–35. ISSN: 0032-874X. ISBN: 978-5-02-040992-7. EDN: <https://elibrary.ru/UXNWUM>
 11. Muuttooaranta, K., & Mäki-Tanila, A. (2011). Selection decisions among reindeer herders in Finland. *Rangifer*, 31(1), 129–138. <https://doi.org/10.7557/2.31.1.2034>
 12. Kuznetsov, V. M. (2014). Wright's F-statistics: Estimation and interpretation. *Problems of Productive Animal Biology*, (4), 80–104. EDN: <https://elibrary.ru/TFRDMN>
 13. Dotsev, A. V., Romanenko, T. M., Kharzinova, V. R., et al. (2017). Phenotypic and genetic features of Nenets reindeer populations. *Agricultural Biology*, 52(6), 1175–1183. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.6.1175>. EDN: <https://elibrary.ru/YLSVDD>
 14. Gulanova, N. V. (Ed.). (1986). *Agroclimatic conditions for reindeer grazing in the North of the Komi ASSR and the Nenets Autonomous Okrug of Arkhangelsk Oblast: Reference guide*. Syktyvkar: Komi Book Publishing House. 182 p. <https://search.rsl.ru/ru>
 15. Kharzinova, V. R., Gladyr, E. A., Romanenko, T. M., et al. (2015). Development of a multiplex microsatellite panel for assessing pedigree authenticity and differentiation level in reindeer (*Rangifer tarandus*). *Agricultural Biology*, 50(6), 756–765. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.6.756>. EDN: <https://elibrary.ru/VHREQJ>
 16. Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenAlEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research — an update. *Bioinformatics*, 28, 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
 17. Kalinowski, S. T. (2005). HP-Rare: A computer program for performing rarefaction on measures of allelic diversity. *Molecular Ecology Notes*, 5, 187–189. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00845>
 18. Pattengale, N. D., Alipour, M., Bininda-Emonds, O. R., Moret, B. M., & Stamatakis, A. (2010). How many bootstrap replicates are necessary? *Journal of Computational Biology*, 17(3), 337–354. PMID: 20377449. <https://doi.org/10.1089/cmb.2009.0179>
 19. Garcia-Vallvé, S., Palau, J., & Romeu, A. (1999). Horizontal gene transfer in glycosyl hydrolases inferred from codon usage in *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Molecular Biology and Evolution*, 16(9), 1125–1134.
 20. Sundqvist, L., Keenan, K., Zackrisson, M., et al. (2016). Directional genetic differentiation and relative migration. *Ecology and Evolution*, 6, 3461–3475. <https://doi.org/10.1002/ece3.2096>

21. Mantel, N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27, 209–220.
22. Deniskova, T. E., Kharzinova, V. R., Dotsev, A. V., et al. (2018). Genetic characterization of regional populations of the Nenets reindeer breed. *Agricultural Biology*, 53(6), 1152–1161. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.6.1152rus>. EDN: <https://elibrary.ru/YYFQHR>
23. Hartl, D. L., & Clark, A. G. (1997). *Principles of population genetics*. Sunderland, United Kingdom.
24. Preobrazhensky, B. V. (1953). On increasing reindeer productivity in the Nenets National District. Arkhangelsk: Arkhangelsk Book Publishing House. pp. 37–40. <https://search.rsl.ru/ru>. EDN: <https://elibrary.ru/UOUKBJ>
25. Grzhibovsky, A. M., Ivanov, S. V., & Gorbatoва, M. A. (2016). Descriptive statistics using Statistica and SPSS software packages. *Science and Healthcare*, (1), 7–23. <https://item.asp?id=25654144>. EDN: <https://elibrary.ru/VPKDEL>
26. Rochev, P. A., Bryushinin, P. I., Filippov, V. F., et al. (Eds.). (1984). *Methodological guidelines for the system of agricultural and commercial management in the Nenets Autonomous District*. Leningrad: VIR Printing House. pp. 45–49. <https://search.rsl.ru/ru>
27. Gulchak, F. Ya. (1954). *Northern reindeer husbandry*. Moscow: State Publishing House of Agricultural Literature. pp. 55–56. <https://e-catalog.nlb.by>
28. Druri, I. V. (1953). Breeding work in northern reindeer husbandry. In *Proceedings of the 6th Extended Session of the Scientific Council of the Institute* (Vol. II, pp. 3–10). Leningrad. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005582300
29. Bryzgalov, G. Ya. (2010). Inbreeding in northern reindeer husbandry. In *6th International Scientific and Practical Conference “Agro-Industrial Complex: State, Problems, and Prospects”* (pp. 58–61). Penza. <https://search.rsl.ru/ru/record/01004879793>. EDN: <https://elibrary.ru/YHBQQP>
30. Borozdin, E. K., Mukhachev, A. D., & Savaderova, L. F. (1989). Problems of genetics in northern reindeer husbandry. In *Improving technology and increasing the economic efficiency of northern animal husbandry* (pp. 45–49). Novosibirsk.
31. Anufriev, G. S. (Ed.). (1991). *Methods for increasing reindeer farming productivity in the Nenets Autonomous District: Practical guidelines*. Naryan-Mar: Naryan-Mar Printing House. pp. 2–32.
32. *Zootechnical and veterinary rules for reindeer husbandry in the Nenets National District*. (1947). Naryan-Mar: Newspaper “Naryana Vynder” Printing House. pp. 3–45.
33. Rochev, P. A. (Ed.). (1967). *Measures for agricultural and commercial management in the Nenets National District*. Leningrad: RTP VIR Publishing House. pp. 22–24. <https://e-catalog.nlb.by>

34. Preobrazhensky, B. V. (1953). Advanced practices in keeping and breeding northern reindeer. In *Proceedings of the 6th Extended Session of the Scientific Council of the Institute* (Vol. 2, pp. 11–20). Leningrad. <https://e-catalog.nlb.by>
35. Markov, A. V., & Ivitsky, S. B. (2016). The evolutionary role of phenotypic plasticity. *Bulletin of Moscow University. Series 16. Biology*, (4), 3–11. <https://item.asp?id=27124566>. EDN: <https://elibrary.ru/WVOSZJ>
36. Spirov, A. V., Levchenko, V. F., & Sabirov, M. A. (2021). The concept of canalization and genetic assimilation in developmental biology: Modern approaches and research. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 57(1), 3–16. <https://doi.org/10.31857/S0044452920060091>. EDN: <https://elibrary.ru/RSMXBD>
37. Plyashenko, S. I., & Sidorov, V. T. (1987). *Stress in farm animals*. Moscow: VO “Agroizdat”. pp. 58–70.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Романенко Татьяна Михайловна, канд. биол. наук, зам. директора центра по научно-организационной работе в НАО – директор филиала *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук*
проспект Никольский, 20. г. Архангельск, 163020 Российская Федерация
nmshos@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana M. Romanenko, Cand. Sc. (Biology), Deputy Director of the Center for Research Management in the NAO – Branch Director
Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, Russian Federation
nmshos@yandex.ru
SPIN-code: 4471-3253
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0034-7453>
ResearcherID: HRE-1135-2023
Scopus Author ID: 57188695774

Поступила 13.11.2024

После рецензирования 10.02.2025

Принята 16.02.2025

Received 13.11.2024

Revised 10.02.2025

Accepted 16.02.2025

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1154

EDN: STSNFI

УДК 632.934 1



Научная статья

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНГИЦИДА
НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ КОМПЛЕКСА
ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ ПШЕНИЦЫ

*Т.С. Астарханова, С. Диаките, А.Д. Амини, А. Бехзад,
А.В. Березнов, Е.Н. Пакина, М. Заргар*

Аннотация

Обоснование. Среди комплекса листостебельных болезней яровой мягкой пшеницы септориоз листьев и стеблевая ржавчина занимают ведущее место по распространенности и вредоносности. В условиях Республики Дагестан и Ростовской области доля встречаемости этих заболеваний варьируется от 20 до 80%, что в отдельные годы приводит к значительным потерям урожая, превышающим 20%. Высокая агрессивность патогенов, способность к быстрому распространению и адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды делают эти болезни одной из основных угроз для устойчивого производства зерна. В связи с этим разработка и внедрение эффективных мер борьбы с данными заболеваниями, включая применение современных фунгицидов, является актуальной задачей для сельского хозяйства регионов с высокой фитопатологической нагрузкой.

Цель. С целью снижения этиологии этих грибных болезней в посевах пшеницы была проверена биологическая эффективность применения нового двухкомпонентного фунгицида Таксис, СК (азоксистробин 240 г/л + эпоксиконазол 160 г/л).

Материалы и методы. Исследования проводили в 2022 и 2023 годах на опытных участках ООО «Вымпел» в Хасавюртовском районе Республики Дагестан (зона II) и в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» в Аксайском районе, село Рассвет, Ростовская область (зона III), где в экспериментах использовали фунгицид Таксис, СК производства ООО «Альянс Био» и два сорта яровой мягкой пшеницы: сорт Прохоровка (Республика Дагестан) и сорт Ли-

лек (Ростовская область). Схема опыта включала варианты: Т1 – обработка фунгицидом Таксис, СК (0,6 л/га) и Т2 – контроль (без обработки), при этом фунгицид применяли двукратно: первая обработка проводилась в фазу конца кущения – начала выхода в трубку, а вторая – через 14 дней после первой.

Результаты. В контроле без обработки средняя доля встречаемости септориоза листьев составило в среднем 17,8% и 15,6%, а стеблевой ржавчины – 16,9% и 16,6% в условиях Ростовской области и Республики Дагестан в 2022 и 2023 годах соответственно. Также отмечена низкая встречаемость бурой ржавчины (5%) и мучнистой росы (4%). Скорость нарастания инфекции стеблевой ржавчины и септориоза листьев в среднем составила около 2% в сутки, а бурой ржавчины и мучнистой росы – 0,5% в сутки. При этом применение нового двухкомпонентного фунгицида Таксис, СК в норме 0,6 л/га показало высокую биологическую эффективность, превышающую 80,0%. Уровень рентабельности в контроле без обработки составил 40,2% в Дагестане и 11,0% в Ростовской области, но при использовании фунгицида он повысился до 49,0% и 25,0% соответственно.

Заключение. Результаты исследований подтверждают целесообразность применения фунгицида Таксис, СК для защиты яровой мягкой пшеницы от комплекса листостебельных заболеваний, что способствует повышению урожайности. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию технологий его применения и расширение географии использования.

Ключевые слова: стробилурины; триазолы; листостебельные болезни; пшеница

Для цитирования. Астарханова, Т. С., Диаките, С., Амини, А. Д., Бехзад, А., Березнов, А. В., Пакина, Е. Н., & Заргар, М. (2025). Биологическая эффективность фунгицида нового поколения на развитие комплекса листостебельных инфекций пшеницы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 278-298. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1454>

Original article

BIOLOGICAL EFFICACY OF A NEW GENERATION FUNGICIDE ON THE DEVELOPMENT OF THE LEAF AND STEM INFECTION COMPLEX IN WHEAT

*T.S. Astarkhanova, S. Diakite, A.J. Amini, A. Behzad,
A.V. Bereznov, E.N. Pakina, M. Zargar*

Abstract

Background. Among the complex of leaf and stem diseases affecting spring common wheat, Septoria leaf blotch and stem rust are the most widespread and de-

structive. In the Republic of Dagestan and the Rostov region, the incidence of these diseases ranges from 20 to 80%, resulting in significant yield losses, which in some years can exceed 20%. The high aggressiveness of these fungal pathogens, combined with their ability to spread rapidly and adapt to varying environmental conditions, makes them a major challenge for wheat production. Given the significant impact of these diseases on crop productivity, the development and implementation of effective control measures, including the use of modern fungicides, are critical for agriculture in regions with high phytopathological pressure.

Purpose. The purpose of the study was to evaluate the biological efficacy of a new two-component fungicide, Taxis, SC (containing azoxystrobin 240 g/l and epoxiconazole 160 g/l), in reducing the etiology of fungal diseases affecting wheat crops.

Materials and methods. The research was conducted in 2022 and 2023 on experimental plots of LLC “Vympel”, Khasavyurtovsky district, Republic of Dagestan (zone II), and in the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Rostov Agrarian Scientific Center”, Aksai district, Rassvet village, Rostov region (zone III). In the experiments we used fungicide Taxis, SK produced by LLC “Alliance Bio” and 2 varieties of spring common wheat: variety Prokhorovka (Republic of Dagestan) and variety Lilek (Rostov region). The experimental design included T1) Taxis, SC (0.6 l/ha) and T2) control (no treatment). Taxis, SC was applied twice: 1. treatment - end of tillering - beginning of emergence; 2. treatment - after 14 days.

Results. In the untreated control plots, the average incidence of Septoria leaf blotch was 17.8% and 15.6%, and stem rust was 16.9% and 16.6% in the Rostov region and the Republic of Dagestan in 2022 and 2023, respectively. Low levels of brown rust (5%) and powdery mildew (4%) were also observed. The infection rates for stem rust and Septoria leaf blotch averaged about 2% per day, while the rates for brown rust and powdery mildew were about 0.5% per day. However, application of the new two-component fungicide Taxis, SC at 0.6 l/ha showed high biological efficacy of over 80.0%, significantly reducing disease incidence and severity in both regions and years. Profitability in the untreated control group was 40.2% in Dagestan and 11.0% in the Rostov region, but increased to 49.0% and 25.0% respectively with fungicide application.

Conclusion. The findings of this study confirm the effectiveness of using the fungicide Taxis, SK to protect spring soft wheat against a range of leaf and stalk diseases, leading to a significant increase in crop yield. Further research could focus on optimizing its application technologies and widening the geographical scope of its use.

Keywords: strobilurins; triazoles; leaf diseases; wheat

For citation. T.S. Astarkhanova, S. Diakite, A.J. Amini, A. Behzad, A.V. Bereznov, E.N. Pakina, M. Zargar (2025). Biological efficacy of a new generation fungicide on the development of the leaf and stem infection complex in wheat. *Siberian Jour-*

nal of Life Sciences and Agriculture, 17(5), 278-298. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1154>

Введение

Область зернового комплекса Российской Федерации играет ключевую роль в экономике страны, отличаясь высоким уровнем производства и промышленной переработки. Основной культурой является пшеница, которая преобладает по объему производства, внутреннего потребления и экспорта. Это преобладание обусловлено благоприятными почвенно-климатическими условиями и активным внедрением технологических инноваций в сельское хозяйство [1; 2].

Однако, несмотря на значительные успехи, производство пшеницы (как озимой, так и яровой) во всех регионах России сталкивается с серьезными вызовами [3]. Одним из основных сдерживающих факторов является ежегодное распространение грибных инфекций, которые негативно влияют на урожайность и качество зерна [4]. Фузариоз колоса, гельминтоспориозная корневая гниль, комплекс пятнистостей листьев (желтая пятнистость, септориоз), мучнистая роса, ржавчины являются наиболее распространёнными и вредоносными заболеваниями пшеницы в России, и во всем мире [5; 6].

Среди наиболее значимых листостебельных болезней в Республике Дагестан и Ростовской области – септориоз листьев (*Z. tritici*), желтая пятнистость (*P. tritici-repentis*) и стеблевая ржавчина (*P. graminis* f. sp. *tritici*) яровой пшеницы [4]. Борьба с этими болезнями особенно затрудняется разнообразием патогенных видов, каждый из которых обладает уникальными эпидемиологическими характеристиками, но при этом часто проявляется одновременно на одном поле. Факторы окружающей среды, такие как продолжительность увлажнения, относительная влажность и температура, играют ключевую роль в появлении и развитии этих болезней [7; 8]. Возбудители листостебельных болезней могут снижать активность фотосинтеза и влиять на динамику углеводов и азота, определяющих урожайность и качество зерна, вызывая при этом потери от 20 до 70 % урожая яровой пшеницы [9; 10]. Для эффективной борьбы с листостебельными инфекциями необходимо постоянное наблюдение за динамикой заболеваний и скоростью их развития [10]. Эффективное использование фунгицидов требует точного соблюдения сроков обработки и учета фитосанитарных условий. Одним из наиболее эффективных методов защиты яровой пшеницы является обработка посевов фунгицидами, особенно в

ключевые фазы развития: конец кущения – начало выхода в трубку, фаза флаг-листа, колошение – начало цветения [11].

В последние годы отечественные производители пестицидов достигли значительных успехов в разработке и производстве новых поколений фунгицидов, особенно внекорневых, которые играют важную роль в защите растений от болезней [12]. Среди таких препаратов выделяются карбоксамиды, которые не только обеспечивают высокий уровень контроля заболеваний, но и способствуют увеличению площади листьев и замедлению их старения. Это особенно важно для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, так как здоровые и функционально активные листья дольше поддерживают фотосинтетическую активность [5; 13].

Триазолы, являющиеся активными ингибиторами синтеза эргостерола, также занимают важное место среди фунгицидов. Они широко применяются для борьбы с листовыми болезнями пшеницы, такими как мучнистая роса, ржавчина и септориоз. Часто триазолы используются в комбинации со стробилуринами – синтетическими производными, которые изначально были выделены из гриба *Strobilurus tenacellus*. Стробилурины обладают широким спектром противогрибковой активности и способны значительно повышать урожайность за счет ингибирования синтеза этилена, что также замедляет старение листьев и продлевает их функциональность [13]. Однако их эффективное использование требует тщательного подхода, включающего научно обоснованные методы применения и регулярный мониторинг в полевых условиях.

Одним из ключевых этапов разработки новых фунгицидов является их испытание в полевых условиях. Однако выбор препаратов должен основываться не только на их биологической эффективности, но и на экономической целесообразности. Использование фунгицидов должно обеспечивать не только снижение потерь от болезней, но и повышение урожайности, снижение себестоимости продукции и увеличение прибыли. Таким образом, целью данного исследования является оценка биологической эффективности нового двухкомпонентного фунгицида Таксис, СК (азоксистробин 240 г/л + эпоксиконазол 160 г/л) на развитие комплекса листовых инфекций на яровой пшенице в различных регионах России.

Научная новизна исследований в изучении новых не зарегистрированных в Государственном каталоге химических средств защиты растений в качестве фунгицидов для совершенствования ассортимента в определенных природно-климатических зонах для оптимизации фитосанитарного состояния и повышения урожайности зерновых культур.

Методы исследования

Исследования проводили в 2022 и 2023 годах на опытных участках ООО «Вымпел» в Хасавюртовском районе Республики Дагестан (зона II) и на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» в Аксайском районе, село Рассвет, Ростовская область (зона III). Почва опытного участка в зоне II – светло-каштановая, тяжелосуглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 2,9% и $pH = 8,0$. В зоне III почва темно-каштановая, тяжелосуглинистая, с содержанием гумуса в пахотном слое 3,3% и $pH = 6,8$. Предшественником на участках был пар. Удобрения в ходе исследований не применялись.

В опытах использовали фунгицид Таксис, СК (азоксистробин, 240 г/л + эпоксиконазол, 160 г/л) производства ООО «Альянс Био», а также два сорта яровой мягкой пшеницы: сорт Прохоровка (Республика Дагестан) и сорт Лилек (Ростовская область). Сорт Прохоровка включен в реестр допущенных к использованию в 1999 году и устойчив к полеганию, засухе и бурой ржавчине. Сорт Лилек включен в реестр в 2009 году, иммунен к пыльной головне, стеблевой ржавчине и септориозу; высокоустойчив к бурой и желтой ржавчинам, а также к мучнистой росе; устойчив к фузариозу колоса (<https://gossortrf.ru/registry/>).

Фазы развития растений в момент обработки: первая обработка проводилась в фазу конца кущения – начала выхода в трубку; вторая обработка – через 14 дней после первой. Площадь экспериментального участка составляла 25 м², повторность опытов – четырехкратная. Схема опыта включала варианты: T1 – обработка фунгицидом Таксис, СК (0,6 л/га) и T2 – контроль (без обработки).

Обработка почвы: зяблевая вспашка, покровное боронование, предпосевная культивация, прикатывание после посева (зона II) и вспашка, две культивации перед посевом (зона III). Учеты, наблюдения и анализы выполнялись по общепринятым методикам [9]. Частоту встречаемости заболевания и биологическую эффективность препарата определяли по формуле Эбботта [3; 9]. Даты учетов каждого года исследования: 7 июня, 14 июня, 21 июня (зона II) и 19 июня, 26 июня, 3 июля (зона III). Скорость нарастания инфекции в посеве за единицу времени (день, неделя) рассчитывают по формуле [5].

Статистический анализ данных. Математическую обработку полученных данных проводили по методике дисперсионного анализа [14].

Выбор фунгицида Таксис, СК обоснован его составом и свойствами действующих веществ. *Азоксистробин* – фунгицид системного и контакт-

ного действия, обеспечивающий длительный защитный эффект. Он высокоэффективен против возбудителей ложной мучнистой росы и мучнистой росы, а также против рас патогенов, устойчивых к производным триазола и металаксила. *Эпоксиконазол* обладает широким спектром фунгицидной активности против комплекса заболеваний вегетативных органов злаковых культур. Он эффективно подавляет мучнистую росу, все виды пятнистостей и ржавчин, характеризуется быстрым началом действия и продолжительным защитным эффектом (до 6 недель). Препарат активен даже в условиях холодной и влажной погоды, а также обладает профилактическим и искореняющим действием.

Результаты и обсуждение

Влияние фунгицида Таксис, СК (240 г/л азоксистробина + 160 г/л эпоксиконазола) на развитие листостебельных инфекций в условиях Республики Дагестан

Республика Дагестан, как один из ключевых регионов по производству пшеницы в России, сталкивается с различными патогенами, которые могут существенно повлиять на урожайность. В данном исследовании рассматривается динамика распространенности заболеваний, таких как септориоз листьев, стеблевая и бурая ржавчина, а также мучнистая роса, в зависимости от метеорологических условий в 2022 и 2023 годах.

В 2022 году средняя температура в июне составила 18,3°C, что ниже многолетнего значения 19,7°C. В июле температура была выше нормы: 24,8°C против 24,1°C. В 2023 году наблюдалось более значительное повышение температуры. В июне средняя температура составила 19,2°C, а в июле – 26,3°C, что также превышает многолетние значения. Сумма осадков в 2022 году была ниже многолетних значений в апреле и мае, однако в июне и июле наблюдалось увеличение осадков. В июне выпало 20,5 мм (при многолетнем значении 16,0 мм), а в июле осадки были близки к норме: 24,8 мм против 21,0 мм. В 2023 году также наблюдалось значительное увеличение осадков, особенно в июне и июле: в июне выпало 22,9 мм (при норме 16,0 мм), а в июле – 36,2 мм (при норме 26,0 мм). В 2023 году погодные условия, такие как повышенная температура и увеличение осадков, способствовали более высокому развитию листостебельных инфекций по сравнению с 2022 годом (рис. 1).

В зависимости от даты учетов и года исследования, доля встречаемости заболеваний на посевах яровой пшеницы составила септориоз листьев – от 3,8% до 28,6%, стеблевая ржавчина – от 3,6% до 33,7%, бурая

ржавчина – от 3,1% до 6,9%, и мучнистая роса – от 2,4% до 5,9% за 2022 и 2023 годы (Рис. 2).

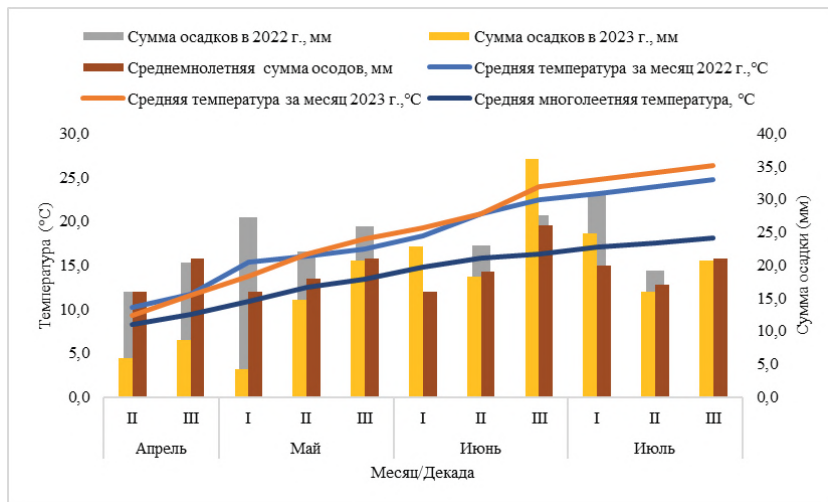


Рис. 1. График сравнения осадков и температуры за годы исследований и среднемноголетних данных в Республике Дагестан

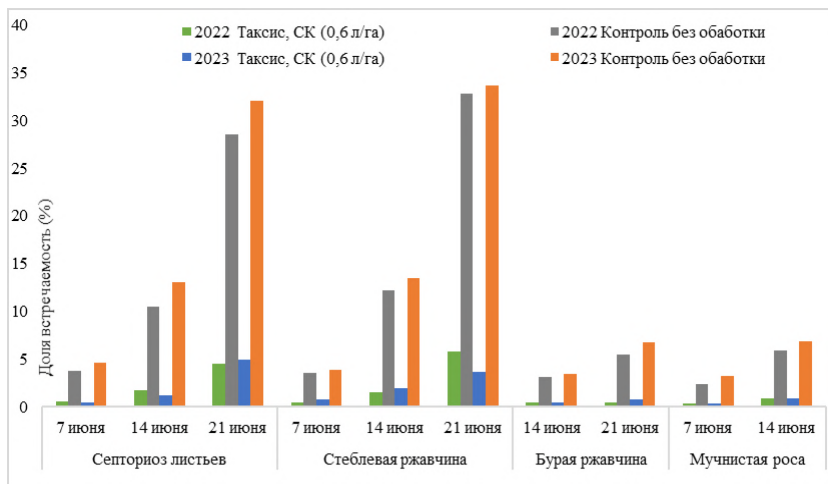


Рис. 2. Эффективность препарата Таксис, СК (240+160 г/л) против комплекса болезней на пшенице яровой (сорт Прохоровка) Республике Дагестан в 2022 и 2023 годах.

Таким образом, по сравнению с 2022 годом, частота и скорость развития заболеваний в 2023 году были несколько выше, что связано с более благоприятными метеорологическими условиями. Это связано с тем, что более теплые и влажные условия создают благоприятную среду для распространения инфекций. При обработке вегетирующих растений яровой пшеницы сорта Прохоровка фунгицидом Таксис, СК в норме 0,6 л/га, распространенность заболеваний составила от 0,5% до 5%, что соответствует биологической эффективности более 80,0%. Эффективность фунгицида для септориоза листьев составила 82,9–90,8%, для стеблевой ржавчины – 79,5–89,0%, для бурой ржавчины – 83,9–90,9%, и для мучнистой росы – 83,3–87,5%. Эти данные согласуются с результатами исследований [15], в которых альтернативный препарат Спирит показал аналогичную или даже несколько более высокую эффективность по сравнению с Таксис, СК. Несмотря на благоприятные климатические условия 2023 года для развития бурой ржавчины и мучнистой росы, их распространенность оставалась низкой, что объясняется высокой устойчивостью сорта Прохоровка к данным патогенам.

Влияние фунгицида Таксис, СК (240 г/л азоксистробина + 160 г/л эпоксиконазола) на развитие листостебельных инфекций в условиях Ростовской области

В период с 2022 по 2023 год нами был проведен фитосанитарный мониторинг посевов яровой пшеницы в условиях Ростовской области. Фитосанитарное состояние данной культуры в значительной степени зависело от метеорологических условий в период вегетации и защитных мероприятий. В 2023 году средние температуры были значительно выше, чем в 2022 году, особенно в июле, когда они достигали 30–31°C, что на 4–6°C превышало показатели 2022 года. Осадки в 2023 году распределялись более равномерно по месяцам, хотя их общее количество было меньше, чем в предыдущем году. Например, в июне 2023 года выпало 14,5–19,4 мм осадков, тогда как в 2022 году этот показатель составлял 17,5–40,0 мм (рис. 3).

В зависимости от сроков проведения учётов распространённость заболеваний в контроле на посевах яровой пшеницы варьировался: стеблевая ржавчина составляла от 4,1 до 35,3%, а мучнистая роса – от 2,7 до 7,5% за 2022 и 2023 годы (рис. 3). Было отмечено высокую долю встречаемости стеблевой ржавчины достигая 4,1–35,3%. В 2022 году также наблюдали развитие септориоза листьев (4,1–35,5%) и бурой ржавчины (3,8–7,0%) в контроле (рис. 4). Этому способствовали умеренные осадки в сочетании с высокой влажностью воздуха в мае и июне (рис. 3).

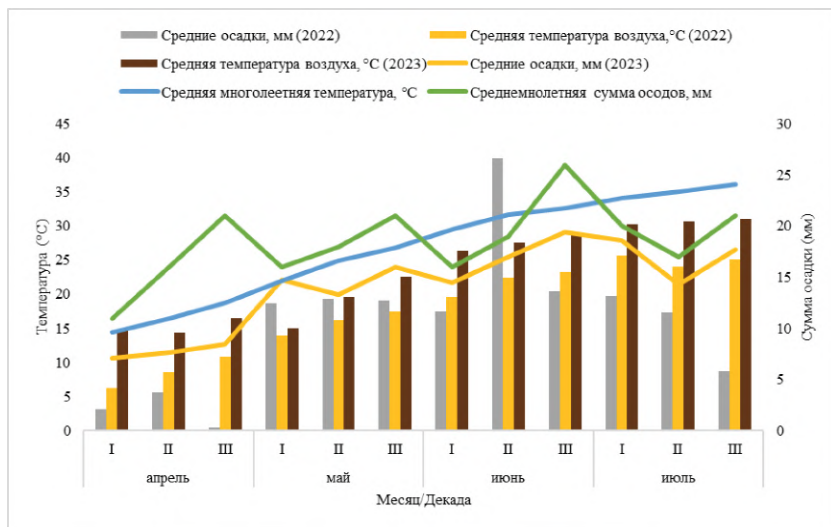


Рис. 3. График сравнения осадков и температуры за годы исследований и среднемноголетних данных в Ростовской области

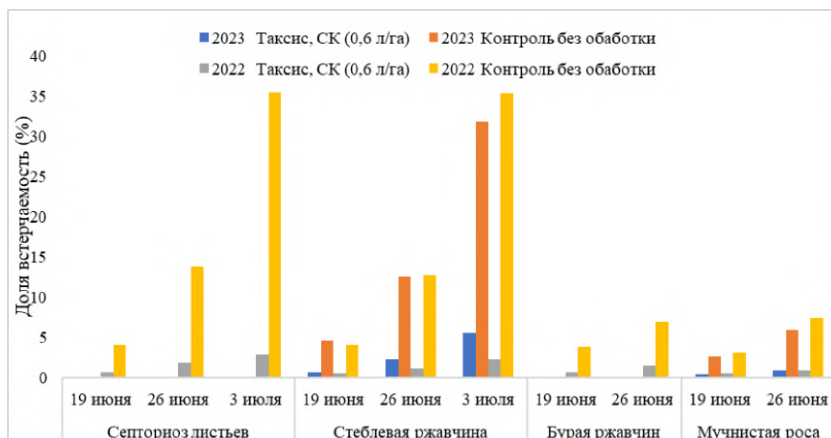


Рис. 4. Эффективность препарата Таксис, СК (240+160 г/л) против комплекса болезней на пшенице яровой (сорт Лилек) в Ростовской области

Благодаря повышенной устойчивости сорта Лилек, было зафиксировано наименьшее развитие бурой ржавчины и мучнистой росы. При двухкратной обработке вегетирующих растений яровой пшеницы сорта

Лилек фунгицидом Таксис, СК в норме 0,6 л/га частота встречаемости заболеваний составила от 0,6 до 3%, что соответствует биологической эффективности препарата более 85,0%. Эффективность триазолов связана с ингибированием роста ростковых трубок и мицелия грибов. Особенно группой является наличие различных изомеров с разными характеристиками действия. Комбинированные препараты, сочетающие триазолы и стробилурины обеспечивают более широкий спектр действия и снижают риск развития резистентности у патогенов. Средние показатели биологической эффективности двухкомпонентных фунгицидов включая триазолы в снижении уровня листовых болезней пшеницы были значительно выше, достигая от 64,0 до 88,0% [16].

Влияние фунгицида Таксис, СК (240 г/л азоксистробина + 160 г/л эпоксиконазола) на скорость нарастания инфекции в посевах

Определение скорости наращивания листостебельных инфекций является важным инструментом для мониторинга, прогнозирования и контроля заболеваний сельскохозяйственных культур. Скорость наращивания инфекций показывает, насколько быстро патогены распространяются по посевам. Это помогает прогнозировать развитие заболеваний и своевременно принимать защитных мероприятий [17-19].

Таблица 1.

Скорость наращивания листостебельных инфекций

Год	Вариант	Септориоз листьев	Стеблевая ржавчина	Бурая ржавчина	Мучнистая роса
Республика Дагестан					
2022	Таксис, СК (0,6 л/га)	0,3	0,4	0,0	0,1
	Контроль (без обработки)	1,8	2,1	0,3	0,5
2023	Таксис, СК (0,6 л/га)	0,3	0,2	0,0	0,1
	Контроль (без обработки)	2,0	2,1	0,5	0,5
Ростовская область					
2022	Таксис, СК (0,6 л/га)	0,2	0,4	0,1	0,1
	Контроль (без обработки)	2,3	1,9	0,5	0,5
2023	Таксис, СК (0,6 л/га)	-	0,1	-	0,0
	Контроль (без обработки)	-	2,2	-	0,6

В данном исследовании была определена скорость наращивания листостебельных инфекций по формуле [10] в двух регионах – Республике Дагестан и Ростовской области – за два года (2022 и 2023) (Табл. 1). Септориоз листьев и стеблевая ржавчина обладают максимальной скоростью на-

ращивания инфекционного потенциала. На контрольном посеве скорость нарастания инфекции стеблевой ржавчины и септориоза листьев в среднем составила около 2% в сутки, и бурой ржавчины и мучнистой росы – 0,5% в сутки. Аналогичная скорость инфекционного прироста в варианте с обработкой фунгицидом Таксис, СК в норме 0,6л/га не превышала– 0,6 % в сутки (Табл. 1). Скорость развития инфекции варьировалась в зависимости от патогена и условий года. Скорость развития бурой ржавчины составила 5,8% в 2016 году, 4,6% в 2017 и 4,8% в 2018, тогда как стеблевой ржавчины – 5,1%, 3,7% и 5,0% соответственно. Устойчивые сорта показывали скорость от 0,5 до 2,6% в сутки [17].

Оценка фунгицида Таксис, СК в формировании урожайности

Грибковые инфекции, такие как стеблевая и бурая ржавчина, септориоз и мучнистая роса, наносят значительный ущерб урожайности зерновых культур, снижая не только количественные, но и качественные показатели зерна [20]. В условиях повышенной влажности и температуры, которые способствуют развитию заболеваний, применение фунгицида Таксис, СК позволило снижать потери урожая. В таблице 2 представлены данные по урожайности сортов пшеницы яровой за 2022 и 2023 годы. В 2022 году средняя урожайность пшеницы с использованием препарата Таксис, СК составила 33,6 ц/га в 2022 году и 32,3 ц/га в 2023 году, что на 15,2% выше, чем у контрольной группы (29,2 ц/га) и (28,1 ц/га), соответственно. Масса 1000 зерен в 2022 году составила 41,4 г при использовании Таксиса, в то время как в контрольной группе – 39,3 г. В 2023 году масса зерен также увеличилась до 40,3 г.

В 2022 году средняя урожайность пшеницы с использованием препарата Таксис, СК составила 23,3 ц/га, что на 14,8% выше, чем у контрольной группы (19,0 ц/га). В 2023 году средняя урожайность также показала положительную динамику, составив 22,3 ц/га, что на 14,1% выше контрольного значения (18,3 ц/га). Масса 1000 зерен в 2022 году составила 41,4 г при использовании Таксиса, в то время как в контрольной группе – 39,2 г. В 2023 году масса зерен немного снизилась до 41,1 г.

Таблица 2.

Урожайность пшеницы яровой сорта за 2022 и 2023 гг.

Год	Варианты опыта	Республики Дагестан (сорт Прохоровка)			Ростовская область (сорт Лилек)		
		Средняя урожайность, ц/га	% к контролю	Масса 1000 зерен, г	Средняя урожайность, ц/га	% к контролю	Масса 1000 зерен, г

2022	Таксис, СК (240+160 г/л)	33,6	115,2	41,4	23,3	114,8	41,4
	Контроль (без обработки)	29,2	100,0	39,3	19,0	100,0	39,2
		$HCP_{05} = 0,63$			$HCP_{05} = 0,56$		
2023	Таксис, СК (240+160 г/л)	32,3	114,9	40,3	22,4	114,1	41,1
	Контроль (без обработки)	28,1	100,0	38,2	18,3	100,0	38,9
		$HCP_{05} = 0,34$			$HCP_{05} = 0,49$		

Экономическая эффективность применения фунгицида Таксис, СК в посевах яровой мягкой пшеницы

Экономическая эффективность сельского хозяйства определяет рентабельность и устойчивость производства. В условиях высокой фитопатологической нагрузки, характерной для Республики Дагестан и Ростовской области, листостебельные заболевания, такие как септориоз листьев и стеблевая ржавчина, могут вызывать потери урожая, что может приводить к снижению не только объемов производства, но и увеличению себестоимости продукции [6; 21].

Применение фунгицидов становится ключевым фактором для повышения урожайности и экономической эффективности.

Исследования показали, что использование фунгицида Таксис, СК обеспечивает высокую экономическую эффективность применения фунгицида Таксис, СК (азоксистробин 240 г/л + эпоксиконазол 160 г/л) в посевах яровой мягкой пшеницы. Чистая прибыль в контроле без обработки составила 8 837,3 руб./га в Дагестане и 1 968,0 руб./га в Ростовской области, тогда как при использовании фунгицида она возросла до 11 937,3 руб./га и 5 068,0 руб./га.

Себестоимость продукции в контроле без обработки составила 7 843,8 руб./т в Дагестане и 9 906,7 руб./т в Ростовской области. Применение фунгицида Таксис, СК позволило снизить эти показатели до 7 382,6 руб./т и 8 796,5 руб./т соответственно. Уровень рентабельности в контроле без обработки составил 40,2% в Дагестане и 11,0% в Ростовской области, а при использовании фунгицида он повысился до 49,0% и 25,0%.

Таким образом, применение фунгицида Таксис, СК обеспечивает значительное улучшение экономических показателей выращивания яровой мягкой пшеницы в условиях высокой фитопатологической нагрузки. Повышение урожайности, снижение себестоимости и увеличение рентабельности делают этот препарат перспективным для широкого внедрения в

производство. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию технологий его применения и расширение географии использования.

Таблица 3.

Экономическая эффективность применения нового фунгицида Таксис, СК в посевах пшеницы за 2022 и 2023 гг.

Зона	Республики Дагестан		Ростовская область	
Показатели	Контроль	Таксис, СК	Контроль	Таксис, СК
Норма применения фунгицида л/га	-	0,6	-	0,6
Урожайность с 1 га, т,	2,8	3,3	1,8	2,3
Цена реализации 1 т, руб,	11000,0	11000,0	11000,0	11000,0
Денежная выручка с 1 га, руб,	30800,0	36300,0	19800,0	25300,0
Затраты труда на 1 га, чел,-ч	14,3	14,8	10,0	8,3
Затраты труда на 1 т, чел,-ч	2,5	2,7	2,5	2,7
Производственные затраты на 1 га, руб,	21962,7	24362,7	17832,0	20232,0
Себестоимость 1 т продукции, руб,	7843,8	7382,6	9906,7	8796,5
Прибыль на 1 га, руб,	8837,3	11937,3	1968,0	5068,0
Рентабельность продукции, %	40,2	49,0	11,0	25,0

Выводы

По результатам оценки действия фунгицида Таксис, СК (240 г/л азоксистробина + 160 г/л эпоксиконазола) при обработке вегетирующих растений пшеницы установлено, что данный препарат при двукратной обработке с нормой расхода 0,6 л/га эффективен против септориоза листьев, стеблевой ржавчины, мучнистой росы и бурой ржавчины – составляло более 80%.

Применение Таксиса, СК способствует увеличению урожайности пшеницы на 14–15% в Дагестане и Ростовской области по сравнению с контрольными группами. Также наблюдается рост массы 1000 зерен.

Использование фунгицида Таксис, СК приводит к значительному повышению экономической эффективности производства пшеницы. Чистая прибыль увеличивается, себестоимость продукции снижается, а уровень рентабельности возрастает с 40,2% до 49,0% в условиях Дагестана и с 11,0% до 25,0% в условиях Ростовской области.

Новый двухкомпонентный фунгицид Таксис, СК может быть рекомендован для борьбы с листостебельными инфекциями пшеницы для совер-

шенствования ассортимента в разных природно-климатических зонах для оптимизации фитосанитарного состояния и повышения урожайности зерновых культур после регистрации в государственном каталоге.

Список литературы

1. Гончаров, С. В., & Курашов, М. Ю. (2018). Перспективы развития российского рынка твёрдой пшеницы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, (2(57)), 66–75. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.66>. EDN: <https://elibrary.ru/XTGGLB>
2. Куксин, С. В. (2018). Состояние и перспективы развития рынка пшеницы России как составной части мирового рынка зерна. *Вестник НГИЭИ*, (5(84)), 135–146. EDN: <https://elibrary.ru/XNDGEN>
3. Алтухов, А. И., Завалин, А. А., Милащенко, Н. З., & Трушкин, С. В. (2020). Проблема повышения качества пшеницы в стране требует комплексного решения. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 32–39. EDN: <https://elibrary.ru/PHACEU>
4. Astarkhanova, T. S., Behzad, A., Pakina, E. N., & Bereznev, A. V. (2024). In vitro evaluation of effect of new fungicides against yellow spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) of wheat. *BIO Web Conf.*, 108, 09006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410809006>. EDN: <https://elibrary.ru/TYGXKV>
5. Кекало, А. Ю., Заргарян, Н. Ю., & Немченко, В. В. (2023). Эффективность фунгицидной защиты яровой пшеницы от мучнистой росы и пиренофороза. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 53(1), 45–52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-6>. EDN: <https://elibrary.ru/PIVCFQ>
6. Diakite, S., Saqee, F. S., Kavhiza, N. J., Pakina, E. N., Norman, P. E., et al. (2024). Plant growth and development responses to sulfur nutrition and disease attack under climate change: role of sulfur and management strategies for wheat and barley. *Pedosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.12.004>. EDN: <https://elibrary.ru/XHNOMC>
7. Saqee, F. S., Diakite, S., Pakina, E. N., et al. (2025). Fusarium head blight, growth, yield, and quality traits of spring wheat as influenced by variety and cultivation technologies. *Journal of Agriculture and Environment*, (1(53)), 3. URL: <https://jae.cifra.science/archive/1-53-2025-january/> (дата обращения: 22.02.2025). <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.3>. EDN: <https://elibrary.ru/HEJUSC>
8. Санин, С. С., Сандухадзе, Б. И., Мамедов, Р. З., и др. (2020). Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита растений в Центральном районе России. *Агрохимия*, (10), 36–44. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100105>. EDN: <https://elibrary.ru/SEEZCE>

9. Кекало, А. Ю., Немченко, В. В., Заргарян, Н. Ю., & Цыпышева, М. Ю. (2017). *Защита зерновых культур от болезней*. Куртамыш: Куртамышская типография. 172 с. ISBN: 978-5-98271-251-6. EDN: <https://elibrary.ru/YLUIUB>
10. Пахолкова, Е. В. (2015). Скорость развития листостебельных инфекций зерновых культур. *Защита и карантин растений*, (3), 39–40. EDN: <https://elibrary.ru/TLAABD>
11. Санин, С. С., Санина, А. А., Пахолкова, Е. В., и др. (2022). Защита пшеницы от эпифитотий септориоза листьев и колоса. *Защита и карантин растений*, (11), 4–13. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_11_4. EDN: <https://elibrary.ru/МОНWCS>
12. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации (часть: пестициды) (по состоянию на 26 июня 2024 г.). URL: <http://www.mcx.gov.ru> (дата обращения: 30 июня 2024 г.)
13. Simón, M. R., Fleitas, M. C., Castro, A. C., & Schierenbeck, M. (2020). How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end-use quality of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11, 569401. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569401>. EDN: <https://elibrary.ru/BWMDHM>
14. Доспехов, Б. А. (1985). *Методика полевого опыта*. Москва. EDN: <https://elibrary.ru/ZJQBUD>
15. Поддымкина, Л. М., & Гулова, И. А. (2020). Оценка эффективности применения фунгицидов Колосаль Про и Спирита в посевах озимой пшеницы. *Плодородие*, (1(112)), 16–18. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.112.05>. EDN: <https://elibrary.ru/UARRCH>
16. Крупенько, Н. А., & Одинцова, И. Н. (2020). Особенности действия и ретроспективный анализ эффективности фунгицидов для защиты пшеницы мягкой озимой от болезней листового аппарата. *Вестник защиты растений*, 103(4), 224–232. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13741>. EDN: <https://elibrary.ru/LRSTXH>
17. Россеева, Л. П., Мешкова, Л. В., Белан, И. А., и др. (2019). Устойчивость сортов мягкой яровой пшеницы к листостебельным патогенам в Западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (5(175)), 5–11. EDN: <https://elibrary.ru/ZDBCBO>
18. González-Domínguez, E., Fedele, G., Salinari, F., & Rossi, V. (2020). A general model for the effect of crop management on plant disease epidemics at different scales of complexity. *Agronomy*, 10(4), 462. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040462>. EDN: <https://elibrary.ru/HIYJZG>

19. Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebber, D. P., et al. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(23). <https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>. EDN: <https://elibrary.ru/EWEZJF>
20. Dean, R., Van Kan, J. A. L., Pretorius, Z. A., et al. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 414–430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YCXIBV>
21. Diakite, S., Diarra, O., Diarra, R., et al. (2024). Influence of a new generation fungicide on Fusarium head blight in spring barley. *International Journal of Microbiology and Biotechnology*, 9(3), 79–84. <https://doi.org/10.11648/j.ijmb.20240903.15>. EDN: <https://elibrary.ru/QFXRUJ>

References

1. Goncharov, S. V., & Kurashov, M. Yu. (2018). Prospects for the development of the Russian durum wheat market. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*, (2(57)), 66–75. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2018.2.66>. EDN: <https://elibrary.ru/XTGGLB>
2. Kuksin, S. V. (2018). The state and prospects of development of Russia's wheat market as an integral part of the global grain market. *Bulletin of NGIEI*, (5(84)), 135–146. EDN: <https://elibrary.ru/XNDGEH>
3. Altukhov, A. I., Zavalin, A. A., Milashchenko, N. Z., & Trushkin, S. V. (2020). The problem of improving wheat quality in the country requires a comprehensive solution. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, (2), 32–39. EDN: <https://elibrary.ru/PHACEU>
4. Astarkhanova, T. S., Behzad, A., Pakina, E. N., & Bereznov, A. V. (2024). In vitro evaluation of effect of new fungicides against yellow spot (*Pyrenophora tritici-repentis*) of wheat. *BIO Web Conf.*, 108, 09006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410809006>. EDN: <https://elibrary.ru/TYGXKV>
5. Kekalo, A. Yu., Zargaryan, N. Yu., & Nemchenko, V. V. (2023). Efficiency of fungicidal protection of spring wheat against powdery mildew and pyrenophorosis. *Siberian Herald of Agricultural Science*, 53(1), 45–52. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-6>. EDN: <https://elibrary.ru/PIVCFQ>
6. Diakite, S., Saquee, F. S., Kavhiza, N. J., Pakina, E. N., Norman, P. E., et al. (2024). Plant growth and development responses to sulfur nutrition and disease attack under climate change: role of sulfur and management strategies for wheat and barley. *Pedosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2024.12.004>. EDN: <https://elibrary.ru/XHNOMC>
7. Saquee, F. S., Diakite, S., Pakina, E. N., et al. (2025). Fusarium head blight, growth, yield, and quality traits of spring wheat as influenced by variety and cul-

- tivation technologies. *Journal of Agriculture and Environment*, (1(53)), 3. URL: <https://jae.cifra.science/archive/1-53-2025-january/> (accessed: 22.02.2025). <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.53.3>. EDN: <https://elibrary.ru/HEJUSC>
8. Sanin, S. S., Sandukhadze, B. I., Mamedov, R. Z., et al. (2020). Intensification of wheat grain production, phytosanitary measures, and plant protection in the Central region of Russia. *Agrochemistry*, (10), 36–44. <https://doi.org/10.31857/S0002188120100105>. EDN: <https://elibrary.ru/SEEZCE>
 9. Kekalo, A. Yu., Nemchenko, V. V., Zargaryan, N. Yu., & Tsypysheva, M. Yu. (2017). *Protection of grain crops from diseases*. Kurtamysh: Kurtamysh Printing House. 172 p. ISBN: 978-5-98271-251-6. EDN: <https://elibrary.ru/YLUIUB>
 10. Pakholkova, E. V. (2015). Rate of development of leaf and stem infections in grain crops. *Plant Protection and Quarantine*, (3), 39–40. EDN: <https://elibrary.ru/TLAABD>
 11. Sanin, S. S., Sanina, A. A., Pakholkova, E. V., et al. (2022). Protection of wheat against epiphytotics of leaf and ear septoriosis. *Plant Protection and Quarantine*, (11), 4–13. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_11_4. EDN: <https://elibrary.ru/MOHWC5>
 12. *State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the territory of the Russian Federation (section: pesticides)* (as of June 26, 2024). URL: <http://www.mcx.gov.ru> (accessed: June 30, 2024).
 13. Simón, M. R., Fleitas, M. C., Castro, A. C., & Schierenbeck, M. (2020). How foliar fungal diseases affect nitrogen dynamics, milling, and end use quality of wheat. *Frontiers in Plant Science*, 11, 569401. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569401>. EDN: <https://elibrary.ru/BWMDHM>
 14. Dospekhov, B. A. (1985). *Field experiment methodology*. Moscow. EDN: <https://elibrary.ru/ZJQBUD>
 15. Podymkina, L. M., & Gulova, I. A. (2020). Evaluation of the effectiveness of fungicides Kolosal Pro and Spirit in winter wheat crops. *Fertility*, (1(112)), 16–18. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.112.05>. EDN: <https://elibrary.ru/UARRCH>
 16. Krupenko, N. A., & Odintsova, I. N. (2020). Features of action and retrospective analysis of fungicide effectiveness for protecting winter soft wheat from leaf diseases. *Plant Protection Bulletin*, 103(4), 224–232. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2020-103-4-13741>. EDN: <https://elibrary.ru/LRSTXH>
 17. Rosseeva, L. P., Meshkova, L. V., Belan, I. A., et al. (2019). Resistance of soft spring wheat varieties to leaf and stem pathogens in Western Siberia. *Bulletin of Altai State Agrarian University*, (5(175)), 5–11. EDN: <https://elibrary.ru/ZDBCBO>
 18. González Domínguez, E., Fedele, G., Salinari, F., & Rossi, V. (2020). A general model for the effect of crop management on plant disease epidemics at different scales of complexity. *Agronomy*, 10(4), 462. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040462>. EDN: <https://elibrary.ru/HIYJZG>

19. Ristaino, J. B., Anderson, P. K., Bebber, D. P., et al. (2021). The persistent threat of emerging plant disease pandemics to global food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(23). <https://doi.org/10.1073/pnas.2022391118>. EDN: <https://elibrary.ru/EWEZJF>
20. Dean, R., Van Kan, J. A. L., Pretorius, Z. A., et al. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 414–430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YCXIBV>
21. Diakite, S., Diarra, O., Diarra, R., et al. (2024). Influence of a new generation fungicide on Fusarium head blight in spring barley. *International Journal of Microbiology and Biotechnology*, 9(3), 79–84. <https://doi.org/10.11648/j.ijmb.20240903.15>. EDN: <https://elibrary.ru/QFXRUJ>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Астарханова Тамара Саржановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
tamara-ast@mail.ru

Диаките Симбо, аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
diakitesimbo88@gmail.com

Амини Амин Джан, аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
aminjan.amin@gmail.com

Бехзад Абдулла, аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
abd.behzad2@gmail.com

Березнов Алексей Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук,
отдел агротехнологий
ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
ул. Прянишникова, 31а, г. Москва, 127434, Российская Федерация
bereznov@yandex.ru

Пакина Елена Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
Агро-биотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
e-pakina@yandex.ru

Заргар Мейсам, доцент, Агробiotехнологический департамент, Аграрно-технологический институт
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
zargar_m@rudn.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tamara S. Astarkhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
tamara-ast@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1431-9309>
Scopus Author ID: 57194946276

Simbo Diakite, PhD scholar Student of Plant Protection, Department of Agrobiotechnology, Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
diakitesimbo88@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1462-1329>
Scopus Author ID: 57605101300

Amin Jan Amini, PhD scholar Student of Plant Protection, Department of Agrobiotechnology, Agrarian Technological Institute

Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
aminjan.amini@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3278-8608>

Abdullah Behzad, PhD scholar Student of Plant Protection, Department of Agro-biotechnology, Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
abd.behzad2@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0454-9941>
Scopus Author ID: 57823191400

Alexey V. Bereznov, Candidate of Agricultural Sciences, Department of Agro-technology
D.N. Pryanishnikov Institute of Agrochemistry
31a, Pryanishnikova Str., Moscow, 127434, Russian Federation
bereznov@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5889-0899>

Elena N. Pakina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Crop Protection, Department of Agrobiotechnology, Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
e-pakina@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6493-6121>
Scopus Author ID: 56805238100

Meisam Zargar, Associate Professor of Crop Protection, Department of Agro-biotechnology Agrarian Technological Institute
Peoples' Friendship University of Russia
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
zargar_m@rudn.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5208-0861>
Scopus Author ID: 57203177348

Поступила 24.09.2024
После рецензирования 05.03.2025
Принята 25.04.2025

Received 24.09.2024
Revised 05.03.2025
Accepted 25.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262

EDN: TNCCEA

УДК 616-08:616-006



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ ФОРМ УДОБРЕНИЙ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

А.Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, В.Д. Бочкарев

Аннотация

Обоснование. Впервые в условиях юга лесостепи Нечернозёмной зоны на оподзоленных чернозёмах разработаны регламенты применения хелатных форм микроэлементов в виде листовых подкормок. Исследования проводились на сортах среднеранней (Гала) и средней (Санте) групп спелости картофеля. Эти группы являются наиболее распространёнными в регионе и занимают наибольшие площади товарных посадок.

Цель — определить влияние листовых подкормок хелатными формами меди и железа на элементы структуры продуктивности картофеля, урожайность товарной продукции и качественные показатели сортов картофеля разных групп спелости.

Материалы и методы. Проведён полевой двухфакторный опыт методом рандомизированного блочного плана по определению эффективности хелатных микроудобрений в технологии возделывания картофеля сортов Гала и Санте. Использовались общепринятые методики определения показателей структуры урожая картофеля, содержания крахмала и сырого протеина в клубнях. Дисперсионный анализ влияния вариантов опыта на элементы структуры урожая проводился с помощью пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рандомизированного блочного плана.

Результаты. В ходе исследований было установлено, что хелатные формы меди и железа положительно влияют на структуру урожая картофеля сортов Санте и Гала. Применение хелатов меди на сорте Санте привело к увеличению количества клубней на 12% в 2023 году и на 20% в 2024 году, а также повысило среднюю массу клубня и общую массу клубней с куста. Влияние хелата железа оказалось менее выраженным, однако в 2024 году он обеспечил увеличение количества клубней на 16%. На сорте Гала наибольший прирост

количества клубней был достигнут в 2024 году благодаря применению микроэлементов. Увеличение урожайности при использовании микроэлементов сопровождалось снижением содержания крахмала в клубнях и увеличением доли сырого протеина.

Заключение. Полученные результаты подчёркивают важность учёта взаимодействия этих микроэлементов с сортовыми характеристиками и условиями выращивания для повышения урожайности картофеля на юге лесостепной зоны.

Ключевые слова: медь; железо; хелаты; картофель; сорт; урожайность

Для цитирования. Никольский, А. Н., Бочкарев, Д. В., & Бочкарев, В. Д. (2025). Влияние хелатных форм удобрений меди и железа на продуктивность сортов картофеля. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 299-314. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262>

Original article

THE INFLUENCE OF CHELATED FORMS OF COPPER AND IRON FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY OF POTATO VARIETIES

A.N. Nikolskii, D. V. Bochkarev, V.D. Bochkarev

Abstract

Background. For the first time in the southern part of the forest-steppe of the Non-Chernozem Zone on podzolized chernozems, regulations have been developed for the application of chelated forms of micronutrients as foliar fertilizers. The research was conducted on varieties from the medium-early (Gala) and medium (Sante) maturity groups of potatoes. These groups are the most common in the region and occupy the largest areas of commercial plantings.

Purpose. To determine the effect of foliar applications of copper and iron chelates on the elements of potato productivity structure, marketable yield, and quality indicators of different maturity group varieties.

Materials and methods. A two-factor field experiment using a randomized block design was carried out to assess the effectiveness of chelate-based microfertilizers in the cultivation technology of Gala and Sante potato varieties. Standard methods were used to determine crop structure parameters, starch content, and crude protein levels in tubers. Analysis of variance for the impact of experimental variants on crop structure elements was performed using the AgroR and ExpDes packages in the R programming language with fixed effects of the randomized block plan

Results. The study found that chelated forms of copper and iron positively affect the yield structure of Sante and Gala potato varieties. Application of copper chelates to the Sante variety increased the number of tubers by 12% in 2023 and by 20% in 2024, while also increasing the average weight per tuber and total mass of tubers per plant. The influence of iron chelates was less pronounced, but in 2024 it led to a 16% increase in the number of tubers. For the Gala variety, the greatest increase in the number of tubers was achieved in 2024 due to the use of micronutrients. Increased yields resulting from the use of micronutrients were accompanied by a decrease in starch content in tubers and an increase in crude protein content.

Conclusion. The results highlight the importance of considering the interaction between these micronutrients, varietal characteristics, and growing conditions to improve potato yields in the southern forest-steppe zone.

Keywords: copper; iron; chelates; potatoes; variety; yield

For citation. Nikolskii, A. N., Bochkarev, D. V., & Bochkarev, V. D. (2025). The influence of chelated forms of copper and iron fertilizers on the productivity of potato varieties. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 299-314. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1262>

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) занимает четвертое место в мире по потребляемости продуктов питания после риса, пшеницы и кукурузы [15]. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (ФАО) площадь посадок картофеля в мире составляет порядка 18 млн га [11].

Посевные площади под картофелем в Российской Федерации на 2023 г. составляют чуть более 1 млн га. Валовый сбор культуры при этом составляет 8,6 млн т. [1]. Стабильное развитие отрасли может позволить достигнуть важной стратегической цели – обеспечение продовольственной независимости и возможной переориентации на экспорт [2].

Картофель – легко адаптируемая и высокоурожайная культура которая может возделываться в различных природно-экономических условиях [20]. Существует значительный потенциал для увеличения производства картофеля за счет оптимизации технологии возделывания [12; 16; 18]. Внесение удобрений увеличивает размер и массу клубней, уменьшает количество нетоварной продукции. Поэтому актуальны исследования по выявлению необходимого количества и распределения питательных веществ [7].

Микроэлементы регулируют важнейшие физиологические процессы в организме растений. Железо требуется растениям в небольших коли-

чествах, хотя оно играет важную роль в фотосинтетическом транспорте электронов, образовании хлорофилла, ассимиляции, поглощении и транслокации азота [8; 19; 21].

Растения используют Cu в качестве кофактора для широкого спектра белков, участвующих в нескольких физиологических процессах, включая фотосинтез, митохондриальное дыхание, углеводный обмен, образование фенольных соединений в ответ на атаку патогенов, удаление супероксида, ремоделирование клеточной стенки и восприятие этилена. Большинство Cu-белков (~90%) в природе функционируют как оксидоредуктазы [13; 14]. Cu является частью комплекса дыхательной цепи митохондрий и, таким образом, участвует в метаболических путях, обеспечивающих энергию для клеточных процессов [17].

Установлено положительное влияние микроудобрений на рост и развитие картофеля в различных почвенно-климатических регионах России и сопредельных государств. В опытах С.Н. Нековаль и соавт. установлена высокая эффективность препарата Блю Шилд 20, ВДГ (308 г/кг меди гидроокись) в норме 2 кг/га сдерживало распространение фитофтороза на 10-15% а развитие патогена более чем в 2 раза по сравнению с необработанными участками. При этом увеличение урожайности составило 0,7 кг/куст [5].

Применение комплексного микроудобрения «Ультрамаг Комби» совместно с регуляторами роста существенно увеличивало площадь ассимиляционной поверхности листьев, число стеблей и листьев куста картофеля и фотосинтетический потенциал посадок [3]. В.А. Шадских и соавт. отмечают что внесение микроудобрений Mo, Zn, Cu, и Mn по вегетации в условиях Саратовской области позволяет получить урожай картофеля 55-60 т/га [6]. В условиях Белоруссии применение комплексного органоминерального удобрения Нутривант стим содержащего медь, марганец, цинк и молибден по фону $N_{70}P_{80}K_{120}$ увеличивало урожайность культуры, при этом не вызывая значимого содержания крахмала в клубнях [4].

В тоже время в условиях юга лесостепи Нечерноземной зоны подобных исследований не проводилось, что и послужило отправной точкой наших исследований.

Материалы и методы

Полевой двухфакторный опыт по влиянию хелатных форм меди и железа на урожайность и товарные качества сортов картофеля был проведен в 2023-2024 г. Место проведения исследований – Мордовская государственная со-

ртноиспытательная станция (Республика Мордовия, г Саранск, Октябрьский р-н, село Макаровка). Опыт включал в себя следующие варианты

Фактор А – сорт. 1) Санте, среднеспелый сорт (оригинатор NORIKA GMBH (Германия)); 2) Гала, среднеранний сорт (оригинатор «Agrico U. A.» (Нидерланды))

Фактор В – хелатные формы микроудобрений 1) Контроль (Без обработки удобрениями); 2) Листовое внесение хелата железа (2 л/га); 3) Листовое внесение хелата меди (2 л/га).

Хелатная форма на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА) содержала 15 % меди и 13 % железа. Норма расхода рабочего раствора 300 л/га. Листовую подкормку микроэлементами проводили в фазу полного смыкания междурядий (ВВСН 38-39).

Почва опытного участка, характеризовалась средним содержанием подвижного фосфора (115 мг/кг) и обменного калия (142 мг/кг) средней гидролитической кислотностью ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5,4$), высокой суммой поглощенных оснований и степенью насыщенности ими ($S - 7,3$ мг-экв. /100 г почвы, $V - 72,8\%$).

Условия вегетации 2023 г. отличались большим количеством осадков (253 мм) и высокой суммой активных температур (2319 °С). 2024 г. характеризовался как средnezасушливый (сумма осадков за вегетацию – 148 мм) и недостаточно теплообеспеченный (сумма активных температур – 1894 °С)

Обработка почвы состояла в осенней вспашке и предварительном нарезании гребней весной при достижении физиологической спелости почвы. Под вспашку вносили полное минеральное удобрение в дозе $\text{N}_{20}\text{P}_{64}\text{K}_{64}$. Схема посадки – 75×30 см, расчетная густота стояния растений – 45 тыс. шт./га. Посадку производили во второй декаде мая. Фоновая система защиты картофеля состояла из обработки по вегетации фунгицидом Металаксил (манкоцеб, 640 г/кг + металаксил, 80 г/кг), инсектицидом Танрек (имидаклоприд, 200 г/л). Для защиты от сорняков применяли довсходовый гербицид Гамбит (прометрин, 500 г/л) и повсходовый гербицид Лазурит Супер (метрибузин, 270 г/л). Уборку клубней проводили в первой декаде сентября.

Опыт заложен медом расщепленных делянок. Площадь опытной делянки второго порядка 210 м² (30х7 м). Повторность опыта – трехкратная. Учет и структуру урожая клубней картофеля проводили для каждой делянки, взвешивая товарные и нетоварные фракции отдельно. Количество клубней в кусте и массу с 1 куста проводили по 10 случайно выбранным с каждого повторения растениям.

Сухое вещество картофеля определяли весовым методом. Определение содержания крахмала проводили поляриметрическим методом на колори-

метре портативном П–161. Содержание сырого протеина устанавливали по ГОСТ 13496.4-2019 на приборе «Кельтран» (ООО ВПК «СибагроПРИБОР», Россия).

Дисперсионный анализ влияния вариантов опыта на элементы структуры урожая проведен при помощи пакетов AgroR и ExpDes языка программирования R методом фиксированных эффектов рендомизированного блочного плана (randomized block design) [9; 10].

Результаты исследований

Структура урожая картофеля определяется количеством клубней в кусте, средней массой клубня и отдельным кустом. Наши исследования показали положительное влияние хелатных форм меди и железа на структуру урожая картофеля. Так, на сорте Сантае применение хелата меди привело к увеличению числа клубней под растением на 12% относительно контроля в 2023 году и на 20% в 2024 году (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние микроэлементов меди и железа на структуру урожая картофеля

Вариант опыта		2023 г.			2024 г.		
Сорт Фактор А	Удобрение Фактор В	количество клубней / куст	масса 1 клубня, г	масса 1 куста, г	количество клубней / куст	масса 1 клубня, г	масса 1 куста, г
Сантае	без удобрений	8,2	128,5	1056	6,4	191,7	1229
	хелат железа	8,1	135,6	1100	7,4	198,4	1471
	хелат меди	9,3	143,9	1343	7,7	189,0	1220
Гала	без удобрений	9,3	88,2	824	6,7	137,3	910
	хелат железа	8,9	94,9	843	8,7	125,7	1074
	хелат меди	8,4	106,4	899	9,1	146,8	1337
<i>Среднее по фактору А</i>							
Сантае		8,5	136,0 ^а	1166 ^а	7,2	193,0 ^а	1306 ^а
Гала		8,9	96,5 ^б	855 ^б	8,1	136,6 ^б	1107 ^б
<i>Среднее по фактору В</i>							
без удобрений		8,8	108,4	940 ^б	6,6 ^б	164,5	1069 ^б
хелат железа		8,5	115,3	972 ^б	8,1 ^а	162,0	1272 ^а
хелат меди		8,9	125,2	1121 ^а	8,4 ^а	167,9	1278 ^а
<i>НСР₀₅ ч.р</i>		<i>Fф<F₀₅</i>	18,76	175,3	1,93	26,27	233,4

Результаты, полученные на делянках с внесением хелата железа, оказались неоднозначными: в 2023 году наблюдалось незначительное снижение количества клубней, тогда как в 2024 году отмечен рост на 16%.

На сортах Гала была выявлена другая тенденция. Максимальное количество клубней на контроле зафиксировано в 2023 году, а в 2024 году внесение микроэлементов значительно увеличило этот показатель на 29–35%.

Стоит отметить, что существенных сортовых различий в ходе исследований выявлено не было.

Средняя масса клубня сорта Санте в 2023 году при внесении хелата меди увеличилась на 12%, а общая масса клубней с куста – на 27%. На сорте 'Гала' эти показатели выросли на 20% и 9% соответственно. Эффективность применения микроудобрений железа оказалась ниже, чем у медных микроудобрений. Средняя масса клубня на Санте была выше на 40–42%. Этот сорт также отличался более высокой общей массой клубней с растения: в 2023 году – на 36% по сравнению с Гала, в 2024 году – на 17%.

В 2024 году средняя масса клубня на варианте с хелатом меди снизилась на 1%, а общая масса клубней с куста составила 2% по сравнению с контролем. Хелат железа достоверно увеличивал эти показатели. На сорте Гала средняя масса клубня от применения микроэлементов выросла на 7%, а общая масса клубней с куста – на 47%. Применение хелата железа на этом сорте привело к незначительному снижению показателей продуктивности.

В среднем по фактору сорта установлены достоверные различия между вариантами: Санте отличался большими размерами клубней и их массой с отдельного куста. Хелатные соединения достоверно увеличивали лишь последнюю характеристику, не влияя на массу клубня.

Полученные данные свидетельствуют о том, что хелатные формы меди и железа оказывают разное влияние на структуру урожая картофеля, которое во многом зависит от сорта и условий вегетации. Однако наблюдается положительная тенденция увеличения отдельных показателей структуры, особенно заметная при применении хелата меди в 2023 году и хелата железа в 2024 году на сорте Санте.

Для оценки влияния микроэлементов на продуктивность картофеля необходимо учитывать урожайность отдельных фракций (таблица 2).

В среднем по фактору сорта урожайность Санте была достоверно выше на 18–35% в зависимости от года. Применение микроэлементов также существенно увеличивало урожайность по сравнению с контролем. В 2023 году наибольшая урожайность наблюдалась при обработке хелатом меди, а в 2024 году – хелатом железа. Различия между этими микроэлементами были не существенными.

Наибольшая биологическая урожайность товарного картофеля сорта Санте была зафиксирована в 2023 году на варианте с обработкой вегети-

рующих растений хелатом меди – на 6,4 т (14%) больше по сравнению с контролем. Меньший прирост был получен от применения хелата железа – 1,3 т/га (6%). На сорте Гала максимальная урожайность в 2023 году также была достигнута на варианте с хелатом меди. Прирост составил 3,4 т/га (10% по сравнению с контролем). В 2024 году увеличение урожайности на этом сорте оказалось значительнее – 28% при обработке хелатом меди и 16% при обработке хелатом железа.

Таблица 2.

**Влияние микроэлементов меди и железа на продуктивность
и фракционный состав урожая картофеля**

Вариант опыта		2023 г.		2024 г.	
Сорт Фактор А	Удобрение Фактор В	урожайность товарных клубней , т/га	урожайность нетоварных клубней , т/га	урожайность товарных клубней , т/га	урожайность нетоварных клубней , т/га
Санте	без удобрений	43,7	3,80	41,5	4,81
	хелат железа	45,0	4,46	46,8	6,46
	хелат меди	50,1	4,96	41,8	6,12
Гала	без удобрений	31,5	5,57	30,6	4,40
	хелат железа	33,4	4,55	38,4	6,29
	хелат меди	37,7	2,84	43,7	6,48
Среднее по фактору А					
Санте		46,3 ^а	4,40	43,4 ^а	5,79
Гала		34,2 ^б	4,32	37,6 ^б	5,72
Среднее по фактору В					
без удобрений		37,7 ^б	4,68 ^а	36,1 ^б	4,60 ^б
хелат железа		39,2 ^б	4,50 ^а	42,5 ^а	6,37 ^а
хелат меди		43,9 ^а	3,90 ^б	42,8 ^а	6,30 ^а
<i>НСР₀₅ ч.р</i>		4,49	0,44	4,43	0,65

Следует отметить, что в благоприятных с точки зрения климатических условий микроэлементы снижают урожайность нетоварной продукции, тогда как в более стрессовых условиях одновременно с увеличением урожайности товарной продукции микроэлементы повышают и урожайность нетоварной продукции.

Содержание сухого вещества изменялось в зависимости от года проведения исследований. В среднем в 2023 году оно составило 23,9%, а в 2024 году – 26,6%. Сортвые особенности проявлялись в накоплении сухого вещества в 2023 году. Было отмечено достоверное увеличение этого показателя на сорте Санте. Применение хелатных форм микроэлементов вызывало значительные колебания содержания сухого вещества в клубнях

картофеля. В 2023 году хелат меди существенно снижал этот показатель, однако в более засушливый 2024 год использование меди увеличило содержание сухого вещества на 8% по сравнению с контролем. Хелат железа во все годы исследования хоть и снижал содержание сухого вещества, но уменьшение было незначительным по сравнению с контролем.

Таблица 3.

Влияние микроэлементов меди и железа на содержание сухого вещества и крахмала, % на естественную влажность

Вариант опыта		2023 г.			2024 г.		
сорт Фактор А	удобрение Фактор В	сухое ве- щество, %	крахмал, %	сырой про- теин, %	сухое ве- щество, %	крахмал, %	сырой протеин, %
Санте	без удобрений	26,5	16,6	3,57	26,8	17,3	5,16
	хелат железа	25,1	14,2	3,92	25,6	13,7	5,35
	хелат меди	24,1	13,6	4,27	29,2	18,1	5,04
Гала	без удобрений	23,3	13,7	4,12	26,2	15,1	6,43
	хелат железа	22,9	12,5	4,99	23,2	12,9	6,50
	хелат меди	21,4	13,6	4,34	28,7	18,2	4,69
Среднее по фактору А							
Санте		25,2 ^a	14,8 ^a	3,92 ^b	27,2	16,4	4,22
Гала		22,5 ^b	13,2 ^b	4,49 ^a	26,0	15,4	4,27
Среднее по фактору В							
контроль (без удобре- ний)		24,9 ^a	15,1 ^a	3,85 ^b	26,5 ^b	16,2 ^b	4,28 ^a
хелат железа		24,0 ^a	13,2 ^b	4,46 ^a	24,4 ^b	13,3 ^c	3,96 ^b
хелат меди		22,7 ^b	13,6 ^b	4,31 ^{ab}	28,9 ^a	18,1 ^a	4,50 ^a
<i>НСР₀₅ ч.р.</i>		1,57	1,75	0,653	3,04	2,24	0,949

Уровень содержания крахмала в наших исследованиях коррелировал с содержанием сухого вещества. Закономерности накопления крахмала в зависимости от условий вегетации аналогичны закономерностям накопления сухого вещества.

Содержание крахмала в картофеле существенно варьировалось в зависимости от сорта. В среднем сорт Гала уступал Санте на 0,7–1,2%, значимые различия были установлены только в 2023 году.

Рост урожайности культуры при использовании хелатов меди и железа в 2023 году привел к незначительному, но достоверному снижению содержания крахмала на 6–9%. В то же время в условиях 2024 года хелат меди в среднем увеличивал этот показатель на 0,5% по сравнению с контролем. Применение хелата железа в 2024 году значительно снизило содержание крахмала – на 0,8% относительно контроля и на 1,3% по сравнению с хелатом меди.

Содержание сырого протеина в наших исследованиях отрицательно коррелировало с накоплением крахмала в клубнях. В среднем применение хелата меди увеличивало накопление протеина в 2023 году на 12%, а хелата железа – на 16%. В 2024 году применение железа достоверно снижало содержание протеина по сравнению с контролем и медью. Сорт ‘Гала’ во все годы исследований отличался несколько большим содержанием протеина в клубнях по сравнению с Санте.

Заключение

Исследования показали, что хелатные формы меди и железа положительно влияют на структуру урожая картофеля сортов Санте и Гала. Внесение хелата меди на сорте Санте увеличило количество клубней на 12% в 2023 году и на 20% в 2024 году, а также среднюю массу клубня и общую массу клубней с куста. Эффект от хелата железа оказался менее устойчивым, хотя в 2024 году он привел к росту количества клубней на 16%. На сорте Гала наибольший прирост количества клубней был достигнут в 2024 году при использовании микроэлементов. Оба микроэлемента способствовали увеличению ключевых показателей структуры урожая, подтверждая важность учета их взаимодействия с сортовыми особенностями и условиями выращивания для повышения урожайности картофеля.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта проведения научных исследований № 123033000029-7 «Разработка подходов получения отечественных аналогов кормовых добавок и удобрений на основе микроэлементов и совершенствование технологии их применения в животноводстве и растениеводстве».

Список литературы

1. Бутов, И. С. (2023). Рост и перспективы: овощеводство и картофелеводство России в 2023 году. *Картофель и овощи*, (11), 3–6. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.61.50.001>. EDN: <https://elibrary.ru/PCDHFI>
2. Бутов, И. С. (2024). Овощеводство и картофелеводство России: итоги 2023 года. *Картофель и овощи*, (1), 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.82.13.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFFFBR>

3. Икоева, Л. П., & Хаева, О. Э. (2021). Влияние регулятора роста «Регоплант» и микроудобрения «Ультрамаг Комби» на фотосинтетическую деятельность картофеля в лесостепной зоне РСО-Алания. *Аграрный вестник Урала*, (7(210)), 55–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65>. EDN: <https://elibrary.ru/VBD0UX>
4. Ионас, Е. Л. (2024). Влияние комплексных удобрений и регуляторов роста на урожайность, качество и химический состав клубней картофеля. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, (2), 112–116. EDN: <https://elibrary.ru/LUOSUQ>
5. Нековаль, С. Н., Беляева, А. В., Садовая, А. Е., & Федорянская, И. С. (2020). Эффективность нового медьсодержащего фунгицида против возбудителя фитофтороза картофеля. *Достижения науки и техники АПК*, 34(11), 48–52. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11107>. EDN: <https://elibrary.ru/TYNTTB>
6. Шадских, В. А., Кижаяева, В. Е., Пешкова, В. О., & Лукашунас, Ю. А. (2022). Оптимизация использования элементов питания и микроудобрений при возделывании картофеля в орошаемых агроценозах Поволжья. *Орошаемое земледелие*, (4(39)), 58–61. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-3-12>. EDN: <https://elibrary.ru/PSFXVJ>
7. Azamshah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R., et al. (2016). The effect of foliar application of urea, humic acid and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*, 35(1), 89–94
8. Borlotti, A., Vigani, G., & Zocchi, G. (2012). Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *BMC Plant Biology*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-1>. EDN: <https://elibrary.ru/RJYAKT>
9. Dunn, P. K., & Smyth, G. K. (2018). *Generalized linear models with examples in R*. New York: Springer. 53, 16. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>
10. Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
11. FAO Statistical Database (FAOSTAT). Retrieved from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (дата обращения: [укажите дату])
12. Jia, L., Yang, C. H., Qin, Y. L., Liang, R. F., Cui, S. X., et al. (2018). Potato yield gaps across the rainfed Yin-mountain Hilly Area of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2418–2425. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61969-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61969-X)
13. Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G. P., Sharma, A., et al. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity and tolerance in plants: A comprehensive review. *Chemical*

- mosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>. EDN: <https://elibrary.ru/WQHUNT>
14. Lange, B., van Der Ent, A., Baker, A. J., Echevarria, G., et al. (2017). Copper and cobalt accumulation in plants: a critical assessment of the current state of knowledge. *New Phytologist*, 213(2), 537–551. <https://doi.org/10.1111/nph.14381>. EDN: <https://elibrary.ru/YWCNGR>
 15. Liang, Z., Mu, T. H., Zhang, R. F., Sun, Q. H., et al. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 231–245. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62059-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62059-1)
 16. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>. EDN: <https://elibrary.ru/TPWNXG>
 17. Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.-F., & Sergeant, K. (2016). Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 7, 601. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00601>
 18. Wang, Z., Liu, H., Zeng, F. K., Yang, Y. C., et al. (2023). Potato processing industry in China: Current scenario, future trends and global impact. *Potato Research*, 66(2), 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EJIDRV>
 19. Wang, Y., Xu, C., Li, K., Cai, X., Wu, M., & Chen, G. (2017). Fe deficiency induced changes in rice (*Oryza sativa* L.) thylakoids. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 1380–1388. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8711-z>. EDN: <https://elibrary.ru/YZQWXJ>
 20. Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The contribution of potatoes to global food security, nutrition and healthy diets. *American Journal of Potato Research*, 96, 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09762-x>. EDN: <https://elibrary.ru/IETRBV>
 21. Yoon, H., Kang, Y. G., Chang, Y. S., & Kim, J. H. (2019). Effects of zero-valent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*, 9(11), 1543. <https://doi.org/10.3390/nano9111543>. EDN: <https://elibrary.ru/IHGWUZ>

References

1. Butov, I. S. (2023). Growth and prospects: vegetable and potato growing in Russia in 2023. *Potato and Vegetables*, (11), 3–6. <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.61.50.001>. EDN: <https://elibrary.ru/PCDHFI>

2. Butov, I. S. (2024). Vegetable and potato growing in Russia: results of 2023. *Potato and Vegetables*, (1), 8–11. <https://doi.org/10.25630/PAV.2024.82.13.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFFFBR>
3. Ikoeva, L. P., & Khaeva, O. E. (2021). Effect of the growth regulator “Regoplant” and the microfertilizer “Ultramag Combi” on the photosynthetic activity of potatoes in the forest-steppe zone of North Ossetia–Alania. *Agrarian Bulletin of the Urals*, (7(210)), 55–65. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-55-65>. EDN: <https://elibrary.ru/VBDOUX>
4. Ionas, E. L. (2024). Effect of complex fertilizers and growth regulators on the yield, quality, and chemical composition of potato tubers. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, (2), 112–116. EDN: <https://elibrary.ru/LUOSUQ>
5. Nekoval, S. N., Belyaeva, A. V., Sadovaya, A. E., & Fedoryanskaya, I. S. (2020). Efficiency of a new copper-containing fungicide against the causative agent of potato late blight. *Achievements of Science and Technology of AIC*, 34(11), 48–52. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11107>. EDN: <https://elibrary.ru/TYNTTB>
6. Shadskikh, V. A., Kizhaeva, V. E., Peshkova, V. O., & Lukashunas, Yu. A. (2022). Optimization of nutrient and microfertilizer use in potato cultivation in irrigated agroecosystems of the Volga region. *Irrigated Agriculture*, (4(39)), 58–61. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2022-3-12>. EDN: <https://elibrary.ru/PSFXVJ>
7. Azamshah, S., Mohammad, W., Shahzadi, S., Elahi, R., et al. (2016). The effect of foliar application of urea, humic acid, and micronutrients on potato crop. *Iran Agricultural Research*, 35(1), 89–94.
8. Borlotti, A., Vigani, G., & Zocchi, G. (2012). Iron deficiency affects nitrogen metabolism in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants. *BMC Plant Biology*, 12, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-1>. EDN: <https://elibrary.ru/RJYAKT>
9. Dunn, P. K., & Smyth, G. K. (2018). *Generalized linear models with examples in R*. New York: Springer. 53, 16. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0118-7>
10. Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., & Nogueira, D. A. (2014). ExpDes: an R package for ANOVA and experimental designs. *Applied Mathematics*, 5(19), 2952. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
11. FAO Statistical Database (FAOSTAT). Retrieved from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed: [insert date])
12. Jia, L., Yang, C. H., Qin, Y. L., Liang, R. F., Cui, S. X., et al. (2018). Potato yield gaps across the rainfed Yin mountain Hilly Area of China. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11), 2418–2425. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61969-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61969-X)

13. Kumar, V., Pandita, S., Sidhu, G. P., Sharma, A., et al. (2021). Copper bioavailability, uptake, toxicity, and tolerance in plants: a comprehensive review. *Chemosphere*, 262, 127810. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127810>. EDN: <https://elibrary.ru/WQHUNT>
14. Lange, B., van der Ent, A., Baker, A. J., Echevarria, G., et al. (2017). Copper and cobalt accumulation in plants: a critical assessment of the current state of knowledge. *New Phytologist*, 213(2), 537–551. <https://doi.org/10.1111/nph.14381>. EDN: <https://elibrary.ru/YWCNCR>
15. Liang, Z., Mu, T. H., Zhang, R. F., Sun, Q. H., et al. (2019). Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 231–245. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62059-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62059-1)
16. Nasir, M. W., & Toth, Z. (2022). Effect of drought stress on potato production: a review. *Agronomy*, 12(3), 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>. EDN: <https://elibrary.ru/TPWNXG>
17. Printz, B., Lutts, S., Hausman, J.-F., & Sergeant, K. (2016). Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in Plant Science*, 7, 601. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00601>
18. Wang, Z., Liu, H., Zeng, F. K., Yang, Y. C., et al. (2023). Potato processing industry in China: current scenario, future trends, and global impact. *Potato Research*, 66(2), 543–562. <https://doi.org/10.1007/s11540-022-09588-3>. EDN: <https://elibrary.ru/EJIDRV>
19. Wang, Y., Xu, C., Li, K., Cai, X., Wu, M., & Chen, G. (2017). Fe deficiency induced changes in rice (*Oryza sativa* L.) thylakoids. *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 1380–1388. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8711-z>. EDN: <https://elibrary.ru/YZQWXJ>
20. Wijesinha-Bettoni, R., & Mouillé, B. (2019). The contribution of potatoes to global food security, nutrition and healthy diets. *American Journal of Potato Research*, 96, 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12230-019-09762-x>. EDN: <https://elibrary.ru/IETRBV>
21. Yoon, H., Kang, Y. G., Chang, Y. S., & Kim, J. H. (2019). Effects of zero-valent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*, 9(11), 1543. <https://doi.org/10.3390/nano9111543>. EDN: <https://elibrary.ru/IHGWUZ>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никольский Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
alnik1986@gmail.com*

Бочкарев Дмитрий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук профессор кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
bochkarevdy@yandex.ru*

Бочкарев Владимир Дмитриевич, лаборант-исследователь кафедры агрономии и ландшафтной архитектуры

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет

*ул. Большевистская, 68, г. Саранск, 430005, Российская Федерация
kafedra_paz@agro.mrsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr N. Nikolskii, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

alnik1986@gmail.com

SPIN-code: 4627-8884

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3306-7792>

Dmitrii V. Bochkarev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

bochkarevdy@yandex.ru

SPIN-code: 4627-8884

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9165-3634>

Vladimir D. Bochkarev, Research Assistant at the Department of Agronomy and Landscape Architecture

National Research Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Str., Saransk Republic of Mordovia, 430005, Russian Federation

kafedra_paz@agro.mrsu.ru

SPIN-code: 9451-4400

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0893-4179>

Поступила 15.01.2025

После рецензирования 05.03.2025

Принята 11.03.2025

Received 15.01.2025

Revised 05.03.2025

Accepted 11.03.2025

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232

EDN: TWDEPX

УДК 632.4.01/.08



Научная статья

**РАСШИРЕНИЕ СПЕЦИФИЧНОСТИ
К РАСТЕНИЮ-ХОЗЯИНУ ИЗОЛЯТОВ *FUSARIUM*
И ОЦЕНКА ИХ ФИТОТОКСИЧНОСТИ НА РАПСЕ
И КАПУСТЕ БЕЛОКОЧАННОЙ**

*А.В. Вишнякова, М.А. Никитин,
А.А. Александрова, Л.М. Соколова*

Аннотация

Обоснование. Патогены рода *Fusarium* являются возбудителями экономически значимых заболеваний капустных культур. У капусты белокочанной потери урожая от фузариозного увядания могут составлять до 70-80 %, для озимого рапса фузариозное увядание также в списке мониторинга. В связи с изменениями климата происходит увеличение вредоносности фузариоза, кроме того, в последние годы наблюдается расширение специфичности возбудителя к растениям-хозяевам.

Цель. Изучить расширение специфичности к растениям хозяевам у агрессивных изолятов *Fusarium* spp., выделенных с овощных культур и их фитотоксичность.

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях *in vitro* с использованием 9 изолятов *Fusarium* spp., выделенных с растений капусты белокочанной, огурца, томата, моркови, и гороха с признаками фузариозного увядания, а также с корнеплодов моркови и свеклы во время хранения. Изучение патогенности изолятов проводили на 3 образцах устойчивой и восприимчивой капусты белокочанной и 4 образцах озимого рапса. Фитотоксичность изолятов изучали на восприимчивой капусте белокочанной трансфер и рапсе

Лексион. Патогенность определяли на проростках при совместном культивировании с патогеном на питательной среде. Фитотоксичность определяли методом биопробы на семенах.

Результаты. Показано, расширение специфичности к растению-хозяину изолятов, выделенных из свеклы столовой и гороха овощного и их высокой патогенности на капустных культурах. Все изоляты показывали высокую и умеренную токсичность для восприимчивой капусты белокочанной. Для озимого рапса высокую фитотоксичность имели изоляты, выделенные из свеклы столовой и гороха овощного, умеренную – с капусты белокочанной и огурца. В дальнейшем следует подтвердить полученные результаты при инокуляции рассады капусты белокочанной и рапса *ex vitro*.

Заключение. Данное исследование представляет новые данные о расширении специфичности к растению-хозяину изолятов *Fusarium* spp. Расширение специфичности к растениям-хозяевам у видов *Fusarium* усложнит селекционную работу и потребует более детальных оценок при изучении устойчивости к фузариозному увяданию.

Ключевые слова: фузариозное увядание; *Fusarium*; капуста белокочанная; рапс; фитотоксичность

Для цитирования. Вишнякова, А. В., Никитин, М. А., Александрова, А. А., & Соколова, Л. М. (2025). Расширение специфичности к растению-хозяину изолятов *Fusarium* и оценка их фитотоксичности на рапсе и капусте белокочанной. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 315-340. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232>

Original article

EXTENDING THE HOST RANGE OF *FUSARIUM* ISOLATES AND EVALUATION OF THEIR PHYTOTOXICITY ON RAPE AND WHITE CABBAGE

A.V. Vishnyakova, M.A. Nikitin,
A.A. Aleksandrova, L.M. Sokolova

Abstract

Background. The *Fusarium* species are responsible for economically important diseases in cabbage crops. *Fusarium* wilt is a significant threat to white cabbage, with yield losses reaching up to 70-80%. Furthermore, this disease is also being

monitored in winter rapeseed. Climate change is increasing the virulence of *Fusarium*, and in recent years, there has been an observed expansion of the pathogen's specificity to host plants.

This study **aims** to investigate the expansion of host plant specificity in aggressive isolates of *Fusarium* spp. derived from vegetable crops, as well as their phytotoxicity

Materials and methods. Studies were carried out in vitro using 9 isolates of *Fusarium* spp. obtained from white cabbage, cucumber, tomato, carrot, and pea plants exhibiting symptoms of *Fusarium* wilt, as well as from carrot and red beet crops that had developed disease during storage. The pathogenicity of the isolates was evaluated using a panel of 3 white cabbage cultivars with varying levels of resistance and 4 winter rape cultivars. Pathogenicity was determined on seedlings by co-cultivation with the pathogen on nutrient media. The phytotoxicity of the samples was evaluated using a bioassay method on seeds.

Results. The results of the study demonstrated an expansion of host range in the *Fusarium* isolates obtained from red beet and pea, which exhibited high levels of pathogenicity on cabbage crops. All isolates exhibited high and moderate toxicity to susceptible white cabbage. In regard to winter rapeseed, high phytotoxicity was discerned in isolates procured from red beet and pea, while moderate toxicity was observed in isolates derived from white cabbage and cucumber. In the future, the results obtained should be confirmed by inoculating white cabbage and rapeseed seedlings ex vitro.

Conclusion. This study provides new data on the expansion of host plant specificity of isolates of *Fusarium* spp. The expansion of host plant specificity in *Fusarium* species will present challenges to breeding work and necessitate more detailed evaluations when studying resistance to *Fusarium* wilt.

Keywords: *Fusarium* wilt; *Fusarium*; cabbage; rapeseed; phytotoxicity

For citation. Vishnyakova, A. V., Nikitin, M. A., Aleksandrova, A. A., & Sokolova, L. M. (2025). Extending the host range of *Fusarium* isolates and evaluation of their phytotoxicity on rape and white cabbage. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 315-340. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1232>

Введение

Род *Fusarium* включает в себя ряд видов-возбудителей заболеваний сельскохозяйственных культур, которые вызывают значительные потери урожая при выращивании и хранении [24; 31; 35], кроме того, ряд видов *Fusarium* являются патогенными для человека. Например, *Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani*, поражающие овощные культуры, часто явля-

ются возбудителями инвазионного фузариоза у людей [3; 8]. По прогнозам вредоносность заболеваний, вызванных патогенами *Fusarium* spp., будет возрастать с изменением климата из-за глобального потепления [28], о чем так же свидетельствуют данные последних исследований [1; 4; 11; 37]. Изменение климата уже оказало влияние на распространение фузариозного увядания в России, где эта проблема, ранее ограниченная южными регионами, стала актуальной для умеренной полосы [4]. Для эффективной борьбы с фузариозом рекомендуется применять интегрированные методы защиты, включая соблюдение севооборота [26], обработку семян [17; 19], применение микробиологических препаратов [24; 44], фунгицидов [39], а также использование устойчивых сортов и гибридов [7; 32; 33; 36].

Селекция на устойчивость к заболеваниям – сложное направление селекции, связанное с нестабильностью устойчивости, которая может быть утрачена из-за появления новых рас, изолятов и штаммов патогенов [34]. Патоген может приобретать гены вирулентности путем мутации, гибридизации или горизонтального переноса генов [30]. Изменения в генах вирулентности могут повышать патогенность, позволяя инфицировать нового хозяина, или придавать патогену устойчивость к мерам борьбы с болезнью [23; 27]. В последние годы появляются сообщения о патогенности разных видов рода *Fusarium* на культурах, которые данными патогенами ранее не поражались, например, исследователи начали сообщать о патогенности *Fusarium equiseti* на огурце [38], томате [25], капусте белокочанной [22]. Фузариозное увядание капустных культур, а также других овощных культур вызывается преимущественно патогеном *F. oxysporum*, у которого исследователи выделяют около 120 форм [43], которые различаются по своей специфичности к хозяину и патогенным механизмам. Например, *F. oxysporum* f. sp. *conglutinans*, поражает капусту белокочанную, *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* – томат [40], *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* – огурец [42] и т.д. О расширении специфичности к растению хозяину *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* и приобретении им способности поражать растения томата, при сохранении патогенности на огурце сообщают Afordoanyі с соавторами [21]. Вопрос о патогенности изолятов *Fusarium oxysporum*, выделенных с одной сельскохозяйственной культуры, в отношении других культур остается открытым, однако он является актуальным для выбора методов защиты, снижения вредоносности патогена и выбора стратегии для селекции на устойчивость к заболеванию.

Цель исследования – изучить происходит ли расширение специфичности у агрессивных изолятов *Fusarium* spp. выделенных сотрудиниками

ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО на овощных культурах в Московской области [13; 15; 16; 18; 20] и оценить их токсическую активность. Для исследования расширения специфичности к растению-хозяину были выбраны 2 культуры капуста белокочанная, как представитель овощных культур и рапс, культура, которая обычно не представлена в овощном севообороте. И для капусты белокочанной и для рапса, проблема устойчивости к фузариозному увяданию стоит достаточно остро и решается преимущественно созданием устойчивого сортимента [2; 6; 9; 37].

Результаты работы указывают на расширение специфичности к растению-хозяину ряда изолятов и необходимость проведения детальных оценок на устойчивость к фузариозному увяданию с использованием изолятов с разных культур севооборота при селекции на устойчивость капустных культур, т.к. патогенность в условиях *in vitro*, проявляют изоляты выделенные из других видов растений. Кроме того, использование только одного экспресс-метода оценки может приводить к ошибкам при отборе устойчивых генотипов *in vitro*.

Материалы и методы

Растительный материал. Семена образцов устойчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной (*Brassica oleracea* L.) Вал1, Дом3, семена восприимчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной F1 Трансфер, семена генотипов озимого рапса (*Brassica napus* L.) Виолин, Мерседес, Лексион, Дарко.

Контрольным вариантом в эксперименте выступал образец восприимчивой к фузариозному увяданию капусты белокочанной F1 Трансфер. Образцы капустных культур были получены от ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева».

Происхождение и морфологическая характеристика изолятов фузариоза. В предварительном исследовании на полях, расположенных на экспериментальной базе ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО в Московской области, Раменский район было выделено 120 изолятов *Fusarium* spp. [13; 15; 16; 18; 20], у которых изучена патогенность и агрессивность, классическими методами инокуляции рассады и частей корнеплодов растения-хозяина. Поля расположены в Центральной части поймы реки Москва – Быковского расширения. Структура почвы аллювиально-луговая, среднесуглинистая. Принадлежность изолятов к роду *Fusarium*, была определена цитологическими методами по определителю [10]. Среди изолятов было выделено 9 наиболее агрессивных, изолированных с растений

капусты белокочанной, огурца, томата, моркови, и гороха с признаками фузариозного увядания, а также с корнеплодов моркови и свеклы во время хранения.

Изоляты были введены в чистую культуру и поддерживались в режиме хранения на среде Чапека при температуре 5-8 °С с периодическими пересевами и анализом чистоты фенотипических свойств после каждого посева. Далее приведены морфологические характеристики и происхождение каждого изолята.

Изолят **№10** – выделен с пораженных листьев капусты белокочанной. Изолят мицелия бело-серого цвета, пушистый, край разрастания и поверхность ровные. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, серповидной формы. Размер макроконидий от 9 до 10 мкм, число перегородок от 2 до 8 штук.

Изолят **№12** – выделен с корнеплода свеклы столовой в период хранения с признаками гниения. Данный изолят характеризуется бело-серым мицелием, неровным краем разрастания, не однородной крупяной поверхностью. Реверс мицелия белый. Конидий много, овальной формы. Размер макроконидий от 2 до 4 мкм, число перегородок от 1 до 3 штук.

Изолят **№13** – выделен с корневой системы капусты белокочанной с признаками фузариозного увядания. Изолят серого цвета, край и поверхность ровные, пушистый. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, серповидной формы. Размер макроконидий от 10 до 16 мкм, число перегородок от 3 до 8 штук.

Изолят **№16** – выделен с корневой системы огурца с признаками фузариозного увядания. Изолят бело-серого цвета, край разрастания ровный, пушистый, обладает бугристой неоднородной поверхностью мицелия. Реверс мицелия бело-серый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 4 до 11 мкм, число перегородок от 4 до 8 штук.

Изолят **№19** – выделен с корневой системы томата с признаками фузариозного увядания. Изолят характеризуется белым цветом мицелия, пушистый, край и поверхность ровные. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 8 до 10 мкм, число перегородок от 3 до 12 штук.

Изолят **№26** – выделен с вегетирующего растения (лист) моркови столовой первого года жизни с признаками фузариозного увядания. Данный изолят характеризуется бело-серым мицелием, неровным краем разрастания, не однородной поверхностью мицелия, профиль мицелия очень пу-

шистый. Реверс мицелия белый. Конидий много, овально – серповидные. Размер макроконидий от 2 до 11 мкм, число перегородок от 2 до 8 штук.

Изолят **№30** – выделен во время хранения маточников (с корнеплода) моркови столовой первого года жизни с признаками гниения. Мицелий изолята белого цвета, ровный край разрастания, поверхность мицелия ровная, профиль мицелия войлочный (плотный). Реверс мицелия белый. Конидий много, овальной формы. Размер макроконидий от 8 до 10 мкм, число перегородок от 2 до 6 штук.

Изолят **№53** – выделен с корневой системы гороха овощного с признаками фузариозного увядания. Изолят имеет серый цвет мицелия, не ровный край разрастанием, поверхность мицелия пористая, опушенная. Реверс мицелия белый. Структура колоний однородная, конидий много, овально – серповидной формы. Размер макроконидий от 3 до 9 мкм, число перегородок от 2 до 4 штук.

Изолят **№54** – выделен с бобов гороха овощного, с признаками фузариозного увядания. Изолят характеризуется белым цветом мицелия, неровным (хаотичным) разрастанием, обладает не однородной точечной поверхностью мицелия. Реверс мицелия белый. Структура колоний неоднородная, конидий мало, овальной формы. Размер макроконидий от 2 до 4 мкм, число перегородок от 1 до 3 штук.

Оценка патогенных и токсикогенных свойств изолятов на капустных культурах. Оценку патогенности проводили *in vitro*, путем совместного культивированием проростков капустных культур и мицелия патогена в чашках Петри [41]. Семена стерилизовали в 3% гипохлорите натрия в течение 10 минут и трижды промывали в стерильной дистиллированной воде, после чего размещали в чашки Петри на среду Чапека. Семена культивировали без патогена в течение 3 дней в климатической камере при температуре 24 °C и фотопериоде 16 ч. – день, 8 ч. – ночь до появления проростков, после чего в чашку Петри переносили активно-растущий мицелий патогена. Чашки Петри размещали вертикально для правильной ориентации корневой системы. Через 7 дней после инокуляции патогеном производили учёт выживших и пораженных проростков, а также учитывали симптомы поражения по следующей шкале: 0 – отсутствие симптомов поражения, 1 – угнетение роста проростков, единичные некрозы, 2 – множественные некрозы, семядоли коричневеют, рост проростка угнетён, 3 – гибель проростка. Опыт с каждым изолятом заложен в 3 повторностях по 5-7 семян в каждой повторности. Интенсивность развития болезни определяли по формуле $M = \sum(a \times b) / N$, где $\sum(a \times b)$ – сумма произведений числа пораженных растений на соответству-

ющий балл поражения, N – общее число учетных растений в образце, M – интенсивность развития болезни [14].

Токсикогенные свойства изолятов определяли проращиванием семян на фильтровальной бумаге пропитанной фильтратом культуральной жидкости [15; 5] на образцах восприимчивой капусты белокочанной Трансфер и образце озимого рапса Лексион. Фильтрат культуральной жидкости (ф.к.ж.) получали путем выращивания изолятов гриба в 300 мл колбах в 100 мл питательной среды. Для получения ф.к.ж. в каждую колбу вносили кусочек агара с активнорастущим мицелием размером $0,5 \times 0,5$ см. Колбы помещали в термостат и инкубировали при температуре 25°C 30 дней при регулярном взбалтывании на качалке. Полученную суспензию фильтровали через 4 слоя марлевого отреза, после чего автоклавировали.

На первоначальном этапе работы для проращивания семян на ф.к.ж. осуществляли подбор концентраций от 35, 50, 75% до 100%. В качестве контрольного варианта было проращивание семян на фильтровальной бумаге, пропитанной стерильной дистиллированной водой. Семена стерилизовали в 3% гипохлорите натрия в течение 10 минут, промывали трижды в стерильной дистиллированной воде и раскладывали в чашки Петри на стерильную фильтровальную бумагу, пропитанную ф.к.ж. в соответствующей концентрации. Учеты проводили на 7 день после инокуляции. Отмечали всхожесть семян, длину проростка, длину главного корня, отношение длины главного корня в опытном варианте к контрольному. Для оценки токсичности ф.к.ж. использовали шкалу Коломиец и др. [5]: если длина проростков и корней в экспериментальном варианте составляла 0-30 % от длины в контроле, то это свидетельствовало о сильной токсической (Т) активности гриба; 31-50 % - умеренная токсичность (УТ); 51-70 % - слабая токсичность (СТ); 71-100 % - нетоксичность (НТ) изолятов. В результате проведенных исследований, выявлено, что при проращивании семян на ф.к.ж. изучаемых изолятов в концентрации 75% и 100% прорастание семян восприимчивого образца капусты белокочанной не наблюдали. При проращивании семян на ф.к.ж. в концентрации 35%, существенных различий по отношению к контролю не выявлено.

При проращивании семян на 50%-ном ф.к.ж., наблюдали существенное ингибирование прорастания и изменение длины корешка, поэтому эксперимент был заложен на 50%-ном ф.к.ж. в трех повторностях по 30 семян на чашку Петри.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили на персональном компьютере с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel. Существенность различий определяли с использовани-

ем критерия Фишера на уровне значимости $P=0.05$. При наличии существенной разницы между вариантами эксперимента рассчитывали НСР с использованием критерия Стьюдента на уровне значимости $P=0.05$.

Результаты

Патогенность разных изолятов фузариоза, выделенных на овощных культурах в Московской области была оценена в лабораторном опыте при совместном культивировании проростков *Brassica oleracea* и *Brassica napus* и патогена. Результаты оценки интенсивности развития болезни на проростках представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Средневзвешенный балл поражения проростков капусты белокочанной и рапса при совместном культивировании изолятов *Fusarium* spp., балл

№ изолята и его происхождение	<i>Brassica oleracea</i>			<i>Brassica napus</i>			
	Трансфер	Вал1	Дом3	Виолин	Месредес	Дарко	Лексион
№10 капуста с листьев	1.6	1.3	3.0	1.4	1.6	1.6	1.1
№12 свекла с корнеплода	2.9	2.8	2.1	1.8	2.1	1.2	2.8
№13 капуста с корневой системы	3.0	2.9	1.4	2.9	1.0	2.3	0.9
№16 огурец с корневой системы	1.8	2.3	0.6	1.9	1.6	1.8	2.0
№19 томат с корневой системы	2.9	2.2	2.3	2.9	2.3	1.6	2.3
№26 морковь с листьев	3.0	3.0	2.3	2.7	2.4	2.3	2.0
№30 морковь с корнеплода	3.0	2.7	2.8	1.8	1.8	1.9	2.6
№53 горох с корневой системы	2.7	3.0	3.0	2.7	2.6	2.4	-
№54 горох с бобов	3.0	2.1	2.0	1.0	1.5	2.1	2.1

У восприимчивого генотипа капусты белокочанной Трансфер, наблюдали угнетение роста и гибель всех или части проростков при их совместном культивировании со всеми изученными изолятами. Средневзвешенный балл поражения варьировал от 1.6 при культивировании совместно с изолятом №10 (рис. 1) до 3.0 при культивировании с изолятами №26, №30 и № 54.

Наименее агрессивными при инокуляции проростков капустных культур были изолят №10 и № 16, выделенные с листа пораженного растения капусты белокочанной и корневой системы огурца соответственно. При инокуляции изолятом №10 полную гибель проростков наблюдали только у образца капусты белокочанной Дом3 (рис. 2), а при инокуляции изолятом №16 гибель отдельных проростков образца Вал1 (рис. 3).

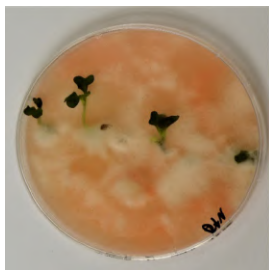


Рис. 1. Образец капусты белокочанной Трансфер через 7 дней совместного культивирования с изолятом №10



Рис. 2. Образец капусты белокочанной Дом3 через 7 дней совместного культивирования с изолятом №10

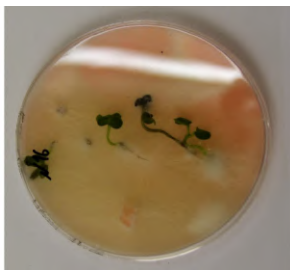


Рис. 3. Образец капусты белокочанной Вал1 через 7 дней совместного культивирования с изолятом №16

Изоляты под номерами 13, 19, 53, выделенные с корневой системы капусты белокочанной, томата и овощного гороха соответственно, вызывали гибель проростков ряда образцов капустных культур. При инокуляции изолятом №13 наблюдали гибель проростков капусты белокочанной Трансфер и Вал1, рапса Виолин и Дарко. Изолят № 19 вызывал гибель проростков всех изученных генотипов, кроме Дарко (рис. 4). Изолят № 53 был самым агрессивным и вызывал гибель проростков у всех изученных образцов.

При изучении патогенности изолятов №12 и №30, выделенных с корнеплодов свеклы и моркови во время хранения показана высокая патогенность изолятов для образцов капусты белокочанной. Среди изученных образцов рапса гибель проростков при инокуляции обоими изолятами наблюдали только у образца Лексион (рис. 5).

Изолят № 26, выделенный с листьев моркови с признаками фузариозного увядания, при совместном культивировании вызывал гибель проростков у множественные некрозы у всех изученных образцов.

Изолят № 54, выделенный с бобов гороха, вызвал полную гибель проростков только у образца Трансфер, у остальных образцов наблюдали некрозы разной степени и гибель единичных проростков (рис. 6).



Рис. 4. Образец рапса Дарко через 7 дней совместного культивирования с изолятом №19

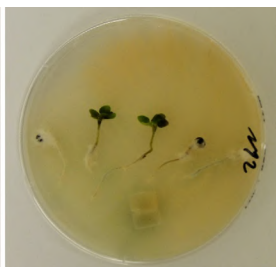


Рис. 5. Образец рапса Лексион через 7 дней совместного культивирования с изолятом №12

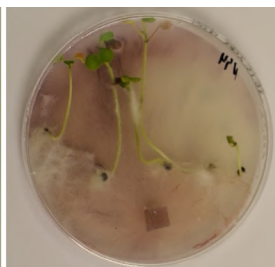


Рис. 6. Образец рапса Дарко через 7 дней совместного культивирования с изолятом №54

Характеристику фитотоксической активности изолятов определяли по влиянию ф.к.ж. на длину главного корешка и стебля в концентрации 50 %. Устойчивость образцов определяли по всхожести и линейным параметрам проростков (рис. 3).

Таблица 1.

Результаты оценки токсикогенной активности видов *Fusarium* (50% ф.к.ж.) на растениях-тестерах

№ изолят и смеси изолятов	Средняя длина побега, см	Средняя длина корня, см	Отношение длины побега к контролю, %	Отношение длины корня к контролю, %	Степень токсичности**
Трансфер (<i>Brassica oleracea</i>)					
Вода	1.4±0,7	3.8±2.8	-	-	-
№10 капуста с листьев	-	-	0.0	0.0	Т
№12 свекла с корнеплода	-	-	0.0	0.0	Т
№13 капуста с корневой системы	0.6±0.1*	0.3±0.1*	42.3	6.5	Т
№16 огурец с корневой системы	-	-	0.0	0.0	Т
№19 томат с корневой системы	0.6±0.5*	0.5±0.4*	40.2	11.7	Т
№26 морковь с листьев	0.4±0.1*	0.2±0.1*	26.6	5.2	Т
№30 морковь с корнеплода	0.9±0.4	0.5±0.4*	62.1	12.4	УТ
№53 горох с корневой системы	0.9±0.0	0.3±0.1*	63.0	7.8	УТ
№54 горох с бобов	-	-	0.0	0.0	Т

НСР	0.6	2.2	-	-	-
Лексион (<i>Brassica napus</i>)					
Вода	1.7±0.8	5.7±3.5	-	-	-
№10 капуста с листьев	1.1±0.6	1.2±0.7*	65.8	20.0	УТ
№12 свекла с корнеплода	-	-	0,0	0,0	Т
№13 капуста с корневой системы	2.7±0.9*	2.8±1.2*	162.4	48.6	СТ
№16 огурец с корневой системы	0.7±0.5*	1.8±0.9*	42.1	30.7	УТ
№19 томат с корневой системы	2.8±1.5*	5.5±2.6	164.6	95.8	НТ
№26 морковь с листьев	1.9±1.0	3.1±2.3*	113.4	53.1	СТ
№30 морковь с корнеплода	2.4±1.0*	6.3±2.3	142.7	109.3	НТ
№53 горох с корневой системы	3.1±1.6*	4.0±2.4*	185.1	69.3	СТ
№54 горох с бобов	-	-	0.0	0.0	Т
НСР	0.7	1.6	-	-	-

Примечание: * - Статистически значимые различия по сравнению с контролем на уровне значимости $P=0.05$



Рис. 7. Внешний вид проростков капусты белокочанной Трансфер на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изолята №30 (нижний ряд)

При исследовании влияния ф.к.ж. на проращивание восприимчивого к фузариозному увяданию образца капусты белокочанной Трансфер отсутствовало проращивание семян при культивировании на 50 % ф.к.ж. изоля-

тов №10, 12, 16, 54, что говорит о их высокой токсической активности. При проращивании семян на 50% ф.к.ж. изюлятов № 13, 19, 26 наблюдали существенное уменьшения длины проростка и главного корешка, данные изюляты также характеризуются высокой токсической активностью. При проращивании семян на ф.к.ж. при использовании изюлятов № 30 (рис.7) и 53 наблюдали существенное укорочение длины главного корешка по сравнению с контролем, при этом длина проростков снижалась на 37-38% поэтому данные изюляты отнесены к умеренно токсичным.



Рис. 8. Внешний вид проростков рапса Лексион на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изюлята №30



Рис. 9. Внешний вид проростков рапса Лексион на 7 день при проращивании на фильтровальной бумаге смоченной водой (верхний ряд) и фильтрате культуральной жидкости изюлята №12

У образца озимого рапса Лексион зафиксировано существенное увеличение длины проростков при проращивании на 50% ф.к.ж. изюлятов под номерами 13, 19, 30 (рис.8), 53. При проращивании на ф.к.ж. изюлятов №10 и №26 длина проростка была на уровне контроля. Существенное снижение длины проростка наблюдали при культивировании на ф.к.ж. изюлята №16. При проращивании семян на ф.к.ж. изюлятов №12 (рис. 9) и №54 на 7 день наблюдали начало прорастания отдельных семян, данные изюляты являются высокотоксичными. При использовании изюлятов №19 и №30, существенных различий в длине корешков по сравнению с контролем не выявлено, следовательно, данные изюляты не токсичны для образца озимого рапса Лексион. Проращивание на 50% ф.к.ж. изюлятов под номерами 10, 13, 16, 26 и 53 приводило к существенному ингибированию и укорочению длины главного корешка. По результатам данных таблицы 6 изю-

лматы под №№ 10 и 16 были отнесены к умеренно токсичным, а № 13, 26 и 53 – к слаботоксичным.

Обсуждение

Okungbowa и Shittu [36] отмечают, что патогенные изоляты обладают высокой степенью специфичности к хозяину, что привело к развитию концепции «*formae specialis*». Однако сообщения разных исследователей по всему миру о поражении растений видами *Fusarium*, которые ранее не были зафиксированы, как патогены на данных культурах [22; 25; 38], может говорить о эволюции патогенов и приобретении способности поражать более широкий спектр культур. Что касается *F. oxysporum*, являющегося основным видом поражающего овощные культуры, то последние исследования указывают на то, что половина описанных в настоящее время *formae specialis* патогенна только для одного растения хозяина, в то время как другая половина включает штаммы, специфичность взаимодействия которых гораздо шире и иногда приводит к перекрестной патогенности [29]. Afordoanyi показал расширение специфичности к растению хозяину у *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* и приобретение им способности поражать томат [21].

В нашем исследовании проверка патогенности изолятов *in vitro* на капусте белокочанной и рапсе показала генотип-специфичную реакцию на разные изоляты. Высокую интенсивность развития болезни всех изученных генотипов капусты белокочанной и озимого рапса отмечали при совместном культивировании с изолятами №26 и 53, выделенными с моркови столовой и овощного гороха соответственно, что свидетельствует о приобретении ими способности поражать капусту белокочанную и рапс. Остальные изученные изоляты вызывали гибель проростков у отдельных генотипов рапса и капусты белокочанной, что так же говорит в поддержку гипотезы о приобретении изолятами фузариума большей вирулентности для разных культур. В дальнейшем планируется на специально отведенном участке создание искусственного инфекционного фона для тестирования изучаемых образцов в полевых условиях.

Токсикогенные свойства изолятов в нашем исследовании изучены на восприимчивой к фузариозному увяданию капусте белокочанной Трансфер и озимом рапсе Лексион. При проращивании на ф.к.ж. семян восприимчивой капусты белокочанной изоляты под номерами 30 и 53 проявили умеренную токсичность, остальные были высокотоксичными. При изучении на озимом рапсе изоляты под номерами 19, 26 – были нетоксичными,

номера 13, 30, 53 – слаботоксичными, изоляты №10 и №16 – умеренно токсичными, а под номерами 12 и 54 – высокотоксичными.

Соколова и Егорова показали, что проращивание семян на фильтрате культуральной жидкости (ф.к.ж.) *Alternaria* и *Fusarium* может являться экспресс оценкой устойчивости к грибным болезням и успешно применяться в селекции для быстрого скрининга коллекции селекционного материала моркови [15]. В нашем исследовании токсичность изолятов не всегда связана с их высокой патогенностью при оценке *in vitro*. Так №30, был патогенным как для капусты белокочанной Трансфер (средневзвешенный балл поражения 3.0), так и для рапса Лексион (средневзвешенный балл поражения 2.5) при этом его ф.к.ж. имел умеренную токсичность для капусты белокочанной и слабую токсичность для семян рапса. Высокой патогенностью и токсичностью на капусте белокочанной выделялся изолят №12, выделенный с корнеплода свеклы во время хранения и представленный видом *F. oxysporum*. Изолят №54, проявляющий высокую фитотоксичность на капусте белокочанной и рапсе, при инокуляции *in vitro* вызывал гибель всех проростков капусты белокочанной Трансфер, и гибель единичных проростков рапса Лексион.

Заключение

В результате проведенных исследований чистой культуры агрессивных изолятов фузариозного увядания выделенных с овощных культур при совместном культивировании в условиях *in vitro* с проростками капусты белокочанной и рапса установлено, что изучаемые изоляты были патогенны и вызывали гибель проростков хотя бы у одного генотипа капустных культур. Изоляты №26 и 53, выделенные с моркови столовой и овощного гороха, отличались высокой агрессивностью и патогенностью для капусты белокочанной и рапса вызывая гибель проростков всех изученных генотипов, в том числе устойчивых к фузариозному увяданию образцов Вал1 и Дом3, что свидетельствует о мутации изолятов и повышении их патогенности и агрессивности для других видов растений. Кроме того, появление новых агрессивных изолятов, которые способны поражать разные культуры будет снижать эффективность севооборота.

Фитотоксичность изученных изолятов, выделенных с овощных культур была выше для капусты белокочанной, чем для рапса. Для капусты белокочанной только изоляты №30 и 53 показывали умеренную токсичность, остальные были высокотоксичными. Для озимого рапса Лексион высокую фитотоксичность имели № 12 и № 54, умеренной токсичностью

характеризовались № 10 и 16, остальные изоляты были не токсичными или слаботоксичными.

Не выявлено строгой взаимосвязи между высокой патогенностью при совместном культивировании патогена и проростков и токсичностью фильтрата культуральной жидкости при проращивании семян, что может вносить ошибку в интерпретацию результатов лабораторных оценок селекционного материала при использовании только одного способа.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-76-01085).

Список литературы

1. Акосах, Й. А., & Марданова, А. М. (2020). Характеристика микромицетов рода *Fusarium* – возбудителей увядания и сухой гнили картофеля. *Симбиоз-Россия*, 24–28. EDN: <https://elibrary.ru/QXMAFY>
2. Байдина, А. В., Монахос, Г. Ф., & Монахос, С. Г. (2017). Настя — новый гибрид капусты. *Картофель и овощи*, (11), 32–33. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf#page=34. EDN: <https://elibrary.ru/ZRQLGJ>
3. Батманова, Н. А., Багирова, Н. С., Григорьевская, З. В., Валиев, Т. Т., Белышева, Т. С., Киргизов, К. И., & Варфоломеева, С. Р. (2022). Успешная диагностика и лечение фузариоза у больной острым лейкозом. *Гематология и трансфузиология*, 67(1), 139–149. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149>. EDN: <https://elibrary.ru/WONEPO>
4. Джалилов, Ф. С., & Ха, В. Т. (2014). Защита капусты от болезней в период вегетации. *Картофель и овощи*, (1), 20–23. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2015/01/kio_1_2014_sait.pdf#page=19. EDN: <https://elibrary.ru/RTGZCZ>
5. Коломиец, Т. М., Киселёва, М. И., Жемчужина, Н. С., Панкратова, Л. Ф., & Елизарова, С. А. (2022). Особенности видового состава патогенных грибов рода *Fusarium* в биоценозах кукурузы Воронежской области. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 26(6), 583–592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>. EDN: <https://elibrary.ru/ETGXHZ>
6. Маслова, А. А., Ушаков, А. А., & Бондарева, Л. Л. (2014). Исходный материал для селекции капусты белокочанной с устойчивостью к болезням. *Селекция и семеноводство овощных культур*, (45), 399–405. EDN: <https://elibrary.ru/UKEQFJ>
7. Монахос, С. Г., Воронина, А. В., Байдина, А. В., & Зубко, О. Н. (2019). Селекция растений на устойчивость — основа защиты от болезней в органи-

- ческом земледелии. *Картофель и овощи*, (6), 38–40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>. EDN: <https://elibrary.ru/YLREOA>
8. Мухаммадиев, Р. С., Бирюля, В., Мухаммадиев, Р., Тимербулатова, Л., & Скворцов, Е. (2022). Проблемы медицинской микологии. *Проблемы медицинской микологии*, 24(3), 43–47. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2022-3-43-47>. EDN: <https://elibrary.ru/HCKDIJ>
 9. Пивень, В. Т., Шуляк, И. И., Мурадасилова, Н. В., Алифирова, Т. П., Семеренко, С. А., & Бушнева, Н. А. (2012). Наиболее патогенные микозы и фитофаги на посевах озимого рапса в Краснодарском крае. *Масличные культуры*, (1(150)), 128–131. EDN: <https://elibrary.ru/PBMQVJ>
 10. Саттон, Д., Фотергилл, А., & Ринальди, М. (2001). *Определитель патогенных и условно патогенных грибов* (пер. с англ.). Москва: Мир. 486 с.
 11. Сибирная, Л. Н., & Постолов, В. Д. (2023). Поражённость образцов ярового рапса фузариозным увяданием на естественном и искусственном инфекционных фонах в условиях ЦЧР. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 16(4), 79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_50. EDN: <https://elibrary.ru/ANOXQK>
 12. Соколова, Л. М. (2019а). Анализ видового разнообразия грибов из рода *Fusarium*. *Аграрная наука*, (1), 118–122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-118-122>. EDN: <https://elibrary.ru/AQRASN>
 13. Соколова, Л. М. (2019b). Проявление фузариоза на овощных культурах. *Агропромышленные технологии Центральной России*, (2(12)), 42–47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>. EDN: <https://elibrary.ru/LZMNHU>
 14. Соколова, Л. М. (2022). Система комплексного применения селекционно-иммунологических методов для создания сортов и гибридов моркови столовой с групповой устойчивостью к *Alternaria sp.* и *Fusarium sp.* ВНИИО – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». 64 с. EDN: <https://elibrary.ru/JVDKVS>
 15. Соколова, Л. М., & Егорова, А. А. (2019). Экспресс-оценка устойчивости моркови столовой к грибным болезням pp. *Alternaria* и *Fusarium* на фильтрат культуральной жидкости. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (3(173)), 36–42. EDN: <https://elibrary.ru/JKSBRP>
 16. Соколова, Л. М., Михайлов, В. В., Белошапкина, О. О., & Егорова, А. А. (2020). О методике создания инфекционного фона фузариоза гороха овощного. *Аграрная наука*, (7–8), 92–98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-92-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXFBPD>
 17. Соколова, Л. М., & Тимакова, Л. Н. (2023а). Комплекс патогенов на семенах свёклы столовой и методы снятия их вредоносности. *Известия Орен-*

- бургского государственного аграрного университета, (4(102)), 91–96. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-91-96>. EDN: <https://elibrary.ru/TTZOSK>
18. Соколова, Л. М., & Тимакова, Л. Н. (2022b). Патокомплекс микромицетов на семенах свёклы столовой in vitro. *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*, (143), 132–138. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-143-132-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SURIEW>
 19. Соколова, Л. М., Янченко, А. В., Федосов, А. Ю., Азопков, М. И., & Голубович, В. С. (2021). Термическое обеззараживание семян моркови и свёклы. *Картофель и овощи*, (8), 24–27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.69.23.004>. EDN: <https://elibrary.ru/SVLJOC>
 20. Чистякова, Л. А., Соколова, Л. М., Бакланова, О. В., & Егорова, А. А. (2020). Оценка штаммов гриба рода *Fusarium* на поражение растений огурца. *Картофель и овощи*, (1), 49. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>. EDN: <https://elibrary.ru/HMGKHC>
 21. Afordoanyi, D. M., Diabankana, R. G. C., Akosah, Y. A., & Validov, S. Z. (2022). Are formae speciales pathogens really host specific? A broadened host specificity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53(4), 1745–1759. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00793-3>. EDN: <https://elibrary.ru/JKTUNG>
 22. Afroz, T., Jee, S., Choi, H. W., Kim, J. H., Assefa, A. D., Aktaruzzaman, M., & Lee, H. S. (2021). First report of Fusarium wilt caused by *Fusarium equiseti* on cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) in Korea. *Plant Disease*, 105(4), 1198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1278-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/MWDNER>
 23. Ahmed, S., de Labrouhe, D. T., & Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Fungal Genetics and Biology*, 49, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2012.06.012>
 24. Bayoumy, S., Afify, A., El-Sayed, A., & Elshal, S. (2017). Antagonistic effect of *Bacillus* spp. against sugar beet pathogens: Fusarium wilt. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 8(6), 177–181.
 25. Beltran, M., Delgado, J. C., Valdivia, A. G., Hernandez, A., & Garcia, A. M. (2023). First report of *Fusarium equiseti* causing root and crown rot in tomato in Mexico. *Plant Disease*, 107(8), 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/YVLGNO>
 26. Biju, C. N., Ishwara, B. A., Praveena, R., Senthil, K. C. M., & Suseela, B. R. (2019). Pests and diseases of black pepper. In *International Pepper Community* (pp. 11–13). Jakarta, Indonesia.

27. Corredor-Moreno, P., & Saunders, D. G. (2020). Expecting the unexpected: Factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. *New Phytologist*, 225(1), 118–125. <https://doi.org/10.1111/nph.16007>
28. Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>. EDN: <https://elibrary.ru/OUOIJ0>
29. Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current status of *Fusarium oxysporum* formae speciales and races. *Phytopathology*, 109(4), 512–530. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
30. Fones, H. N., Bebbler, D. P., Chaloner, T. M., Kay, W. T., Steinberg, G., & Gurr, S. J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nature Food*, 1(6), 332–342. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0075-0>. EDN: <https://elibrary.ru/KJJOQY>
31. Khafagi, E. Y., El-Syed, A., & Elwan, S. E. (2020). Controlling cabbage fusarium wilt (yellows) using Topsin M and some commercial bio-fertilizer products. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(2), 519–530. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.94492>. EDN: <https://elibrary.ru/SUERNG>
32. Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94, 198–209. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1980>
33. Lal, D., Dev, D., Kumari, S., Pandey, S., Aparna, Sharma, N., & Singh, A. (2024). Fusarium wilt pandemic: Current understanding and molecular perspectives. *Functional & Integrative Genomics*, 24(2), 41. <https://doi.org/10.1007/s10142-024-01319-w>. EDN: <https://elibrary.ru/XMLHTZ>
34. Leunov, V. I., Sokolova, L. M., Beloshapkina, O. O., & Khovrin, A. N. (2021). Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>. EDN: <https://elibrary.ru/VASSKO>
35. Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*, 12(3), 46. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>. EDN: <https://elibrary.ru/VVRPWC>
36. Okungbowa, F. I., & Shittu, H. O. (2012). Fusarium wilts: An overview. *Environmental Research Journal*, 6(2), 83–102.
37. Serdyuk, O. A., Trubina, V. S., & Gorlova, L. A. (2021). The breeding of spring rapeseed and brown mustard for resistance to *Fusarium* blight. *IOP Confer-*

- ence Series: Earth and Environmental Science, 845(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012027>. EDN: <https://elibrary.ru/JYTPSX>
38. Shukla, A., Sharma, D., Sharma, M., Tarafdar, A., & Gupta, M. (2022). First report of *Fusarium equiseti* causing crown and root rot of cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>. EDN: <https://elibrary.ru/COKSBT>
 39. Song, W., Zhou, L., Yang, C., Cao, X., Zhang, L., & Liu, X. (2004). Tomato *Fusarium* wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23(3), 243–247. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.007>
 40. Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: Causal agent of vascular wilt disease of tomato — biology to diversity: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315–1324. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
 41. Starzycki, M., Starzycka, E., Pszczola, J., & Solecka, D. (2007). Evaluation of chosen winter rapeseed genotypes resistance to *Fusarium* spp. using in vitro methods. In *The 12th International Rapeseed Congress* (pp. 165–166). Wuhan: Science Press USA Inc.
 42. Sun, Y., Wang, M., Li, Y., Gu, Z., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Wilt-ed cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage. *Annals of Botany*, 120(3), 427–436. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx065>
 43. Yu, F., Zhang, W., Wang, S., Wang, H., Yu, L., Zeng, X., & Li, J. (2021). Genome sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the etiological agent of cabbage *Fusarium* wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(2), 210–213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>. EDN: <https://elibrary.ru/ANCMER>
 44. Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil, P., & Lee, J. (2023). Enhanced protection of tomato against *Fusarium* wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University — Science*, 35(2), Article 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>. EDN: <https://elibrary.ru/UQQPBI>

References

1. Akosah, J. A., & Mardanov, A. M. (2020). Characteristics of micromycetes of the genus *Fusarium* — causative agents of potato wilt and dry rot. *Symbiosis Russia*, 24–28. EDN: <https://elibrary.ru/QXMAFY>
2. Baidina, A. V., Monakhos, G. F., & Monakhos, S. G. (2017). Nastya — a new cabbage hybrid. *Potato and Vegetables*, (11), 32–33. URL: <http://potatoveg.ru/>

- wp-content/uploads/2018/11/11_2017.pdf#page=34. EDN: <https://elibrary.ru/ZRQLGJ>
3. Batmanova, N. A., Bagirova, N. S., Grigorievskaya, Z. V., Valiev, T. T., Belysheva, T. S., Kirgizov, K. I., & Varfolomeeva, S. R. (2022). Successful diagnosis and treatment of fusariosis in a patient with acute leukemia. *Hematology and Transfusiology*, 67(1), 139–149. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2022-67-1-139-149>. EDN: <https://elibrary.ru/WONEPO>
 4. Dzhaliyov, F. S., & Ha, V. T. (2014). Protection of cabbage from diseases during the growing season. *Potato and Vegetables*, (1), 20–23. URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2015/01/kio_1_2014_sait.pdf#page=19. EDN: <https://elibrary.ru/RTGZCZ>
 5. Kolomiets, T. M., Kiselyova, M. I., Zhemchuzhina, N. S., Pankratova, L. F., & Elizarova, S. A. (2022). Features of the species composition of pathogenic fungi of the genus *Fusarium* in maize biocenoses of the Voronezh region. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 26(6), 583–592. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-71>. EDN: <https://elibrary.ru/ETGXHZ>
 6. Maslova, A. A., Ushakov, A. A., & Bondareva, L. L. (2014). Starting material for breeding white cabbage with disease resistance. *Breeding and Seed Production of Vegetable Crops*, (45), 399–405. EDN: <https://elibrary.ru/UKEQFJ>
 7. Monakhos, S. G., Voronina, A. V., Baidina, A. V., & Zubko, O. N. (2019). Plant breeding for resistance — the basis of disease protection in organic farming. *Potato and Vegetables*, (6), 38–40. <https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009>. EDN: <https://elibrary.ru/YLREOA>
 8. Mukhammadiyev, R. S., Biryulya, V., Mukhammadiyev, R., Timerbulatova, L., & Skvortsov, E. (2022). Problems of medical mycology. *Problems of Medical Mycology*, 24(3), 43–47. <https://doi.org/10.24412/1999-6780-2022-3-43-47>. EDN: <https://elibrary.ru/HCKDIJ>
 9. Piven, V. T., Shulyak, I. I., Muradasilova, N. V., Alifirova, T. P., Semerenko, S. A., & Bushneva, N. A. (2012). The most pathogenic mycoses and phytophages on winter rapeseed crops in the Krasnodar region. *Oil Crops*, (1(150)), 128–131. EDN: <https://elibrary.ru/PBMQVJ>
 10. Sutton, D., Fothergill, A., & Rinaldi, M. (2001). *A guide to pathogenic and opportunistic fungi* (Transl. from English). Moscow: Mir. 486 p.
 11. Sibirnaya, L. N., & Postolov, V. D. (2023). Infection rate of spring rapeseed samples with *Fusarium* wilt on natural and artificial infectious backgrounds in the conditions of the Central Chernozem Region. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*, 16(4), 79. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2023_4_50. EDN: <https://elibrary.ru/ANOXQK>

12. Sokolova, L. M. (2019a). Analysis of species diversity of fungi from the genus *Fusarium*. *Agrarian Science*, (1), 118–122. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-1-118-122>. EDN: <https://elibrary.ru/AQRASN>
13. Sokolova, L. M. (2019b). Manifestation of *Fusarium* disease on vegetable crops. *Agro-Industrial Technologies of Central Russia*, (2(12)), 42–47. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2019-12-42-47>. EDN: <https://elibrary.ru/LZMNHU>
14. Sokolova, L. M. (2022). *System of integrated application of breeding and immunological methods for creating varieties and hybrids of table carrots with group resistance to Alternaria sp. and Fusarium sp.* All-Russian Research Institute of Vegetable Growing — Branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing. 64 p. EDN: <https://elibrary.ru/JVDKVS>
15. Sokolova, L. M., & Egorova, A. A. (2019). Rapid assessment of table carrot resistance to fungal diseases of the genera *Alternaria* and *Fusarium* using culture filtrate. *Bulletin of Altai State Agrarian University*, (3(173)), 36–42. EDN: <https://elibrary.ru/JKSBRP>
16. Sokolova, L. M., Mikhailov, V. V., Beloshapkina, O. O., & Egorova, A. A. (2020). On the methodology of creating an infectious background of *Fusarium* disease in vegetable peas. *Agrarian Science*, (7–8), 92–98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-92-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXFBDP>
17. Sokolova, L. M., & Timakova, L. N. (2023a). Pathogen complex on table beet seeds and methods to reduce their harmfulness. *Proceedings of Orenburg State Agrarian University*, (4(102)), 91–96. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-91-96>. EDN: <https://elibrary.ru/TTZOSK>
18. Sokolova, L. M., & Timakova, L. N. (2022b). Pathocomplex of micromycetes on table beet seeds *in vitro*. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*, (143), 132–138. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2022-143-132-138>. EDN: <https://elibrary.ru/SURIEW>
19. Sokolova, L. M., Yanchenko, A. V., Fedosov, A. Yu., Azopkov, M. I., & Golubovich, V. S. (2021). Thermal disinfection of carrot and beet seeds. *Potato and Vegetables*, (8), 24–27. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.69.23.004>. EDN: <https://elibrary.ru/SVLJOC>
20. Chistyakova, L. A., Sokolova, L. M., Baklanova, O. V., & Egorova, A. A. (2020). Evaluation of *Fusarium* fungal strains for infection of cucumber plants. *Potato and Vegetables*, (1), 49. <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.76.39.005>. EDN: <https://elibrary.ru/HMGKHC>
21. Afordoanyi, D. M., Diabankana, R. G. C., Akosah, Y. A., & Validov, S. Z. (2022). Are formae speciales pathogens really host specific? A broadened host specificity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum*. *Brazilian Jour-*

- nal of Microbiology*, 53(4), 1745–1759. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00793-3>. EDN: <https://elibrary.ru/JKTUNG>
22. Afroz, T., Jee, S., Choi, H. W., Kim, J. H., Assefa, A. D., Aktaruzzaman, M., & Lee, H. S. (2021). First report of Fusarium wilt caused by *Fusarium equiseti* on cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) in Korea. *Plant Disease*, 105(4), 1198. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-20-1278-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/MWDNER>
 23. Ahmed, S., de Labrouhe, D. T., & Delmotte, F. (2012). Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Fungal Genetics and Biology*, 49, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2012.06.012>
 24. Bayoumy, S., Afify, A., El-Sayed, A., & Elshal, S. (2017). Antagonistic effect of *Bacillus* spp. against sugar beet pathogens: Fusarium wilt. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 8(6), 177–181.
 25. Beltran, M., Delgado, J. C., Valdivia, A. G., Hernandez, A., & Garcia, A. M. (2023). First report of *Fusarium equiseti* causing root and crown rot in tomato in Mexico. *Plant Disease*, 107(8), 2542. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-22-2494-PDN>. EDN: <https://elibrary.ru/YVLGNO>
 26. Biju, C. N., Ishwara, B. A., Praveena, R., Senthil, K. C. M., & Suseela, B. R. (2019). Pests and diseases of black pepper. In *International Pepper Community* (pp. 11–13). Jakarta, Indonesia.
 27. Corredor-Moreno, P., & Saunders, D. G. (2020). Expecting the unexpected: Factors influencing the emergence of fungal and oomycete plant pathogens. *New Phytologist*, 225(1), 118–125. <https://doi.org/10.1111/nph.16007>
 28. Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>. EDN: <https://elibrary.ru/OUOIJO>
 29. Edel-Hermann, V., & Lecomte, C. (2019). Current status of *Fusarium oxysporum* formae speciales and races. *Phytopathology*, 109(4), 512–530. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-18-0320-RVW>
 30. Fones, H. N., Bebbler, D. P., Chaloner, T. M., Kay, W. T., Steinberg, G., & Gurr, S. J. (2020). Threats to global food security from emerging fungal and oomycete crop pathogens. *Nature Food*, 1(6), 332–342. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0075-0>. EDN: <https://elibrary.ru/KJJOQY>
 31. Khafagi, E. Y., El-Syed, A., & Elwan, S. E. (2020). Controlling cabbage fusarium wilt (yellows) using Topsin M and some commercial bio-fertilizer products. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 47(2), 519–530. <https://doi.org/10.21608/zjar.2020.94492>. EDN: <https://elibrary.ru/SUERNG>

32. Krupinsky, J. M., Bailey, K. L., McMullen, M. P., Gossen, B. D., & Turkington, T. K. (2002). Managing plant disease risk in diversified cropping systems. *Agronomy Journal*, 94, 198–209. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.1980>
33. Lal, D., Dev, D., Kumari, S., Pandey, S., Aparna, Sharma, N., & Singh, A. (2024). Fusarium wilt pandemic: Current understanding and molecular perspectives. *Functional & Integrative Genomics*, 24(2), 41. <https://doi.org/10.1007/s10142-024-01319-w>. EDN: <https://elibrary.ru/XMLHTZ>
34. Leunov, V. I., Sokolova, L. M., Beloshapkina, O. O., & Khovrin, A. N. (2021). Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012010>. EDN: <https://elibrary.ru/VASSKO>
35. Nazarov, P. A., Baleev, D. N., Ivanova, M. I., Sokolova, L. M., & Karakozova, M. V. (2020). Infectious plant diseases: Etiology, current status, problems and prospects in plant protection. *Acta Naturae*, 12(3), 46. <https://doi.org/10.32607/actanaturae.11026>. EDN: <https://elibrary.ru/VVRPWC>
36. Okungbowa, F. I., & Shittu, H. O. (2012). Fusarium wilts: An overview. *Environmental Research Journal*, 6(2), 83–102.
37. Serdyuk, O. A., Trubina, V. S., & Gorlova, L. A. (2021). The breeding of spring rapeseed and brown mustard for resistance to *Fusarium* blight. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 845(1), 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012027>. EDN: <https://elibrary.ru/JYTPSX>
38. Shukla, A., Sharma, D., Sharma, M., Tarafdar, A., & Gupta, M. (2022). First report of *Fusarium equiseti* causing crown and root rot of cucumber in India. *Journal of Plant Pathology*, 104(2), 875. <https://doi.org/10.1007/s42161-022-01075-5>. EDN: <https://elibrary.ru/COKSBT>
39. Song, W., Zhou, L., Yang, C., Cao, X., Zhang, L., & Liu, X. (2004). Tomato Fusarium wilt and its chemical control strategies in a hydroponic system. *Crop Protection*, 23(3), 243–247. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.08.007>
40. Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*: Causal agent of vascular wilt disease of tomato — biology to diversity: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315–1324. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.06.002>
41. Starzycki, M., Starzycka, E., Pszczola, J., & Solecka, D. (2007). Evaluation of chosen winter rapeseed genotypes resistance to *Fusarium* spp. using in vitro methods. In *The 12th International Rapeseed Congress* (pp. 165–166). Wuhan: Science Press USA Inc.

42. Sun, Y., Wang, M., Li, Y., Gu, Z., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Wilt-ed cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage. *Annals of Botany*, 120(3), 427–436. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx065>
43. Yu, F., Zhang, W., Wang, S., Wang, H., Yu, L., Zeng, X., & Li, J. (2021). Genome sequence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*, the etiological agent of cabbage Fusarium wilt. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 34(2), 210–213. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0245-A>. EDN: <https://elibrary.ru/ANCMER>
44. Zehra, A., Aamir, M., Dubey, M. K., Ansari, W. A., Meena, M., Swapnil, P., & Lee, J. (2023). Enhanced protection of tomato against Fusarium wilt through biopriming with *Trichoderma harzianum*. *Journal of King Saud University — Science*, 35(2), Article 102466. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102466>. EDN: <https://elibrary.ru/UQQPBI>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Вишнякова Анастасия Васильевна, канд. сельхоз. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Никитин Михаил Алексеевич, инженер-исследователь, селекционно-семеноводческий центр овощных культур
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
ser-mixail-nikitin@yandex.ru

Александрова Анастасия Алексеевна, младший научный сотрудник научно-образовательной лаборатории «Перспективных технологий»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
a.alexandrova@rgau-msha.ru

Соколова Любовь Михайловна, д-р сельхоз. наук, ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур *Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства»* д. Веря, Московская область, 140153, Российская Федерация
lsokolova74@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasiia V. Vishnyakova, Cand. Sc. (Agricultural), Associate Professor of the Department of Botany, Selection and Seed Production of Garden Plants *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy* 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation
a.vishnyakova@rgau-msha.ru

Mikhail A. Nikitin, Research Engineer at the Selection and Seed Center for Vegetable Crops *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy* 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation
ser-mixail-nikitin@yandex.ru

Anastasiya A. Aleksandrova, Postgraduate Student, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology *Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy* 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127550, Russian Federation
a.alexandrova@rgau-msha.ru

Lyubov M. Sokolova, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Breeding and Seed Center *All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing, branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center of Vegetable Growing"* Vereya village, Moscow region, 140153, Russian Federation
lsokolova74@mail.ru

Поступила 10.12.2024

После рецензирования 24.02.2025

Принята 01.03.2025

Received 10.12.2024

Revised 24.02.2025

Accepted 01.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1268

EDN: UGRKWM

УДК 631.11«321»:631.527



Научная статья

ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ И ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ВЫДЕЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев, А.С. Чурсин,
А.М. Ковальчук, В.П. Шаманин*

Аннотация

Обоснование. Подбор родительских форм методами геномной селекции направлен на поиск генотипов с высокой селекционной ценностью для повышения эффективности селекции озимой пшеницы.

Цель. Выделить сорта и линии озимой пшеницы в качестве источников хозяйственно-ценных признаков для селекции в условиях Западной Сибири на основе фенотипических и генотипических методов оценки.

Материалы и методы. Проведена фенотипическая оценка коллекции 90 образцов озимой мягкой пшеницы разного эколого-географического происхождения в 2022–2024 гг. с использованием общепринятых полевых и лабораторных методов. Фенотипические данные подвергнуты анализу BLUP на основе генотипирования коллекции с помощью 55 KASP-маркеров.

Результаты. Установлено, что при геномном отборе прогностические значения хозяйственно-ценных признаков образцов коллекции были близки к данным фенотипического отбора. Сорта Донской Маяк, Донская юбилейная, KS13DH0039-99, линии WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau... имели высокие генетические эффекты по показателю зимостойкости (4,55–5,90) при прогнозируемой зимостойкости 65,3–66,5%. Образцы K 18918, Конкурент, CO13D1299 имели высокие генетические эффекты по количеству продуктивных стеблей на единице площади (23,3–30,2) и по продуктивной кустистости (0,26–0,38); для образцов WBLL1*2 /

Tukuru // Billings и Griset 9 /4/ Agri / NAC // Kauz /3/... отмечены более высокие прогностические эффекты по массе зерна главного колоса (0,06–0,08) и массе 1000 зерен (1,89–1,91).

Заключение. Выделены образцы с высокими генетическими эффектами по изученным признакам, которые целесообразно включать в качестве источников в селекционные программы озимой пшеницы в условиях Западной Сибири.

Ключевые слова: озимая пшеница; коллекция; метод BLUP; SNP-локусы; хозяйственно-ценные признаки

Для цитирования. Потоцкая, И. В., Шепелев, С. С., Чурсин, А. С., Ковальчук, А. М., & Шаманин, В. П. (2025). Фенотипическая и генотипическая оценка образцов озимой пшеницы и выделенные источники хозяйственно-ценных признаков для селекции в условиях Западной Сибири. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 341-365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1268>

Original article

PHENOTYPIC AND GENOTYPIC EVALUATION OF WINTER WHEAT SAMPLES AND IDENTIFIED SOURCES OF ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS FOR BREEDING UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

*I.V. Pototskaya, S.S. Shepelev, A.S. Chursin,
A.M. Kovalchuk, V.P. Shamanin*

Abstract

Background. The genomic selection methods aim to select the parental forms for searching of genotypes with high breeding value to increase the efficiency of winter wheat breeding.

Purpose. To identify winter wheat varieties and lines as sources of economically valuable traits for breeding under conditions of Western Siberia based on phenotypic and genotypic evaluation methods.

Materials and methods. A phenotypic evaluation of 90 winter bread wheat samples from collection of different ecological and geographical origin was carried out in 2022–2024 via generally accepted field and laboratory methods. Phenotypic data were analyzed by BLUPI based on genotyping of the collection with usage of 55 KASP-markers.

Results. It was found that the prognostic values of economically valuable traits of the collection samples provided by genomic method, were close to the phenotypic selection data. The varieties Donskoy Mayak, Donskaya Yubileinaya, KS13DH0039-99, lines WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau... had high genetic effects for winter hardiness (4.55–5.90) with predicted winter hardiness of 65.3–66.5%. The samples K 18918, Konkurent, CO13D1299 had high genetic effects for No. of stems per unit area (23.3–30.2) and No. of spikes per plant (0.26–0.38); for the WBLL1*2 / Tukuru // Billings and Griset 9 /4/ Agri / NAC // Kauz /3/... higher prognostic effects were noted for the weight of grain per spike (0.06–0.08) and thousand kernel weight (1.89–1.91).

Conclusion. Samples with high genetic effects for the studied traits were identified, which should be included as sources in winter wheat breeding programs under conditions of Western Siberia.

Keywords: winter wheat; collection; BLUP method; SNP loci; economically valuable traits

For citation. Pototskaya, I. V., Shepelev, S. S., Chursin, A. S., Kovalchuk, A. M., & Shamanin, V. P. (2025). Phenotypic and genotypic evaluation of winter wheat samples and identified sources of economically valuable traits for breeding under conditions of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 341–365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1268>

Введение

Пшеница является одной из трех зерновых культур, имеющих наибольшее распространение в растениеводстве, однако темпы роста урожайности пшеницы на основе растущего населения в мире недостаточны для удовлетворения спроса на зерно этой культуры. В настоящее время в Западной Сибири в связи с потеплением климата озимая пшеница оценивается как более перспективная культура за счет повышенной урожайности и большего производственного потенциала в сравнении с яровой пшеницей [2; 10]. Привлечение в селекцию генофонда озимой пшеницы из различных генетических коллекций направлено на поиск новых источников ценных аллелей генов, важных для селекции озимой пшеницы признаков [30]. Идентификация генов, контролирующих хозяйственно-ценные признаки, с помощью ДНК-маркеров в последние годы стало рутинной селекционной практики и служит надежным инструментом для улучшения сортов озимой пшеницы [4; 6]. Оценка эффектов аллелей генов на фенотипическое проявление ценных признаков позволяет определить приоритетные признаки при отборе селекционного материала в конкретных почвенно-климатических условиях [11; 31].

Основная стратегия ускорения современной селекции также основана на отборе с помощью молекулярных маркеров, который позволяет, независимо от условий среды, эффективно выделить генотипы с целевым геном – маркер-вспомогательная селекция (MAS) [17; 21]. Полиморфизм однонуклеотидных повторов (SNP) в настоящее время находит все большее распространение в селекции пшеницы в сравнении с ранее используемыми классами молекулярных маркеров [8; 16]. Преимущество KASP-маркеров (Конкурентная аллель-специфичная ПЦР, Competitive Allele Specific PCR) заключается в возможности детекции аллельных вариантов гена при массовом генотипировании коллекционного и селекционного материала без проведения трудозатратного гель-электрофореза [3; 7; 29]. Большой потенциал для селекции на создание высокоурожайных сортов пшеницы, устойчивых к стрессовым факторам, является применение KASP-маркеров, ассоциированных с QTLs, оказывающими плеiotропный эффект на несколько селекционно-значимых признаков. Например, картирован плеiotропный кластер QTL (*QSc/Sl.cib-5A* и *QSc/Sl.cib-6A*), влияющий одновременно на высоту растения, массу 1000 зерен и длину зерновки [18]. Разработаны KASP-маркеры к кластеру QTL (*Qclu.yas-2D*), определяющему устойчивость пшеницы к фузариозу, повышающему компактность и озерненность колоса [15]. Однако одним из недостатков маркер-вспомогательной селекции для полигенных признаков, таких как компоненты продуктивности растения, является недостаточная точность прогноза генотипов с ценными генами. В этой связи в качестве прогностической модели для анализа селекционной ценности сортов рассматривается метод линейной модели BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) [19; 23]. Данная смешанная модель позволяет определить эффект всех SNP-маркеров на фенотипическое проявление признака. Подбор родительских форм на основе геномной модели BLUP направлен на целенаправленную передачу аллелей тех локусов, которые представляют генетическую ценность для селекционной практики [9].

Цель исследования – выделить сорта и линии озимой пшеницы в качестве источников хозяйственно-ценных признаков для селекции в условиях Западной Сибири на основе фенотипических и генотипических методов оценки.

Материал и методы исследований

Материалом исследований служили 90 образцов и линий озимой мягкой пшеницы разных эколого-географических групп: России, Болгарии, Турции, США и международной программы TCI (Turkey–CIMMYT–

ICARDA). Образцы российской селекции представлены из селекционных учреждений Ростовской области и Краснодарского края: «Федеральный Ростовский АНЦ», АНЦ «Донской», «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко». Исследования проведены в 2022–2024 гг. на малом опытном поле ФГБОУ ВО Омский ГАУ. Посев коллекционного питомника осуществлялся в 2-х кратной повторности на площади делянок 3 м² в 2022–2023 гг. и в 3-х кратной повторности на площади 1 м² в 2024 г. В качестве стандарта использовали среднеспелый сорт озимой пшеницы Омская 4. Полевые оценки проводили, руководствуясь методическими указаниями ВИР [5]. Структурный анализ компонентов урожайности выполнен по сноповому материалу с использованием учетного рядка каждой делянки.

Метод BLUP и статистический анализ

Для оценки селекционной ценности образцов озимой пшеницы из международной коллекции использован метод BLUP по признакам: продолжительность вегетационного периода, зимостойкость, высота растения, количество продуктивных стеблей, продуктивная кустистость, число зерен главного колоса, масса зерна главного колоса, масса 1000 зерен, К_{хоз.} главного колоса, урожайность. Фенотипические данные за три года исследований были подвергнуты анализу индивидуального наилучшего линейного несмещенного прогноза (BLUP) на основе данных генотипирования коллекции с помощью 55 KASP-маркеров, подробно описанных ранее [24]. Метод BLUP выполнен с помощью пакета R rrBLUP (<https://cran.r-project.org/web/packages/rrBLUP/index.html>) с использованием следующей модели [22, 26]:

$$y = X\beta + Z_a a + Z_d d + Z_i i + e,$$

где y – вектор фенотипических данных; β – вектор фиксированных эффектов; a , d и i векторы членов α , δ и ϵ соответственно; X , Z_a , Z_d , и Z_i – матрицы инцидентности, связывающие фенотипы с β , a , d и i , соответственно; e – вектор ошибок.

Для данной модели учитывали прогнозируемые оценки, значимые при $p\text{-value} < 0,05$. Дисперсионный анализ проводили по руководству Доспехова [1] с использованием Microsoft Excel.

Агрометеорологические условия в годы проведения исследований

Вегетационный период 2022 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,91) со средними декадными температурами, неравномерным распределением осадков – в мае сумма осадков составила 35% от среднегодовой (6 мм); 2023 г. характеризовался как острозасушливый (ГТК = 0,63), с большим недобором осадков в мае (12 мм) и, напротив, превышением среднегодово-

го количества осадков в августе – начале сентября (46 мм). В зимний период в 2021–2022 гг. отмечена меньшая высота снежного покрова (20,1 см) в сравнении с 2022–2023 гг. (24,9 см), тогда как среднесуточные температуры существенно не отличались. В сезон 2023–2024 гг. в период с сентября по август выпало 577 мм осадков, что на 200 мм больше среднегодовых значений. Снега выпало более чем на 30 мм больше чем в сезоне 2022–2023 гг., что позволило сформировать большую высоту снежного покрова. ГТК в 2023–2024 гг. составил 1,49, что характеризует год как избыточно увлажненный.

Результаты

В табл. 1 представлена фенотипическая оценка основных хозяйственно-ценных признаков образцов международной коллекции озимой пшеницы.

Таблица 1.

Характеристика основных хозяйственно-ценных признаков сортов и линий разных экологических групп, в среднем за 2022–2024 гг.

Признак	Россия	Болгария	Турция	США	ТСІ	НСР ₀₅
Количество образцов, шт.	28	6	8	17	31	–
Вегетационный период, сут.	315	314	315	313	313	1,46
Диапазон	312–318	312–317	312–317	309–316	309–322	
Зимостойкость, %	63,5	60,8	60,2	59,9	57,3	2,00
Диапазон	49–75	47–71	48–72	31–74	34–78	
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	97,2	86,6	87,8	108	81,2	4,72
Диапазон	63–138	53–111	59–116	42–139	46–126	
Высота растения, см	64,2	67,2	63,2	62,0	65,8	1,25
Диапазон	57–75	59–77	58–68	52–71	55–79	
Продуктивная кустистость, шт./раст.	2,60	2,60	2,60	2,80	2,70	0,05
Диапазон	1,7–4,5	1,8–3,4	2,1–3,2	2,0–4,0	1,9–4,8	
Длина колоса, см	8,80	8,60	8,20	8,10	8,70	0,17
Диапазон	7,4–12	7,4–9,9	7,4–8,8	6,8–9,4	7,2–9,8	
Число зерен главного колоса, шт.	35,2	35,9	35,6	35,6	33,3	1,95
Диапазон	24–41	32–39	27–41	29–43	25–44	
Масса зерна главного колоса, г	1,30	1,40	1,20	1,20	1,20	0,05
Диапазон	0,8–1,6	1,1–1,6	0,9–1,6	0,9–1,6	0,7–1,9	
Масса 1000 зерен, г	36,8	37,4	36,5	35,5	36,1	1,16
Диапазон	29–49	33–44	30–45	29–66	28–48	

К _{хоз.} главного колоса	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,02
Диапазон	0,6–0,9	0,6–0,8	0,6–0,8	0,6–0,8	0,6–0,8	
Урожайность, г/м ²	254	202	240	272	204	27,6
Диапазон	71–384	136–328	179–352	55–495	78–389	

Принадлежность образцов к разным эколого-географическим группам и контрастные погодные условия за годы исследований обусловили широкий диапазон выраженности изученных признаков. Продолжительность вегетации коллекционных образцов варьировала от 309 до 322 сут. и составила по разным экологическим группам 313–315 сут. Образцы из США отличались меньшей продолжительностью вегетационного периода (в среднем 313 сут.). Зимостойкость представленных групп образцов составила в среднем 57,3–63,5%, более зимостойкие сорта имели российское происхождение (63,5%). Образцы международной коллекции характеризовались пониженной высотой стебля: 64,2 см (Россия), 67,2 см (Болгария), 63,2 см (Турция), 62,0 см (США) и 65,8 см (ТСИ). Сравнительный анализ пяти групп образцов показал различия в компонентах урожайности российской и зарубежных селекционных программ: американские образцы имели большие показатели по количеству продуктивных стеблей (108 шт./м²) и продуктивной кустистости (2,80 шт./раст.), тогда как российские и болгарские образцы отличались большей продуктивностью колоса и массой 1000 зерен (1,30 и 1,40 г; 36,8 и 37,4 г соответственно). Урожайность у коллекционных образцов варьировала в зависимости от их происхождения: 254 г/м² (Россия), 202 г/м² (Болгария), 240 г/м² (Турция), 272 г/м² (США) и 204 г/м² (ТСИ).

Прогнозирование признаков при использовании модели BLUPI позволило выявить селекционную ценность генотипов в сравнении со стандартом Омская 4 для отдельных направлений селекционной работы по озимой пшенице (табл. 2).

Таблица 2.

Прогнозируемые генетические эффекты на хозяйственно-ценные признаки методом BLUPI, 2022–2024 гг.

Сорт, линия	Прогнозируемый генетический эффект				Прогнозируемое значение признака
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем	
Продолжительность вегетационного периода, сут.					
Омская 4, St	0,99	0,32	0,31	0,54	315
KS100610K-7	-1,43	-1,11	-0,76	-1,10	313
KS13DH0030-29	-0,91	-1,16	-1,12	-1,06	313

KS13DH0024-48	-0,91	-1,16	-1,12	-1,06	313
Agri / NAC // Attila /4/ C80.1...	-1,29	-0,98	-0,68	-0,98	313
Ростовчанка 7	-1,33	-0,89	-0,67	-0,96	313
Донской сюрприз	-0,94	-1,12	-0,80	-0,95	313
Танаис	-1,19	-0,83	-0,76	-0,93	313
Yubileinaya 75 /3/ Agri / BJY // VEE...	-1,04	-0,90	-0,77	-0,90	313
НСР ₀₅	0,15	0,13	0,10	0,12	1,46
Зимостойкость, %					
Омская 4, St	1,38	-2,09	-2,26	-0,99	58,8
KS13DH0039-99	7,49	10,2	2,36	6,68	66,5
WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18	8,71	8,72	2,89	6,77	66,6
Донской Маяк	9,39	7,80	2,13	6,44	66,2
Донера	7,08	9,52	0,81	5,80	65,6
Находка	5,78	10,2	1,97	5,98	65,8
TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau...	6,75	8,44	2,90	6,03	65,8
Донская юбилейная	4,29	9,34	2,76	5,46	65,3
Duster / Billings	2,38	8,51	4,93	5,27	65,1
НСР ₀₅	0,88	1,13	0,49	0,83	2,00
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²					
Омская 4, St	2,05	16,2	1,01	6,42	96,9
К 18918	15,0	61,4	14,2	30,2	120,7
Конкурент	4,51	53,9	13,4	23,9	114,5
CO13D1299	8,91	45,7	15,4	23,3	113,8
KS13DH0030-29	23,5	8,45	0,30	10,8	101,3
KS13DH0024-48	23,5	8,45	0,30	10,8	101,3
Жива	16,5	5,74	9,23	10,5	101,0
KS13DH0020-59	19,9	6,31	4,57	10,3	100,8
НСР ₀₅	2,24	3,86	1,14	2,41	4,25
Продуктивная кустистость, шт./раст.					
Омская 4, St	0,07	-0,03	0,19	0,08	2,70
К 18918	0,37	0,18	0,59	0,38	3,01
Конкурент	0,25	0,28	0,36	0,29	2,92
CO13D1299	0,26	0,25	0,28	0,26	2,89
Алексейч	0,07	0,31	0,16	0,18	2,81
Л 2293	0,06	0,32	0,12	0,17	2,79
НСР ₀₅	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05
Длина колоса, см					
Омская 4, St	0,11	0,09	0,19	0,13	8,66

Безостая 1	0,34	0,36	0,55	0,42	8,94
D67.2 / P66.270 // Ae.sq. (320)...	0,38	0,44	0,37	0,39	8,93
Pantheon / Bluegil 2...	0,38	0,44	0,37	0,39	8,93
Анка	0,41	0,35	0,29	0,35	8,88
SG-U 7067 /5/ TEMU 39.76	0,37	0,26	0,34	0,32	8,85
MV-Ispan	0,33	0,29	0,25	0,29	8,82
Bitop / Muftibey	0,37	0,27	0,18	0,27	8,78
Дуплет	0,36	0,09	0,33	0,26	8,78
НСР ₀₅	0,05	0,04	0,06	0,05	0,18
Число зерен главного колоса, шт.					
Омская 4, St	-0,28	-0,73	0,09	-0,31	30,0
Agri / NAC // Attila /4/ C80.1...	1,03	0,63	1,77	1,14	35,1
WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18	1,27	1,54	0,18	0,99	35,2
OCW00S106S / Garrison	1,04	0,42	1,38	0,95	35,2
Донская Лира	0,69	0,92	0,85	0,82	34,6
Донна	0,68	1,19	0,09	0,65	34,9
MV 233-05 // Pantheon / Bluegil 2 /3/ Gondvana	0,13	0,13	1,58	0,61	34,9
Маркиз	0,24	1,17	0,38	0,59	34,8
KS13DH002722	0,14	0,10	1,27	0,50	34,8
НСР ₀₅	0,20	0,23	0,32	0,25	1,95
Масса зерна главного колоса, г					
Омская 4, St	-0,01	-0,04	-0,06	-0,04	1,10
WBLL1*2 / Tukuru // Billings	0,02	0,12	0,09	0,08	1,32
Sonmez 01 / Ahmetaga // Sonmez 01	0,03	0,11	0,09	0,08	1,32
Kisla	0,02	0,12	0,09	0,08	1,32
Kalyta	0,06	0,09	0,08	0,08	1,29
Griset 9 /4/ Agri / NAC // Kauz /3/...	0,02	0,09	0,08	0,06	1,29
Донна	0,06	0,02	0,09	0,06	1,30
WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18	0,07	0,01	0,07	0,06	1,29
Граф	0,05	0,04	0,08	0,06	1,30
Маркиз	0,03	0,03	0,06	0,04	1,28
НСР ₀₅	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05
Масса 1000 зерен, г					
Омская 4, St	-0,07	-0,01	-0,06	-0,05	34,2
Gelibolu	0,38	2,78	4,64	2,60	38,7
D67.2 / P66.270 // Ae.sq. (320)...	0,41	2,88	4,24	2,51	38,8

Pantheon / Bluegil 2...	0,41	2,88	4,24	2,51	38,8
Gondvana // HBK 0935-29-15	0,10	3,59	2,51	2,07	38,3
MV-Bojtar	1,42	1,04	3,74	2,07	37,3
Griset 9 /4/ Agri / NAC // Kauz /3/...	0,50	0,97	4,27	1,91	37,8
WBL1*2 / Tukur / Billings	0,50	1,47	3,70	1,89	37,8
Жива	0,05	3,08	1,87	1,67	37,9
HCP ₀₅	0,16	0,30	0,49	0,32	1,16
K _{гол} главного колоса					
Омская 4, St	-0,01	-0,03	-0,02	-0,02	0,69
KS13DH0039-99	0,03	0,03	0,04	0,03	0,75
Duster / Billings	0,03	0,02	0,05	0,03	0,75
WBL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18	0,02	0,04	0,03	0,03	0,74
Донская юбилейная	0,02	0,03	0,03	0,03	0,74
KS100610K-7	0,01	0,03	0,04	0,03	0,74
Agri / NAC // Attila /4/ C80.1...	0,02	0,02	0,05	0,03	0,74
TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau...	0,03	0,02	0,03	0,03	0,74
Attila*2 / Esda // Mason...	0,02	0,01	0,04	0,02	0,74
Esperia	0,02	0,01	0,04	0,02	0,74
HCP ₀₅	0,003	0,005	0,01	0,004	0,02
Урожайность, г/м ²					
Омская 4, St	-5,62	3,70	-6,26	2,73	209
K 18918	22,6	62,5	76,1	53,7	285
CO13D1299	0,88	52,8	90,7	48,1	277
Конкурент	1,81	56,4	59,5	39,2	271
KS13DH0039-99	30,7	63,4	0,89	31,7	263
TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau...	27,8	50,9	10,6	29,8	262
Attila*2 / Esda // Mason...	22,2	27,7	38,4	29,4	261
Esperia	22,2	27,7	38,4	29,4	261
KS13DH0030-29	5,43	46,5	28,3	26,7	258
HCP ₀₅	2,85	6,25	8,67	5,92	27,6

Примечание: Генетические эффекты значимы при $p < 0,05$

Значения генетических эффектов на хозяйственно-ценные признаки варьировали в сильной степени в разные годы исследований и позволили выявить генотипы с высокими генетическими эффектами в качестве высокоперспективных родительских форм в программах гибридизации. Для продолжительности вегетационного периода генетические эффекты варьировали от $-0,90$ до $-1,10$ при прогнозируемом значении признака 313 сут. Российские сорта Ростовчанка 7, Донской сюрприз, Танаис; сорта американской селекции

KS100610K-7, KS13DH0030-29, KS13DH0024-48; образцы международной программы TCI Agri / NAC // Attila /4/ C80.1..., Yubileinaya 75 /3/ Agri / BJY // VEE... позволят сократить период вегетации минимум на 2 сут. в сравнении со стандартом Омская 4. Высокие оценки селекционной ценности образцов озимой пшеницы по зимостойкости (в среднем 65,1–66,6%) имели образцы Донской Маяк, Донера, Находка, Донская юбилейная, KS13DH0039-99, WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau..., Duster / Billings. Аллели SNP-локусов, зафиксированные в отдельных генотипах, как правило, отличаются по влиянию на экспрессию разных количественных признаков. Так, образцы К 18918, Конкурент, CO13D1299 имели высокие генетические эффекты на количество продуктивных стеблей на единицу площади (23,3–30,2) и продуктивную кустистость (0,26–0,38), что положительно сказалось на таком интегральном признаке, как урожайность (39,2–53,7). Для образцов зарубежной селекции WBLL1*2 / Tukuru // Billings и Griset 9 /4/ Agri / NAC // Kauz /3/..., напротив, отмечены более высокие прогностические эффекты на массу зерна главного колоса (0,06–0,08) и массу 1000 зерен (1,89–1,91). Генотипы зарубежной селекции KS13DH0039-99, TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau..., Attila*2 / Esda // Mason... представляют интерес для повышения коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза (прогностическое значение 0,74–0,75) и урожайности (261–263 г/м²).

При геномном отборе прогностические значения хозяйственно-ценных признаков образцов коллекции, представленные в табл. 2, несущественно отличаются от данных фенотипического отбора. Выделен набор генотипов с самыми высокими генетическими эффектами на отдельные признаки как наиболее перспективные для программ гибридизации (табл. 3).

Таблица 3.

Основные агрономические признаки лучших образцов озимой пшеницы, в среднем за 2022–2024 гг.

Сорт, линия	Вегетацион- ный период, сут.	Зимостой- кость, %	Высота расте- ния, см	Продуктивная кустистость, шт./ раст.	Число зерен колоса, шт.	Масса зерна колоса, г	Масса 1000 зерен, г	К _{хов.} главного колоса	Урожайность, г/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Омская 4, St	316	63,0	74,3	2,30	25,9	1,06	32,9	0,72	246
Россия									
Жива	318	67,3*	73,0	2,07	37,7*	1,43*	38,5*	0,79*	384*

Донская Лира	312	64,5	66,7	2,50*	30,9*	1,17*	37,9*	0,75*	367*
Донна	315	59,7	67,3	2,45*	31,0*	1,19*	37,9*	0,71	351*
К 18918	315	57,1	57,1	2,31	40,3*	1,23*	30,7	0,69	297*
Конкурент	315	63,9	59,4	2,69*	34,5*	1,43*	41,1*	0,72	278*
Донской Маяк	312	65,7*	68,1	4,13*	40,2*	1,55*	37,9*	0,76*	276*
Донская юбилейная	313	65,0*	61,4	2,80*	33,1*	1,18*	34,9*	0,71	248
Турция									
Gelibolu	314	71,0*	65,2	2,21	40,3*	1,49*	45,3*	0,77*	352*
США									
CO13D1299	311	63,3	67,9	3,23*	34,9*	1,26*	35,9*	0,82*	495*
KS13DH00 20-59	309	61,0	66,3	3,12*	30,8*	1,25*	40,4*	0,74*	337*
KS13DH00 30-29	314	61,3	66,7	2,47*	38,2*	1,19*	30,8	0,70	327*
KS13DH00 39-99	312	68,3*	70,0	2,35*	28,8*	0,88	30,4	0,67	287*
KS100610K-7	312	60,7	59,6	2,42*	34,1*	1,08	31,2	0,74*	243
ТСІ									
WBL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18	314	66,0*	70,7	3,21*	33,9*	1,09	31,9	0,75*	389*
TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau...	310	50,0	79,0	4,77*	30,6*	1,21*	39,9*	0,70	316*
Agri / NAC // Attila /4/ C80.1...	310	71,5*	74,8	2,05	36,1*	1,52*	41,4*	0,73	273*
WBL1*2 / Tukuru // Billings	312	59,3	77,9	2,89*	38,5*	1,64*	42,7*	0,73	241
HCP ₀₅	1,46	2,00	1,25	0,05	1,95	0,05	1,16	0,02	27,6

Примечание: достоверное превышение над стандартом

Данный набор образцов относится к среднеранним и среднеспелым формам с продолжительностью вегетации от 309 до 318 сут. При анализе главного селективируемого признака – урожайности выделены в основной образцы трех экологических групп – Россия, США и ТСІ. Средняя урожайность образцов данных групп составила 241–495 г/м² при средней зимостойкости 50,0–71,5% и высоте растения 57,1–79 см. Зимостойкость образцов коллекции служила основным показателем, от которого зависит урожайность сортов озимой пшеницы в условиях Западной Сибири. Образцы Жива, Донской Маяк, Донская юбилейная, Gelibolu, KS13DH0039-99, Agri / NAC // Attila /4/ C80.1... показали высокую зимостойкость 65,0–71,5% при средней урожайности 273–389 г/м². Компоненты урожайности образцов Донская Лира, Донна, Конкурент, Донской Маяк, Донская юбилейная, CO13D1299, KS13DH0020-59, TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau..., WBL1*2 / Tukuru // Billings превышали показатели стандарта Омская 4: продуктивная кустист-

стость – 2,42–4,77 шт./м², число зерен колоса – 30,6–40,2 шт., масса зерна колоса – 1,17–1,64 г, масса 1000 зерен – 34,9–42,7 г. Сорты Жива, Донской Маяк, Донская Лира, Gelibolu, CO13D1299, KS13DH0020-59, KS100610K-7 и линия WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18... имели лучшие показатели $K_{\text{хоз.}}$ главного колоса (0,74–0,82).

Обсуждение

В селекционной практике длительное время применялся отбор по фенотипу, однако эффективность такой стратегии ограничена из-за влияния модификаций на выраженность количественных признаков. Альтернативная стратегия отбора – оценка селекционной ценности для признаков, контролируемых несколькими QTL с малыми эффектами на основе индивидуального наилучшего линейного несмещенного прогноза (BLUPI) [20, 25]. В данной работе представлен метод геномного прогнозирования фенотипа с учетом вклада полиморфизма SNP-локусов, идентифицированного с помощью KASP-маркеров, для выявления потенциальных генетических источников озимой пшеницы в качестве родительских форм программ гибридизации. Повышение точности прогнозирования фенотипического профиля сортов с известными ДНК-маркерами в определенной степени будет способствовать прогрессу селекции озимой пшеницы, в частности по признаку зимостойкости – основного целевого признака в условиях Западной Сибири [24].

Высокие оценки селекционной ценности и фенотипическое проявление признака указывают на точность прогноза при выборе генотипа. Сорты Донской Маяк, Донская юбилейная, KS13DH0039-99, линии программы TCI (WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau...) имели высокие генетические эффекты на зимостойкость (4,55–5,90) при прогнозируемой зимостойкости 65,3–66,5%. Фенотипическая оценка зимостойкости за три года исследований для данных генотипов составила 65–68,3%, за исключением линии TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau... (50%). При создании сортов озимой пшеницы целесообразно одновременное повышение зимостойкости и урожайности. При отборе по фенотипу значения урожайности (278–495 г/м²) российских сортов Конкурент, К 18918 и американских CO13D1299, KS13DH0039-99 превысили их прогнозируемую урожайность (263–285 г/м²), полученную с помощью BLUP (табл. 2). Зимостойкость выделенных сортов также высокая и составила 57,1–63,9%.

В нашей работе использовались данные генотипирования коллекции образцов озимой пшеницы с помощью ограниченного количества SNP-ло-

кусов, что могло сказаться на точности оценки селекционной ценности. Однако большой набор изученных генотипов и фенотипические данные за три года исследований доказали возможность отбора с помощью модели BLUP на основе небольшого набора SNP-локусов, поскольку по большинству компонентов продуктивности растений прогностические оценки также совпали с фенотипическими данными для отечественных и зарубежных образцов: К 18918, Конкурент, Донская Ли́ра, Донна, CO13D1299, KS13DH0039-99, WBL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., WBL1*2 / Tukuru // Billings, TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau..., Agri / NAC // Attila /4/ C80.1... (табл. 2, 3).

В случае полногеномного генотипирования селекционного материала с использованием ДНК-чипов эффективность геномного прогнозирования BLUP для широкого спектра агрономических признаков выше и доказана во многих зарубежных публикациях [13; 28]. В работе N.A. Potapova et al. (2024) отмечен высокий ожидаемый ответ на отбор с помощью BLUP по содержанию макро- и микроэлементов у сортов и интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы. При этом отмечается, что несоответствие такого рода отбора с отбором по фенотипу может быть связано с ограниченным размером тестируемой популяции, полигенным или плеiotропным контролем признака. Увеличение точности прогнозирования признаков повышается, в основном, с увеличением размера тестируемой популяции и количества SNP-маркеров при генотипировании. Предсказательная способность также выше на основе мультиаллельных гаплотипов с учетом корректировки порогового значения неравновесного сцепления (LD) маркеров с целевыми генами [12; 14]. Привлечение в скрещивания генетически отдаленных родительских форм, в частности сортов ростовской и краснодарской селекции с зарубежными образцами будет способствовать повышению генетического разнообразия, адаптивности и урожайности сортов озимой пшеницы. В настоящее время поиск родительских форм, имеющих высокие селекционные оценки, методом геномной селекции является приоритетным направлением селекционных программ во многих странах мира [27].

Заключение

Для селекционных программ по озимой пшенице получена информация о селекционной ценности по основным хозяйственно-ценным признакам среди образцов разного географического происхождения. Показана эффективность геномного прогнозирования фенотипа с учетом вклада полимор-

физма SNP-локусов, идентифицированного с помощью KASP-маркеров, для выявления потенциальных генетических источников озимой пшеницы в качестве родительских форм программ гибридизации. Рекомендованы линии в качестве потенциальных генотипов для включения в гибридизацию с высокими прогностическими оценками: сорта российской селекции Жива, Донская Лира, Донна, К 18918, Конкурент, Донской Маяк, Донская юбилейная; турецкий сорт Gelibolu; американские сорта CO13D1299, KS13DH0020-59, KS13DH0030-29, KS13DH0039-99, KS100610K-7; линии международной программы TCI WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18..., TAM 200 / Kauz // Yu Mai 30 /4/ Pfau..., Agri / NAC // Attila /4/ C80.1..., WBLL1*2 / Tukuru // Billings. Согласно эколого-географическому принципу подбора родительских пар в качестве источников для расширения генетического разнообразия и повышения урожайности следует привлекать в гибридизацию как материнский компонент образцы из Ростовской области и Краснодар, как отцовский компонент – зарубежные образцы.

Информация о спонсорстве. Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 23-16-20006 от 20.04.2023 г.).

Список литературы

1. Доспехов, Б. А. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)* (5-е изд., доп. и перераб.). Москва: Агропромиздат. 351 с.
2. Кашуба, Ю. Н., Ковтуненко, А. Н., Трипутин, В. М., Шварцкопф, Т. В., & Мазепа, Н. Г. (2019). Результаты селекции озимой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Зерновое хозяйство России*, (1), 32–34. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-61-1-32-34>. EDN: <https://elibrary.ru/UWCYTB>
3. Кочешкова, А. А., Баженов, М. С., Крупин, П. Ю., Мохов, Т. Д., Меглицкая, Я. С., Архипов, А. В., Беспалова, Л. А., Пузырная, О. Ю., Агаева, Е. В., Яновский, А. С., Карлов, Г. И., & Дивашук, М. Г. (2023). Создание нового KASP-маркера на аллельное состояние гена *PARG-2A* пшеницы. *Научный журнал КубГАУ*, (190), 1–11. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-190-005>. EDN: <https://elibrary.ru/PMTEWB>
4. Лапочкина, И. Ф., Баранова, О. А., Гайнуллин, Н. Р., Волкова, Г. В., Гладкова, Е. В., Ковалева, Е. О., & Осипова, А. В. (2018). Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. *sp. tritici* для использования в селекционных программах России. *Вавилов-*

- ский журнал генетики и селекции, 22(6), 676–684. <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>. EDN: <https://elibrary.ru/XYZCIX>
5. Методические указания. Изучение коллекции пшеницы (1985) / Под ред. В. Ф. Дорофеева. Ленинград: ВИР. 27 с.
 6. Мухордова, М. Е. (2021). Выявление доноров короткостебельности у образцов озимой пшеницы с помощью ДНК-маркеров и диаллельного анализа. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, (4), 73–79. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-73-79>. EDN: <https://elibrary.ru/KVRRVF>
 7. Никитина, Е. А., Архипов, А. В., Минькова, Я. В., Яновский, А. С., Коробкова, В. А., Самарина, М. А., Черноок, А. Г., Крупин, П. Ю., Карлов, Г. И., & Дивашук, М. Г. (2023). Конкурентная аллель-специфичная ПЦР (KASP): особенности, интерпретация результатов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 1(6), 79–93. <https://doi.org/10.26897/0021-342>
 8. Потоцкая, И. В., Шепелев, С. С., Чурсин, А. С., Ковальчук, А. М., & Шаманин, В. П. (2024). Идентификация генов качества зерна среди сортов озимой мягкой пшеницы. *Зерновое хозяйство России*, 16(2), 43–48. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-43-48>. EDN: <https://elibrary.ru/CXWHMH>
 9. Столповский, Ю. А., Пискунов, А. К., & Свищева, Г. Р. (2020). Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития. *Генетика*, 56(9), 1006–1017. <https://doi.org/10.31857/S0016675820090143>. EDN: <https://elibrary.ru/SIFGKO>
 10. Трипутин, В. М., Кашуба, Ю. Н., & Ковтуненко, А. Н. (2024). Адаптивность сортов озимой пшеницы по урожайности зерна. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*, (3), 43–48. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-3-43-48>. EDN: <https://elibrary.ru/NVTPPQ>
 11. Шаманин, В. П., Шепелев, С. С., Пожерукова, В. Е., Потоцкая, И. В., Кочерина, Н. В., Lohwasser, U., Börner, A., & Чесноков, Ю. В. (2018). Картирование QTL у гексаплоидной мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях Западно-Сибирской равнины. *Сельскохозяйственная биология*, 53(1), 50–60. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.50rus>. EDN: <https://elibrary.ru/YTJOGF>
 12. Alemu, A., Batista, L., Singh, P. K., Ceplitis, A., & Chawade, A. (2023). Haplotype tagged SNPs improve genomic prediction accuracy for Fusarium head blight resistance and yield related traits in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 136, 92. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04352-8>. EDN: <https://elibrary.ru/XRWFFM>

13. Ali, M., Zhang, Y., Rasheed, A., Wang, J., & Zhang, L. (2020). Genomic prediction for grain yield and yield-related traits in Chinese winter wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1342. <https://doi.org/10.3390/ijms21041342>. EDN: <https://elibrary.ru/YKNNNM>
14. Charmet, G., Tran, L.-G., Auzanneau, J., Rincet, R., & Bouchet, S. (2020). BWGS: A R package for genomic selection and its application to a wheat breeding programme. *PLoS ONE*, 15(4), e0222733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222733>. EDN: <https://elibrary.ru/TDFMPW>
15. Hu, W., Gao, D., Liao, S., Cheng, S., Jia, J., & Xu, W. (2023). Identification of a pleiotropic QTL cluster for Fusarium head blight resistance, spikelet compactness, grain number per spike and thousand-grain weight in common wheat. *The Crop Journal*, 11(2), 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.09.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ADMVFY>
16. Kaur, B., Mavi, G. S., Gill, M. S., & Saini, D. K. (2020). Utilization of KASP technology for wheat improvement. *Cereal Research Communications*, 48, 409–421. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00057-6>. EDN: <https://elibrary.ru/GQKVZW>
17. Li, H., Zhou, Y., Xin, W., Wei, Y., Zhang, J., & Guo, L. (2019). Wheat breeding in northern China: Achievements and technical advances. *The Crop Journal*, 7(6), 718–729. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.09.003>. EDN: <https://elibrary.ru/DNLEMF>
18. Li, T., Deng, G., Su, Y., Yang, Z., Tang, Y., Wang, J., Qiu, X., Pu, X., Li, J., Liu, Z., et al. (2021). Identification and validation of two major QTLs for spike compactness and length in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) showing pleiotropic effects on yield-related traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 3625–3641. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03918-8>. EDN: <https://elibrary.ru/UMYBYR>
19. Lozada, D. N., & Carter, A. H. (2020). Genomic selection in winter wheat breeding using a recommender approach. *Genes*, 11(7), 779. <https://doi.org/10.3390/genes11070779>. EDN: <https://elibrary.ru/UDBBXZ>
20. Meher, P. K., Rustgi, S., & Kumar, A. (2022). Performance of Bayesian and BLUP alphabets for genomic prediction: Analysis, comparison and results. *Heredity*, 128, 519–530. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00539-9>. EDN: <https://elibrary.ru/OMFGUO>
21. Mourad, A. M. I., Sallam, A., Belamkar, V., Wegulo, S., Bowden, R., Jin, Y., Mahdy, E., Bakheit, B., El-Wafaa, A. A., Poland, J., & Baenziger, P. S. (2018). Genome-wide association study for identification and validation of novel SNP markers for Sr6 stem rust resistance gene in bread wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, 380. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00380>

22. Nishio, M., & Satoh, M. (2015). Genomic best linear unbiased prediction method including imprinting effects for genomic evaluation. *Genetics Selection Evolution*, 47, 32. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0091-y>. EDN: <https://elibrary.ru/BEXBHM>
23. Potapova, N. A., Zlobin, A. S., Leonova, I. N., Salina, E. A., & Tsepilov, Y. A. (2024). The BLUP method in evaluation of breeding values of Russian spring wheat lines using micro- and macroelements in seeds. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 28(4), 456–462. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-51>. EDN: <https://elibrary.ru/VRSSUH>
24. Pototskaya, I. V., Shepelev, S. S., Turuspekov, Y. K., Morgounov, A. I., Chursin, A. S., Kovalchuk, A. M., Savin, T. V., & Shamanin, V. P. (2024). Breeding and genetic evaluation of international winter wheat collection under conditions of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 6(16), [страницы не указаны]. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-995>. EDN: <https://elibrary.ru/LMBBIY>
25. Resende, M. D. V., & Alves, R. S. (2020). Linear, generalized, hierarchical, Bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. *Functional Plant Breeding*, 2, 1–31. <https://doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>. EDN: <https://elibrary.ru/TVJADS>
26. Silva, C. M., Mezzomo, H. C., Alves, R. S., de Resende, M. D. V., & Nardino, M. (2023). Optimizing selection of wheat genotypes through simulated individual BLUP and modified simulated individual BLUP. *Agronomy Journal*, 115(3), 1237–1247. <https://doi.org/10.1002/agj2.21289>. EDN: <https://elibrary.ru/RGBIMJ>
27. Signorini, V. S., e Silva, C. M., Lima, G. W., Vieira, E. F. T., Mezzomo, H. C., Casagrande, C. R., & Nardino, M. (2024). Parental selection proposal strategy for recurrent selection in tropical wheat breeding. *Agronomy Journal*, 116(1), 36–50. <https://doi.org/10.1002/agj2.21505>. EDN: <https://elibrary.ru/LLHCQY>
28. Sinha, D., Maurya, A. K., Abdi, G., Majeed, M., Agarwal, R., Mukherjee, R., Ganguly, S., Aziz, R., Bhatia, M., Majgaonkar, A., et al. (2023). Integrated genomic selection for accelerating breeding programs of climate-smart cereals. *Genes*, 14, 1484. <https://doi.org/10.3390/genes14071484>. EDN: <https://elibrary.ru/FYSKPY>
29. Song, L., Wang, R., Yang, X., Zhang, A., & Liu, D. (2023). Molecular markers and their applications in marker-assisted selection (MAS) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture*, 13, 642. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030642>. EDN: <https://elibrary.ru/TMELQN>
30. Temirbekova, S. K., Kulikov, I. M., Afanasyeva, Y. V., Beloshapkina, O. O., Kalashnikova, E. A., Kirakosyan, R. N., Dokukin, P. A., Kucher, D. E., La-

- tati, M., & Rebouh, N. Y. (2021). The evaluation of winter wheat adaptation to climate change in the Central Non-Black Region of Russia: Study of the gene pool resistance of wheat from the N. I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR) world collection to abiotic stress factors. *Plants*, 10, 2337. <https://doi.org/10.3390/plants10112337>. EDN: <https://elibrary.ru/DNYFJL>
31. Yang, C. J., Ladejobi, O., Mott, R., Powell, W., & Mackay, I. (2022). Analysis of historical selection in winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 135, 3005–3023. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04163-3>. EDN: <https://elibrary.ru/DTZVAL>

References

1. Dospekhov, B. A. (1985). *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)* (5th ed., revised and expanded). Moscow: Agropromizdat. 351 p.
2. Kashuba, Yu. N., Kovtunenkov, A. N., Triputin, V. M., Shvartskopf, T. V., & Mazepa, N. G. (2019). Results of winter soft wheat breeding in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Grain Farming in Russia*, (1), 32–34. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-61-1-32-34>. EDN: <https://elibrary.ru/UWCYTB>
3. Kocheshkova, A. A., Bazhenov, M. S., Krupin, P. Yu., Mokhov, T. D., Meglitskaya, Ya. S., Arkhipov, A. V., Bessalova, L. A., Puzyrnaya, O. Yu., Agaeva, E. V., Yanovsky, A. S., Karlov, G. I., & Divashuk, M. G. (2023). Development of a new KASP marker for the allelic state of the *PARG 24y* wheat gene. *Scientific Journal of KubSAU*, (190), 1–11. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-190-005>. EDN: <https://elibrary.ru/PMTEWB>
4. Lapochkina, I. F., Baranova, O. A., Gainullin, N. R., Volkova, G. V., Gladkova, E. V., Kovaleva, E. O., & Osipova, A. V. (2018). Development of winter wheat lines with multiple resistance genes to *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* for use in Russian breeding programs. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 22(6), 676–684. <https://doi.org/10.18699/VJ18.410>. EDN: <https://elibrary.ru/XYZCIX>
5. *Methodological guidelines. Study of the wheat collection* (1985) / Ed. by V. F. Dorofeev. Leningrad: VIR. 27 p.
6. Mukhordova, M. E. (2021). Identification of short-stature donors in winter wheat accessions using DNA markers and diallel analysis. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, (4), 73–79. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-73-79>. EDN: <https://elibrary.ru/KVRRVF>
7. Nikitina, E. A., Arkhipov, A. V., Minkova, Ya. V., Yanovsky, A. S., Korobkova, V. A., Samarina, M. A., Chernook, A. G., Krupin, P. Yu., Karlov, G. I., &

- Divashuk, M. G. (2023). Competitive allele-specific PCR (KASP): features and interpretation of results. *Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*, 1(6), 79–93. <https://doi.org/10.26897/0021-342>
8. Pototskaya, I. V., Shepelev, S. S., Chursin, A. S., Kovalchuk, A. M., & Shamanin, V. P. (2024). Identification of grain quality genes among winter soft wheat varieties. *Grain Farming in Russia*, 16(2), 43–48. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2024-91-2-43-48>. EDN: <https://elibrary.ru/CXWHMH>
9. Stolpovsky, Yu. A., Piskunov, A. K., & Svishcheva, G. R. (2020). Genomic selection. I. Recent trends and possible development paths. *Genetics*, 56(9), 1006–1017. <https://doi.org/10.31857/S0016675820090143>. EDN: <https://elibrary.ru/SIFGKO>
10. Triputin, V. M., Kashuba, Yu. N., & Kovtunenکو, A. N. (2024). Adaptability of winter wheat varieties in terms of grain yield. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, (3), 43–48. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2024-3-43-48>. EDN: <https://elibrary.ru/NVTPPQ>
11. Shamanin, V. P., Shepelev, S. S., Pozherukova, V. E., Pototskaya, I. V., Kochevina, N. V., Lohwasser, U., Börner, A., & Chesnokov, Yu. V. (2018). QTL mapping in hexaploid bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under conditions of the West Siberian Plain. *Agricultural Biology*, 53(1), 50–60. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2018.1.50rus>. EDN: <https://elibrary.ru/YTJOGF>
12. Alemu, A., Batista, L., Singh, P. K., Ceplitis, A., & Chawade, A. (2023). Haplotype tagged SNPs improve genomic prediction accuracy for Fusarium head blight resistance and yield related traits in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 136, 92. <https://doi.org/10.1007/s00122-023-04352-8>. EDN: <https://elibrary.ru/XRWFFM>
13. Ali, M., Zhang, Y., Rasheed, A., Wang, J., & Zhang, L. (2020). Genomic prediction for grain yield and yield-related traits in Chinese winter wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1342. <https://doi.org/10.3390/ijms21041342>. EDN: <https://elibrary.ru/YKNNNM>
14. Charmet, G., Tran, L.-G., Auzanneau, J., Rincet, R., & Bouchet, S. (2020). BWGS: A R package for genomic selection and its application to a wheat breeding programme. *PLoS ONE*, 15(4), e0222733. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222733>. EDN: <https://elibrary.ru/TDFMPW>
15. Hu, W., Gao, D., Liao, S., Cheng, S., Jia, J., & Xu, W. (2023). Identification of a pleiotropic QTL cluster for Fusarium head blight resistance, spikelet compactness, grain number per spike and thousand-grain weight in common wheat. *The Crop Journal*, 11(2), 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.09.007>. EDN: <https://elibrary.ru/ADMVfy>

16. Kaur, B., Mavi, G. S., Gill, M. S., & Saini, D. K. (2020). Utilization of KASP technology for wheat improvement. *Cereal Research Communications*, 48, 409–421. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00057-6>. EDN: <https://elibrary.ru/GQ-KVZW>
17. Li, H., Zhou, Y., Xin, W., Wei, Y., Zhang, J., & Guo, L. (2019). Wheat breeding in northern China: Achievements and technical advances. *The Crop Journal*, 7(6), 718–729. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2019.09.003>. EDN: <https://elibrary.ru/DNLEMF>
18. Li, T., Deng, G., Su, Y., Yang, Z., Tang, Y., Wang, J., Qiu, X., Pu, X., Li, J., Liu, Z., et al. (2021). Identification and validation of two major QTLs for spike compactness and length in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) showing pleiotropic effects on yield-related traits. *Theoretical and Applied Genetics*, 134, 3625–3641. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03918-8>. EDN: <https://elibrary.ru/UMYBYR>
19. Lozada, D. N., & Carter, A. H. (2020). Genomic selection in winter wheat breeding using a recommender approach. *Genes*, 11(7), 779. <https://doi.org/10.3390/genes11070779>. EDN: <https://elibrary.ru/UDBBXZ>
20. Meher, P. K., Rustgi, S., & Kumar, A. (2022). Performance of Bayesian and BLUP alphabets for genomic prediction: Analysis, comparison and results. *Heredity*, 128, 519–530. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00539-9>. EDN: <https://elibrary.ru/OMFGUO>
21. Mourad, A. M. I., Sallam, A., Belamkar, V., Wegulo, S., Bowden, R., Jin, Y., Mahdy, E., Bakheit, B., El-Wafaa, A. A., Poland, J., & Baenziger, P. S. (2018). Genome-wide association study for identification and validation of novel SNP markers for Sr6 stem rust resistance gene in bread wheat. *Frontiers in Plant Science*, 9, 380. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00380>
22. Nishio, M., & Satoh, M. (2015). Genomic best linear unbiased prediction method including imprinting effects for genomic evaluation. *Genetics Selection Evolution*, 47, 32. <https://doi.org/10.1186/s12711-015-0091-y>. EDN: <https://elibrary.ru/BEXBHM>
23. Potapova, N. A., Zlobin, A. S., Leonova, I. N., Salina, E. A., & Tsepilov, Y. A. (2024). The BLUP method in evaluation of breeding values of Russian spring wheat lines using micro- and macroelements in seeds. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 28(4), 456–462. <https://doi.org/10.18699/vjgb-24-51>. EDN: <https://elibrary.ru/VRSSUH>
24. Pototskaya, I. V., Shepelev, S. S., Turuspekov, Y. K., Morgounov, A. I., Chursin, A. S., Kovalchuk, A. M., Savin, T. V., & Shamanin, V. P. (2024). Breeding and genetic evaluation of international winter wheat collection under conditions

- of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 6(16), [страницы не указаны]. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-995>. EDN: <https://elibrary.ru/LMBBIY>
25. Resende, M. D. V., & Alves, R. S. (2020). Linear, generalized, hierarchical, Bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. *Functional Plant Breeding*, 2, 1–31. <https://doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>. EDN: <https://elibrary.ru/TVJADS>
26. Silva, C. M., Mezzomo, H. C., Alves, R. S., de Resende, M. D. V., & Nardino, M. (2023). Optimizing selection of wheat genotypes through simulated individual BLUP and modified simulated individual BLUP. *Agronomy Journal*, 115(3), 1237–1247. <https://doi.org/10.1002/agj2.21289>. EDN: <https://elibrary.ru/RGBIMJ>
27. Signorini, V. S., e Silva, C. M., Lima, G. W., Vieira, E. F. T., Mezzomo, H. C., Casagrande, C. R., & Nardino, M. (2024). Parental selection proposal strategy for recurrent selection in tropical wheat breeding. *Agronomy Journal*, 116(1), 36–50. <https://doi.org/10.1002/agj2.21505>. EDN: <https://elibrary.ru/LLHCQY>
28. Sinha, D., Maurya, A. K., Abdi, G., Majeed, M., Agarwal, R., Mukherjee, R., Ganguly, S., Aziz, R., Bhatia, M., Majgaonkar, A., et al. (2023). Integrated genomic selection for accelerating breeding programs of climate-smart cereals. *Genes*, 14, 1484. <https://doi.org/10.3390/genes14071484>. EDN: <https://elibrary.ru/FYSKPY>
29. Song, L., Wang, R., Yang, X., Zhang, A., & Liu, D. (2023). Molecular markers and their applications in marker-assisted selection (MAS) in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agriculture*, 13, 642. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030642>. EDN: <https://elibrary.ru/TMELQN>
30. Temirbekova, S. K., Kulikov, I. M., Afanasyeva, Y. V., Beloshapkina, O. O., Kalashnikova, E. A., Kirakosyan, R. N., Dokukin, P. A., Kucher, D. E., Latati, M., & Rebouh, N. Y. (2021). The evaluation of winter wheat adaptation to climate change in the Central Non-Black Region of Russia: Study of the gene pool resistance of wheat from the N. I. Vavilov Institute of Plant Industry (VIR) world collection to abiotic stress factors. *Plants*, 10, 2337. <https://doi.org/10.3390/plants10112337>. EDN: <https://elibrary.ru/DNYFJL>
31. Yang, C. J., Ladejobi, O., Mott, R., Powell, W., & Mackay, I. (2022). Analysis of historical selection in winter wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 135, 3005–3023. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04163-3>. EDN: <https://elibrary.ru/DTZVAL>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Потоцкая Инна Владимировна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация
iv.pototskaya@omgau.org*

Шепелев Сергей Сергеевич, канд. с.-х. наук, доцент, зав. лабораторией генетики зерновых культур

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация
ss.shepelev@omgau.org*

Чурсин Александр Сергеевич, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства полевых культур

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация
as.chursin@omgau.org*

Ковальчук Александр Максимович, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация
am.kovalchuk2032@omgau.org*

Шаманин Владимир Петрович, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

*Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация
vp.shamanin@omgau.org*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inna V. Pototskaya, Dr. Sc. (Agriculture), Assistant Professor, Professor of the Chair of Agronomy, Breeding, and Seed Production

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

iv.pototskaya@omgau.org

SPIN-code: 9601-7910

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3574-2875>

ResearcherID: AAC-4902-2020

Scopus Author ID: 57194657673

Sergey S. Shepelev, Cand. Sc. (Agriculture), Head of the laboratory of grain crops genetics

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

ss.shepelev@omgau.org

SPIN-code: 3763-3878

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4282-8725>

ResearcherID: E-4876-2018

Scopus Author ID: 55574945000

Alexandr S. Chursin, Cand. Sc. (Agriculture), Head of the laboratory of field crops breeding and seed production

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

as.chursin@omgau.org

SPIN-code: 3648-1744

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6797-6145>

Scopus Author ID: 5697164100

Alexandr M. Kovalchuk, Post Graduate Student

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

am.kovalchuk2032@omgau.org

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8371-7243>

Vladimir P. Shamanin, Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Professor of the Chair of Agronomy, Breeding, and Seed Production

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

vp.shamanin@omgau.org

SPIN-code: 1787-0970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-9957>

ResearcherID: AAC-3913-2020

Scopus Author ID: 37113094900

Поступила 30.01.2025

После рецензирования 05.03.2025

Принята 14.04.2025

Received 30.01.2025

Revised 05.03.2025

Accepted 14.04.2025

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ**AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE**

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645

EDN: LEDGBH

УДК 631.8:633.72(470.62+262.5)



Научная статья

**СОДЕРЖАНИЕ МАРГАНЦА
В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ (CAMELLIA SINENSIS (L.)
O. KUNTZE) СОРТА КОЛХИДА НА ФОНЕ
ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ
УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***А.В. Великий****Аннотация***

Обоснование. Элементный состав чая определяет не только его пищевкусовые свойства, но и является источником основных элементов, необходимых для нормального функционирования нашего организма, так как в современном мире мы часто сталкиваемся с дефицитом важных элементов в результате несбалансированного питания.

Особое место в чае занимают микроэлементы, к которым относятся железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn). Чайные растения накапливают большие количества Mn в листьях, что может являться важным источником этого микроэлемента в пищевом рационе человека. Однако необходимо отметить, что чрезмерное потребление чая может привести к избыточному поступлению марганца в организм.

Впервые в субтропической зоне России были изучены вопросы взаимодействия марганца и корневого применения ряда важнейших микроэлементов

(Mg, Ca, S, Zn, B), были выявлены закономерности их влияния на содержание марганца в листьях чайного растения, также дана оценка влияния метеорологических факторов на накопление марганца.

Цель исследования. Определение закономерностей поступления соединений марганца из почвы и его накопление в листьях растений чая на фоне разного минерального питания, с точки зрения пищевой безопасности сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методы. Исследования были проведены в зоне Черноморского побережья Краснодарского края на чайной плантации сорта Колхида. Опыт включает 7 вариантов: контрольный и 6 вариантов с микроэлементами.

По вариантам опыта проводили отборы зрелых листьев и ювенильных побегов (3-листная флеш) в течение вегетации в период 2012–2023 гг. Пробо-подготовку листьев осуществляли ускоренным методом кислотного (мокрого) озоления по К.Е. Гинзбург и др. (1963).

Результаты. Установлено, что в зрелых листьях минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг, и была выявлена прямая связь содержания марганца с суммой осадков $r=0,42$. Уровень марганца в 3-листной флеш колебался от 476 в первую волну роста до 1246 мг/кг в конце периода сбора флешей, и была установлена прямая корреляционная связь содержания марганца со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$.

Выявлено, что применение бора, несмотря на повышение урожайности, привело к снижению содержания марганца в ювенильных побегах на 11,7–16,7 % в июле-августе и на 23,6 % в сентябре по сравнению с контрольной группой.

Заключение. Полученные результаты показывают сложную взаимосвязь между содержанием марганца, климатическими условиями и применением удобрений.

Ключевые слова: чай; тяжелые металлы; концентрация марганца; влияние удобрений; зрелый лист; ювенильный побег; сезонная и годовая динамики; корреляционная связь

Для цитирования. Великий, А. В. (2025). Содержание марганца в листьях чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) сорта Колхида на фоне применения различных видов удобрений в условиях субтропиков Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 366–382. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645>

Original article

MANGANESE CONTENT IN TEA LEAVES (CAMELLIA SINENSIS (L.) O. KUNTZE) OF THE COLCHIS VARIETY AGAINST THE BACKGROUND OF THE USE OF VARIOUS TYPES OF FERTILIZERS IN THE SUBTROPICAL CONDITIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Velikii

Abstract

Background. The elemental composition of tea determines not only its food-flavoring properties, but is also a source of essential elements necessary for the normal functioning of our body, as in the modern world we often face a shortage of important elements as a result of an unbalanced diet.

A special place in tea is occupied by trace elements, which include iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn). Tea plants accumulate large amounts of Mn in their leaves, which may be an important source of this trace element in the human diet. However, it should be noted that excessive consumption of tea can lead to excessive intake of manganese into the body.

For the first time in the subtropical zone of Russia, the interaction of manganese and the root application of a number of important trace elements (Mg, Ca, S, Zn, B) were studied, patterns of their influence on the manganese content in the leaves of the tea plant were identified, and the influence of meteorological factors on the accumulation of manganese was assessed.

Purpose. To determine the patterns of the intake of manganese compounds from the soil and its accumulation in the leaves of tea plants against the background of different mineral nutrition, from the point of view of food safety of agricultural products.

Materials and methods. The research was conducted in the area of the Black Sea coast of the Krasnodar Territory on a Colchis tea plantation. The experience includes 7 options: control and 6 options with trace elements. According to the experimental variants, mature leaves and juvenile shoots (3-leaf flush) were selected during the growing season in the period 2012-2023. The sample preparation of the leaves was carried out by the accelerated method of acid (wet) ozonization according to K.E. Ginzburg et al. (1963).

Results. It was found that the minimum manganese content in mature leaves was 1290 mg/kg, and the maximum was 3705 mg/kg, and a direct relationship was found between the manganese content and precipitation $r=0.42$. The manganese level in the 3-leaf flask ranged from 476 mg/kg in the first growth wave to 1246 mg/kg at the end of the flask collection period, and a direct correlation was established between the manganese content and the monthly average temperature $r=0.56$. It was revealed that the use of boron, despite the increase in yield, led to a decrease in the manganese content in juvenile shoots by 11.7–16.7% in July-August and by 23.6% in September compared with the control group.

Conclusion. The results show a complex relationship between manganese content, climatic conditions, and fertilizer application.

Keywords: tea; heavy metals; copper concentration; fertilizer effect; Mature leaf; juvenile shoot; seasonal and annual dynamics

For citation. Velikii, A. V. (2025). Manganese content in tea leaves (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) of the Colchis variety against the background of the use of various types of fertilizers in the subtropical conditions of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 366-382. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1645>

Введение

Чай, это ароматный напиток, завоевавший сердца миллионов людей по всему миру. Его богатый вкус, аромат и безопасность – результат сложного взаимодействия сотен компонентов, содержащихся в листьях чайного растения [21], наличие которых также зависит от множества факторов: географических [8; 10] и сезонных изменений [2; 11], генетических вариаций [13, 15], обработки во время производства [6], а также от элементного состава [2; 4; 7].

Чай является богатым источником антиоксидантов, защищающих наш организм от свободных радикалов и способствующих общему оздоровлению. В чайном напитке содержится большое количество основных элементов, таких как магний (Mg), фосфор (P), сера (S), калий (K), кальций (Ca), марганец (Mn), железо (Fe) и цинк (Zn) [12]. Питательные вещества необходимы растениям для роста и развития, метаболических процессов, повышения урожайности, устойчивости к стрессам и профилактики заболеваний и т. д. [2; 5; 16]. Наличие их в чае делает его ценным продуктом питания, так как в современном мире мы часто сталкиваемся с дефицитом этих важных элементов в результате несбалансированного питания, и обработки продуктов в процессе их приготовления [9; 18], а они необходимы для нормального функционирования нашего организма. Однако из-за

загрязнения окружающей среды чай может содержать помимо полезных веществ, ещё и целый ряд токсичных, таких как свинец, кадмий, ртуть и другие тяжелые металлы, которые, несмотря на их важность для роста и развития растения, могут представлять потенциальную опасность для человека при чрезмерном употреблении, что делает актуальными вопросы безопасности пищевых продуктов, чтобы гарантировать, что максимально допустимые их количества в рационе не будут превышены [14; 23].

Изучение состава чая продолжается для понимания взаимосвязи между химическими компонентами и его вкусовыми качествами. Среди множества питательных элементов, необходимых для полноценного развития, особое место занимают микроэлементы, к которым относятся железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu) и марганец (Mn) [2; 4]. При этом избыток, как и недостаток элементов питания, может быть губителен для растений, вызывая токсические реакции и нарушая нормальное функционирование организмов [2; 4].

Марганец, являясь одним из ключевых микроэлементов, необходим для нормального развития большинства растений. Марганец является кофактором для ферментов нитритредуктазы и гидроксиламинредуктазы, которые играют ключевую роль в превращении нитратов в аммиак - необходимый строительный блок для белков и других азотсодержащих соединений, а также требуется для производства ароматических аминокислот и вторичных метаболитов, таких как лигнин и флавоноиды [22].

По отношению к накоплению марганца существуют растения, способные аккумулировать значительные его количества в своих тканях, не проявляя признаков токсичности. Такие растения могут накапливать более 1000 мг марганца на 1 кг сухого веса в надземных частях [20]. Одним из примеров гипераккумуляторов марганца являются чайные растения (*Camellia sinensis*), поэтому чайные растения накапливают большие количества Mn в своих надземных тканях, особенно в листьях [17]. Благодаря своей способности накапливать большие количества марганца, чай является важным источником этого микроэлемента в пищевом рационе человека. Однако необходимо отмечать, что чрезмерное потребление чая может привести к избыточному поступлению марганца в организм.

Исследования марганца на черноморском побережье России были начаты в 2000-е годы. Было установлено его содержание в почвах чайных плантаций и растениях чая, определены ориентировочные градации обеспеченности почв подвижным марганцем и размер его ежегодного выноса с урожаем [2; 4]. При этом вопросы взаимодействия марганца с рядом важнейших микроэлементов (Mg, Ca, S, Zn, B), которые вносятся в почву в качестве удобрений, не

были охвачены исследованиями. В этой связи актуально изучение корневого внесения этих элементов в почву и выявление закономерностей их влияния на содержание марганца в листьях чайного растения. Это будет способствовать внедрению новых эффективных видов и форм удобрений в практику чаеводства, которая позволит в дальнейшем разработать химическую формулу многокомпонентного вида удобрений для чайного растения, определяющие стабильность урожаев, качество и безопасность получаемой продукции.

Целью исследования было определение закономерностей поступления соединений марганца из почвы и его накопление в листьях растений чая на фоне разного минерального питания, с точки зрения пищевой безопасности сельскохозяйственной продукции.

Материалы и методики исследования

Исследования были проведены в зоне Черноморского побережья Краснодарского края на многолетнем опытном участке производственной чайной плантации сорта Колхида (пос. Уч-Дере, Сочи, Краснодарский край, 43,69° с. ш., 39,64° в. д.), 1983 года закладки, включенном в географическую сеть опытов с удобрениями. Климат региона - влажный субтропический со среднегодовой температурой в пределах 12,8-16,5 °С, годовое количество осадков 1313–2098 мм. Опыт проводится на бурых лесных кислых окультуренных почвах согласно классификации и диагностики почв СССР [3]. В соответствии с WRB почвы классифицировались как Cambicols [19]. Исходно почвы характеризовались высоким содержанием валового марганца от 1757 до 1884 мг/кг [4].

Изучение микроэлементов в рамках действующего опыта было начато в 2003 году. Схема опыта, дозы, периоды внесения удобрений, а также периоды последствий представлены в таблице 1. Опыт включает 7 вариантов: контрольный и 6 вариантов с микроэлементами, которые вносились в почву в виде чистых солей. Вариант смесь – это совместное внесение сульфата цинка, сульфата магния и борной кислоты, в дозах каждого из вариантов.

Исследования проводились на выровненном агрофоне, содержание подвижных форм фосфора и калия согласно грациям обеспеченности почв находилось на высоком уровне. Опытные делянки площадью 10 м² представлены в трёхкратной повторности для каждого варианта. Ежегодное внесение микроудобрений выполнялось на фоне внесения оптимальных для растений чая доз макроудобрений N240P70K90 в весенний период (апрель). С 2022 г. на всех вариантах изучается эффект последствий от вносимых ранее микроэлементов.

Таблица 1.

**Схема опыта по изучению эффективности микроэлементов
на чайной плантации**

Вариант	Вид удобрения	Доза	Период внесения
Контроль	NPK	N240P70K90	2003-2024
Mg	сульфат магния	60	2003-2015
S	кристаллическая сера	1000	2003-2015
Zn	сульфат цинка	4,3	2003-2016
B	борная кислота	6	2003-2021
Ca	кальцийсодержащее природное вещество	100	2003-2015
совместное внесение	Zn+B+Mg	4,3+6+60	2003-2022

По вариантам опыта проводили отборы зрелых листьев и ювенильных побегов (3-листная флеш) в течение вегетации в период 2012–2023 гг. Содержание марганца определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КВАНТ – АФА (Россия). [1], пробоподготовка образцов к исследованию проводилось методом кислотного (мокрого) озоления [1]. Данные обрабатывали с помощью описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0,95$).

Результаты исследования и обсуждение

По нашим данным содержание марганца в зрелом листе сильно варьирует как в годовой динамике, так и в сезонной, что объясняется различием метеорологических условий, применяемых удобрений, а также возрастом самого листа (рис. 1). В годовой динамике минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг, что в 2,87 раз выше минимального значения (рис. 1).

В сезонной динамике минимальные значения марганца отмечены в листьях трёхмесячного возраста в июле, а максимальные для вариантов контроль, магний, бор отмечены в конце периода листосбора в сентябре, в марте месяце на этих вариантах отмечено снижение содержания марганца в листьях на 5–17 %. Для вариантов сера и кальций максимальные значения марганца отмечены в марте месяце. Для варианта цинк и варианта с совместным применением цинка, бора и магний максимальные значения марганца установлены в сентябре месяце, и такой высокий уровень его содержания отмечен и в десятимесячном листе в марте (рис. 1).

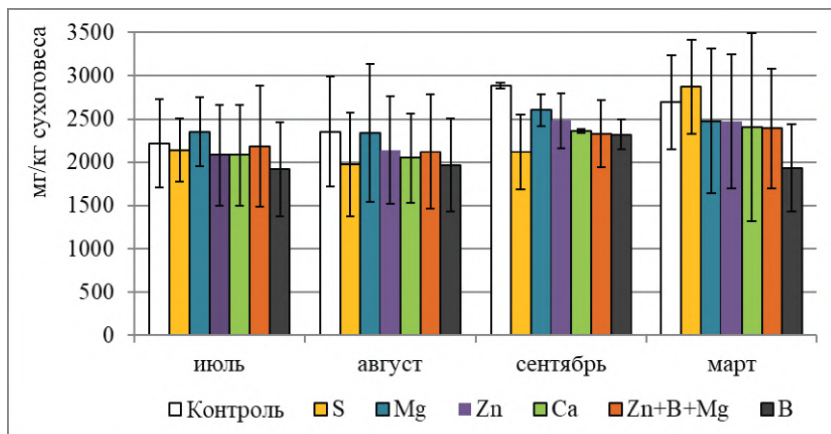


Рис. 1. Среднее содержание марганца (Mn) в зрелых листьях чая по периодам вегетации, мг/кг (2012–2024 гг.)

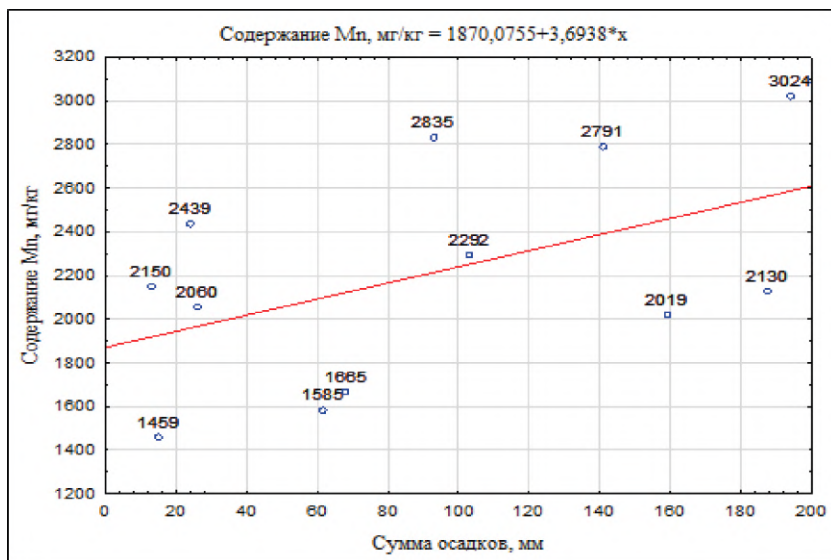


Рис. 2. Содержание марганца (усредненные данные) в листьях чая в зависимости от метеорологических условий в 2012–2024 гг.

Специфика поглощения марганца корнями растений чая зависит от метеорологических условий, поэтому в динамике многолетних исследований

были выявлены существенные колебания концентрации марганца в зрелых листьях. Корреляционный анализ показал прямую связь содержания марганца в зрелых листьях с суммой осадков $r=0,42$, и обратную связь со среднемесячными показателями температуры $r=-0,20$, которая является низкой и малодостоверной. На представленном графике показан рост уровня марганца в зрелом листе в зависимости от выпавшей суммы осадков (рис. 2). Так увеличение количества осадков с 0 до 200 мм в месяц в среднем повышало содержание марганца в зрелых листьях в 1,33 раза (рис. 2).

Качество и безопасность чая напрямую зависят от химического состава его 3-листной флешки. Согласно исследованиям, концентрация марганца в 3-листной флешке чайного растения может значительно варьироваться в зависимости от времени сбора урожая и применяемых удобрений. Уровень марганца колебался от 476 до 1246 мг/кг (рис. 3). Также установлена четкая сезонная динамика содержания этого элемента: минимальные значения были зафиксированы в мае, а максимальные – в период с июля по август для низкоурожайных вариантов (контроль, удобрения с магнием и серой), и в сентябре для высокоурожайных вариантов (удобрения с цинком, кальцием, а также при совместном внесении цинка, бора и магния) (рис. 3).

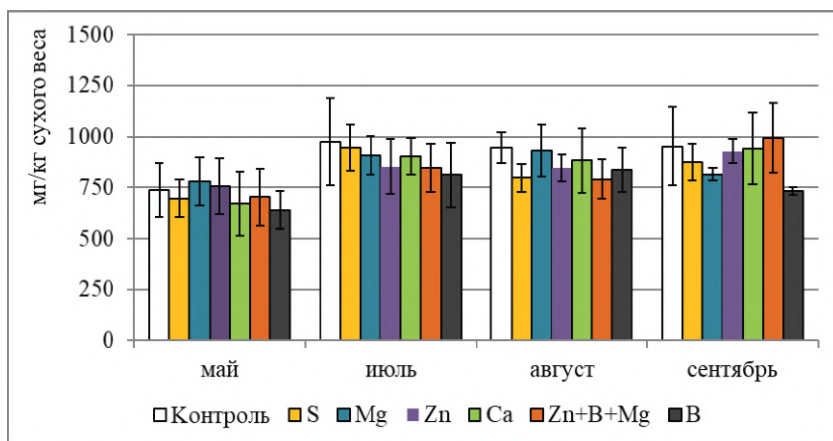


Рис. 3. Среднее содержание марганца (Mn) в 3-листных флешках чая по периодам вегетации, мг/кг (2013–2024 гг.)

Вариант с применением бора ежегодно давал максимальную урожайность, которая в свою очередь приводила к снижению концентрации

марганца в молодых побегах. В июле-августе это снижение составляло 11,7–16,7 %, а в сентябре – 23,6 % по сравнению с контрольным вариантом (рис. 3), что обусловлено повышенной побегообразовательной активностью на данном варианте из-за чего происходило перераспределение поступающих веществ, приводящее к снижению их содержания.

Корреляционный анализ показал прямую связь содержания магния в 3-листной флешки со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$, и прямую связь с суммой осадков $r=0,13$, которая является низкой и мало-достоверной. На представленном графике показано, что повышение средне-месячной температуры с 16–20 °С до 22–26 °С в среднем увеличивало содержание марганца в 1,16 раз или на 16 % (рис. 4).

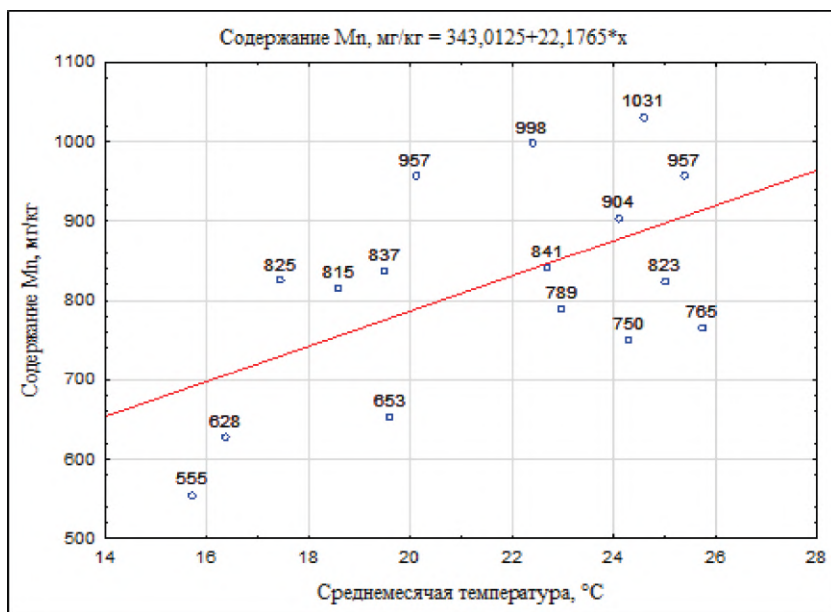


Рис. 4. Содержание марганца (усредненные данные) в 3-листной флешки чая в различные годы (2012–2024) в зависимости от метеорологических условий

Исследования показали существенную разницу содержания марганца в зрелых листьях и 3-листной флешки чайного растения в 1,8–2,5 раза (рис. 5). Высокая скорость роста молодых побегов (7–10 дней) лишь проводят к выносу марганца во время сбора урожая, в то время как накопление его в зрелых листьях, скорее всего, связано с его участием в процессе фотосинтеза.

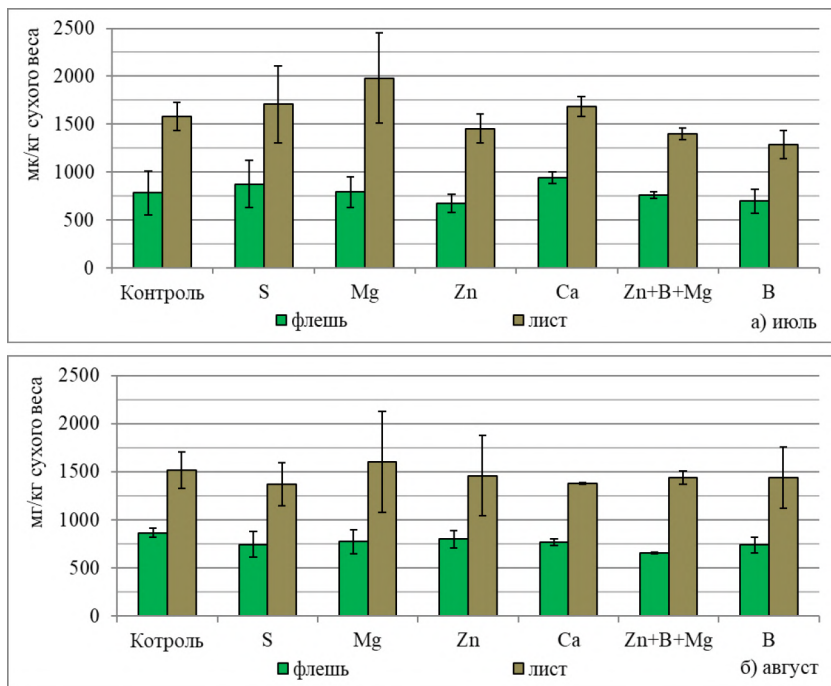


Рис. 5. Содержание марганца в листьях чая по вариантам опыта в различные листосборные периоды (волны роста)

Заключение

Полученные результаты показывают сложную взаимосвязь между содержанием марганца, климатическими условиями и применением удобрений. В годовой динамике в зрелых листьях минимальное содержание марганца составило 1290 мг/кг, а максимальное 3705 мг/кг. В сезонной динамике минимальные значения марганца отмечены в листьях трёхмесячного возраста в июле, для максимальных значений не было выявлено одного четко выраженного месяца. Корреляционный анализ показал прямую связь содержания марганца в зрелых листьях с суммой осадков $r=0,42$. Было выявлено, что увеличение количества осадков с 0 до 200 в месяц в среднем повышало содержание марганца в зрелых листьях в 1,33 раза. Уровень марганца в 3-листной флешке колебался от 476 в первую волну роста до 1246 мг/кг в конце периода сбора флешей. Выявлено, что применение бора, несмотря на повышение урожайности, привело к снижению

содержания марганца в ювенильных побегах на 11,7–16,7 % в июле-августе и на 23,6 % в сентябре по сравнению с контрольной группой, что обусловлено повышенной побегообразовательной активностью на данном варианте. Установлена прямая корреляционная связь содержания магния в 3-листной флешки со среднемесячными показателями температуры $r=0,56$, повышение среднемесячной температуры с 16–20 °С до 22–26 °С в среднем увеличивало содержание марганца в 1,16 раз или на 16 %. Выявлена существенная разница содержания марганца в зрелых листьях и 3-листной флешки чайного растения в 1,8–2,5 раза.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ ШЦ РАН FGRW-2024-0001, № государственной регистрации 124022000098-6.

Список литературы

1. *Агрохимические методы исследования почв* / отв. ред. А. В. Соколов. (1975). Москва: Наука. 759 с.
2. Белоус, О. Г. (2006). *Микроэлементы на чайных плантациях субтропиков России*. Краснодар: КГАУ. 164 с. EDN: <https://elibrary.ru/VUFXWN>
3. *Классификация и диагностика почв СССР* / авт.-сост. В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. И. Иванова и др. (1977). Москва: Колос. 223 с.
4. Малоюкова, Л. С. (2011). *Микроэлементы в системе почва — чайное растение в условиях субтропиков России*. Сочи. 114 с. ISBN: 978-5-904533-13-7. EDN: <https://elibrary.ru/UIDFDZ>
5. Малоюкова, Л. С., Притула, З. В., Козлова, Н. В., Керимзаде, В. В., & Великий, А. В. (2016). О формировании устойчивости у растений чая (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) при недостаточном водообеспечении на фоне корневого внесения кальция в виде природного удобрения. *Сельскохозяйственная биология*, 51(5), 673–679. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.673eng>. EDN: <https://elibrary.ru/WZJQIT>
6. Малоюкова, Л. С., Цюпко, Т. Г., Притула, З. В., Воронова, О. Б., Гушаева, К. С., & Великий, А. В. (2018). Состав и содержание флавоноидов в готовом чае, выращенном в условиях Черноморского побережья Краснодарского края. В *Сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума «Фенольные соединения: функциональная роль в растениях»* (№ 3, с. 272–277). Москва: PRESS-BOOK.RU. EDN: <https://elibrary.ru/UVZCRL>

7. Рындин, А. В., Малиюкова, Л. С., Цюпко, Т. Г., Воронова, О. Б., & Гущаева, К. С. (2018). Особенности элементного состава Краснодарского чая сорта Колхида. *Новые технологии*, (4), 224–229. EDN: <https://elibrary.ru/YXRFSX>
8. Borse, B. B., Rao, L. J., Nagalakshmi, S., & Krishnamurthy, N. (2002). Finger-print of black teas from India: Identification of the regio-specific characteristics. *Food Chemistry*, 79, 419–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00191-7)
9. Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
10. Diniz, P. H., Pistonesi, M. F., Alvarez, M. B., Band, B. F., & Araujo, M. C. (2015). Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA). *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.012>
11. Ercisli, S., Orhan, E., Ozlem, S., Sengul, M., Gungor, N., & Orhan, E. (2008). Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* clone Derepazari 7) grown in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 46, 10–11.
12. Malik, J., Szakova, J., Drabek, O., Balik, J., & Kokoska, L. (2008). Determination of certain micro and macroelements in plant stimulants and their infusions. *Food Chemistry*, 111(2), 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.009>
13. Pang, Y., Abeyasinghe, I. S., He, J., He, X., Huhman, D., Mewan, K. M., Sumner, L. W., Yun, J., & Dixon, R. A. (2013). Functional characterization of proanthocyanidin pathway enzymes from tea and their application for metabolic engineering. *Plant Physiology*, 161(3), 1103–1116. <https://doi.org/10.1104/pp.112.212050>. EDN: <https://elibrary.ru/XZJXUM>
14. Peng, J., Aved, A., Seetharaman, G., & Palaniappan, K. (2017). Multi-view boosting with information propagation for classification. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2016.2637881>
15. Samarina, L., Malyukova, L., Wang, S., Li, Y., Doroshkov, A., Bobrovskikh, A., et al. (2024). Nitrogen deficiency differentially affects lignin biosynthesis genes and flavanols accumulation in tolerant and susceptible tea genotypes (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *Plant Stress*, 14, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100581>. EDN: <https://elibrary.ru/TRQWKD>
16. Shahzad, Z., & Amtmann, A. (2017). Food for thought: How nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.008>

17. Tseng, W., & Lai, H. (2022). Comprehensive analysis revealed the specific soil properties and foliar elements respond to the quality composition levels of tea (*Camellia sinensis* L.). *Agronomy*, 12(3), 670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030670>. EDN: <https://elibrary.ru/WBOVIO>
18. White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets – Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine. *New Phytologist*, 182, 49–84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YCCVMX>
19. Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports – FAO, (106)*. Rome. 181 c.
20. Xue, S. G., Chen, Y. X., Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Lin, Q., & Fernando, D. R. (2004). Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae). *Environmental Pollution*, 131(3), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.011>
21. Yashin, A. Y., Nemzer, B. V., Combet, E., & Yashin, Y. I. (2015). Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: A review. *Journal of Food Research*, 4(3), 56–88. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n3p56>
22. Zaman, F., Zhang, E., Ihtisham, M., Ilyas, M., et al. (2023). Metabolic profiling, pigment component responses to foliar application of Fe, Zn, Cu, and Mn for tea plants (*Camellia sinensis*). *Scientia Horticulturae*, 319, 1. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112149>. EDN: <https://elibrary.ru/LOWPMV>
23. Zhang, L., Zhang, J., Chen, L., Liu, T., Ma, G., & Liu, X. (2018). Influence of manufacturing process on the contents of iron, copper, chromium, nickel and manganese elements in Crush, Tear and Curl black tea, their transfer rates and health risk assessment. *Food Control*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.030>

References

1. *Agrochemical methods of soil research* / ed. by A. V. Sokolov. (1975). Moscow: Nauka. 759 p.
2. Belous, O. G. (2006). *Microelements in tea plantations of the subtropics of Russia*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. 164 p. EDN: <https://elibrary.ru/VUFXWN>
3. *Classification and diagnosis of soils of the USSR* / comp. by V. V. Egorov, V. M. Fridland, E. I. Ivanova et al. (1977). Moscow: Kolos. 223 p.
4. Malyukova, L. S. (2011). *Microelements in the soil-tea plant system under the conditions of the Russian subtropics*. Sochi. 114 p. ISBN: 978-5-904533-13-7. EDN: <https://elibrary.ru/UIDFDZ>

5. Malyukova, L. S., Pritula, Z. V., Kozlova, N. V., Kerimzade, V. V., & Velikiy, A. V. (2016). On the formation of resistance in tea plants (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) under insufficient water supply against the background of root application of calcium as a natural fertilizer. *Agricultural Biology*, 51(5), 673–679. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.673eng>. EDN: <https://elibrary.ru/WZJQIT>
6. Malyukova, L. S., Tsyupko, T. G., Pritula, Z. V., Voronova, O. B., Gushaeva, K. S., & Velikiy, A. V. (2018). Composition and content of flavonoids in finished tea grown under the conditions of the Black Sea coast of Krasnodar Krai. In *Collection of scientific articles based on the materials of the X International Symposium “Phenolic compounds: functional role in plants”* (No. 3, pp. 272–277). Moscow: PRESS-BOOK.RU. EDN: <https://elibrary.ru/UVZCRL>
7. Ryndin, A. V., Malyukova, L. S., Tsyupko, T. G., Voronova, O. B., & Gushaeva, K. S. (2018). Features of the elemental composition of Krasnodar tea of the Kolkhida variety. *New Technologies*, (4), 224–229. EDN: <https://elibrary.ru/YXRFSX>
8. Borse, B. B., Rao, L. J., Nagalakshmi, S., & Krishnamurthy, N. (2002). Fingerprint of black teas from India: Identification of the regio-specific characteristics. *Food Chemistry*, 79, 419–424. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00191-7)
9. Bouis, H. E., & Saltzman, A. (2017). Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. *Global Food Security*, 12, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.009>
10. Diniz, P. H., Pistonesi, M. F., Alvarez, M. B., Band, B. F., & Araujo, M. C. (2015). Simplified tea classification based on a reduced chemical composition profile via successive projections algorithm linear discriminant analysis (SPA-LDA). *Journal of Food Composition and Analysis*, 39, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.012>
11. Ercisli, S., Orhan, E., Ozlem, S., Sengul, M., Gungor, N., & Orhan, E. (2008). Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, plant nutritional elements, and fatty acids in tea leaves (*Camellia sinensis* var. *sinensis* clone Derepazari 7) grown in Turkey. *Pharmaceutical Biology*, 46, 10–11.
12. Malik, J., Szakova, J., Drabek, O., Balik, J., & Kokoska, L. (2008). Determination of certain micro and macroelements in plant stimulants and their infusions. *Food Chemistry*, 111(2), 520–525. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.009>
13. Pang, Y., Abeysinghe, I. S., He, J., He, X., Huhman, D., Mewan, K. M., Sumner, L. W., Yun, J., & Dixon, R. A. (2013). Functional characterization of proanthocyanidin pathway enzymes from tea and their application for metabolic

- engineering. *Plant Physiology*, 161(3), 1103–1116. <https://doi.org/10.1104/pp.112.212050>. EDN: <https://elibrary.ru/XZJXUM>
14. Peng, J., Aved, A., Seetharaman, G., & Palaniappan, K. (2017). Multi-view boosting with information propagation for classification. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. <https://doi.org/10.1109/TNN-LS.2016.2637881>
 15. Samarina, L., Malyukova, L., Wang, S., Li, Y., Doroshkov, A., Bobrovskikh, A., et al. (2024). Nitrogen deficiency differentially affects lignin biosynthesis genes and flavanols accumulation in tolerant and susceptible tea genotypes (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). *Plant Stress*, 14, 100581. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100581>. EDN: <https://elibrary.ru/TRQWKD>
 16. Shahzad, Z., & Amtmann, A. (2017). Food for thought: How nutrients regulate root system architecture. *Current Opinion in Plant Biology*, 39, 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.008>
 17. Tseng, W., & Lai, H. (2022). Comprehensive analysis revealed the specific soil properties and foliar elements respond to the quality composition levels of tea (*Camellia sinensis* L.). *Agronomy*, 12(3), 670. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030670>. EDN: <https://elibrary.ru/WBOVIO>
 18. White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets — Iron, Zinc, Copper, Calcium, Magnesium, Selenium and Iodine. *New Phytologist*, 182, 49–84. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>. EDN: <https://elibrary.ru/YCCVMX>
 19. Working Group WRB. (2014). *World reference base for soil resources 2014: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports — FAO, (106)*. Rome. 181 c.
 20. Xue, S. G., Chen, Y. X., Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Lin, Q., & Fernando, D. R. (2004). Manganese uptake and accumulation by the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae). *Environmental Pollution*, 131(3), 393–399. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.011>
 21. Yashin, A. Y., Nemzer, B. V., Combet, E., & Yashin, Y. I. (2015). Determination of the chemical composition of tea by chromatographic methods: A review. *Journal of Food Research*, 4(3), 56–88. <https://doi.org/10.5539/jfr.v4n3p56>
 22. Zaman, F., Zhang, E., Ihtisham, M., Ilyas, M., et al. (2023). Metabolic profiling, pigment component responses to foliar application of Fe, Zn, Cu, and Mn for tea plants (*Camellia sinensis*). *Scientia Horticulturae*, 319, 1. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112149>. EDN: <https://elibrary.ru/LOWPMV>
 23. Zhang, L., Zhang, J., Chen, L., Liu, T., Ma, G., & Liu, X. (2018). Influence of manufacturing process on the contents of iron, copper, chromium, nickel

and manganese elements in Crush, Tear and Curl black tea, their transfer rates and health risk assessment. *Food Control*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.food-cont.2018.01.030>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Великий Андрей Васильевич, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»

ул. Яна Фабрициуса, 2/28, г. Сочи, 354002, Краснодарский край, Российская Федерация

kriptooorxon@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Andrey V. Velikii, PhD in Agricultural Sciences

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences

2/28, Yan Fabricius Str., Sochi, 354002, Krasnodar Region, Russian Federation

kriptooorxon@mail.ru

Поступила 10.03.2025

После рецензирования 28.04.2025

Принята 12.05.2025

Received 10.03.2025

Revised 28.04.2025

Accepted 12.05.2025

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1230

EDN: VEIPPS

УДК 634.24:631.53:631.547.2



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ПОДВОЕВ НА ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВО ПЛОДОВ СОРТОВ СЛИВЫ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

*О.А. Никольская, А.В. Солонкин,
Е.Н. Киктева, Г.В. Касьянова*

Аннотация

Обоснование. Перед садоводами всего мира стоят задачи по интенсификации садоводства, для решения которых необходимо всестороннее исследование влияния подвоев на продуктивность и качество плодов сливы. Влияние подвоя на формирование урожая и качество плодов является важной темой в садоводстве, т.к. подвои используемые для прививки сортов могут существенно менять характеристики растения.

Цель исследования заключается в оценке влияния подвоя на продуктивность и качество плодов сливы различного происхождения в системе «сорт-подвой-среда» в засушливых условиях Нижнего Поволжья.

Материалы и методы. Объектом исследований служили сорто-подвойные комбинации сливы домашней на слаборослых клоновых и семенных подвоях высаженных на участок в 2015 году, в 2019 сорто-подвойные комбинации дали первый урожай. В статье представлены результаты исследований за 2021–2023 годы, в период полноценного вступления в плодоношение и дана комплексная оценка новых подвойных форм для косточковых культур.

Результаты. В статье представлены результаты по изучению влияния подвоев на биометрические показатели и урожайность сортов сливы. Выявлено,

что семенной подвой оказывал большее влияние, на силу роста увеличивая его до 4,3 метра, а клоновые на показатель урожайности.

Заключение. На основании полученных данных сделаны выводы, что выбор подходящего подвоя является ключевым элементом для получения высококачественного урожая сливы, обеспечивая потребности, как садоводов, так и потребителей.

Ключевые слова: сорт; подвой; комбинация; слива; продуктивность

Для цитирования. Никольская, О. А., Солонкин, А. В., Киктева, Е. Н., & Касьянова, Г. В. (2025). Влияние подвоев на особенности формирования урожая и качество плодов сортов сливы в Нижнем Поволжье. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 383-399. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1230>

Original article

THE INFLUENCE OF ROOTSTOCKS ON THE PECULIARITIES OF CROP FORMATION AND THE QUALITY OF PLUM VARIETIES IN THE LOWER VOLGA REGION

*O.A. Nikolskaya, A.V. Solonkin,
E.N. Kikteva, G.V. Kasyanova*

Abstract

Background. Gardeners all over the world face the challenges of intensifying horticulture, which require a comprehensive study of the impact of rootstocks on the productivity and quality of plum rootstocks. The influence of rootstock on crop formation and fruit quality is an important topic in horticulture, as rootstocks used for grafting varieties can significantly change the characteristics of a plant.

The **purpose** of the research is to assess the effect of rootstock on the productivity and quality of plum fruits of various origins in the “variety-rootstock-environment” system in the arid conditions of the Lower Volga region.

Materials and methods. The object of research was varietal-rootstock combinations of domestic plums on low-growing clone and seed rootstocks planted on the site in 2015, in 2019, varietal-rootstock combinations yielded the first harvest. The article presents the research results for 2021-2023, during the period of full-fledged fruiting, and provides a comprehensive assessment of new rootstock forms for stone crops.

Results. The article presents the results of studying the effect of rootstocks on biometric indicators and yield of plum varieties. It was revealed that the seed stock had a greater effect on the strength of growth, increasing it to 4.3 meters, and the clone stock on the yield index.

Conclusion. Based on the data obtained, it is concluded that choosing a suitable rootstock is a key element for obtaining a high-quality plum harvest, meeting the needs of both gardeners and consumers.

Keywords: variety; rootstock; combination; plum; productivity

For citation. Nikolskaya, O. A., Solonkin, A. V., Kikteva, E. N., & Kasyanova, G. V. (2025). The influence of rootstocks on the peculiarities of crop formation and the quality of plum varieties in the Lower Volga Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 383-399. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1230>

Введение

По ежегодному валовому сбору плодов в мире слива занимает второе место среди косточковых культур, уступая лишь персику [19]. Плоды сливы пользуются спросом во многих странах мира. Они популярны и в России. Это связано с хорошими вкусовыми качествами плодов и их большим значением для здоровья человека [20].

Лидером производства сливы является Китай, среднегодовой сбор плодов составляет 6 626 317,1 тонн в год, второе и третье место занимают Румыния и Чили, 807 170 и 426 776,28 тонн в год, Россия находится на девятом месте собирая в среднем 197 тыс. тонн с общей площади 45,8 тыс. га [15].

В России широкое распространение слива получила на юге страны (Краснодарский край, Северный Кавказ). В Нижнем Поволжье ее в основном выращивают в коллективных и приусадебных садах.

Свежие плоды сливы богаты витаминами и минералами, содержат: сахаров – до 20%, сухих веществ – до 20%, пектиновых веществ – до 2,5%, свободных кислот – до 3%, витамина С – до 22 мг/100 г, витамина В₉ – до 2,5 мг/100 г, витамина Е – до 1,0 мг/100 г. и др. По содержанию витаминов плоды сливы превосходят плоды груши, вишни, земляники, малины и яблони [2; 4; 28].

Селекционеры в различных научно-исследовательских учреждениях созданы сорта сливы разных сроков созревания, позволяющие получать свежие плоды с июля по сентябрь [6; 13; 27; 30]. Современные технологии хранения позволяют продлить потребление плодов сливы до 5 месяцев, а после переработки в течение года и более.

Основой рентабельности производства плодовой продукции является ежегодное, стабильное плодоношение, направленное на удовлетворение потребительского спроса [7]. Современные технологии в условиях интенсивного сада предполагают использование сортов, привитых на клоновые подвои, которые позволяют сформировать компактные кроны, удобные для ухода и сбора урожая, а также повысить продуктивность и качество плодов [8; 10; 21; 22; 25]. Однако не все подвои одинаково эффективно влияют на урожайные и качественные показатели плодов сливы, а также рост и развитие деревьев в саду [11; 17; 23; 26; 29; 31].

Целью исследований явилась оценка влияния подвоя на продуктивность и качество плодов поздних сортов сливы в системе «сорт-подвой-среда» в засушливых условиях Нижнего Поволжья.

Научная новизна исследования заключается в выявлении и оценке закономерностей влияния различных подвоев на урожайность и качество плодов перспективных сортов сливы в специфических почвенно-климатических условиях Нижнего Поволжья, для подбора наиболее адаптивных и продуктивных сорто-подвойных комбинации, стабилизации их плодоношения и улучшения товарных качеств плодов. Объектами исследований являются поздние сорта сливы. Выбор поздних сортов обоснован большей продуктивностью, а также большей востребованностью, т.к. срок потребления свежих плодов поздних сортов сливы может быть увеличен за счет возможности хранения последних.

Материалы и методы

Исследования проводились в лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН). Участок расположен в Дубовском районе Волгоградской области, 49°4'29" северной широты и 44°47'58" восточной долготы, в 3,5 км от реки Волга, и представлен светло-каштановыми почвами.

Объектами исследований послужили сорта сливы – Президент, Осенний сувенир, Волгоградская, клоновые подвои – ВВА-1, ВСВ-1; семенной подвой – сеянцы алычи.

Президент – сорт позднего срока созревания, сильнорослый (высота 3,5-4,0 м), самоплодный. Масса плодов варьирует от 43 до 58 г, плоды высоко транспортабельные. Сорт обладает высокой зимостойкостью и жаростойкостью, но при этом низко устойчив против болезней и вредителей.

Осенний сувенир – сорт позднего срока созревания, сильнорослый с раскидистой кроной. Масса плодов 45-50 г, транспортабельность высокая, зимостойкость и жаростойкость высокие. Лучшими опылителями являются сорта Стенлей и Анна Шпет.

Волгоградская – сорт средне-позднего срока созревания, среднерослый с широкопирамидальной кроной. Самоплодный. Масса плодов 35-45 г, транспортабельность хорошая. Зимостойкость, жаростойкость, устойчивость к болезням и вредителям высокие.

ВВА-1 – гибрид вишни войлочной и алычи. Слаборослый подвой, совместимый с алычой, сливой, персиком, абрикосом. Размножается черенкованием и отводками, не образует поросль. Отличается высокой зимостойкостью надземных и подземных частей. Устойчив к почвенному переуплотнению и переувлажнению почвы. В засушливые периоды требуется полив из-за поверхностного расположения корней. Деревья, привитые на этом подвое, отличаются скороплодностью и высокой продуктивностью. Слабая устойчивость к хлорозу и корневому раку. Средний продуктивный период культур, привитых на этом подвое, не превышает 15 лет, после чего сохранять насаждения становится не целесообразным [3; 5; 14].

ВСВ-1 – гибрид микровишни седой и вишни войлочной. Слаборослый подвой, совместимый с алычой, сливой, персиком. Хорошо размножается зелёными черенками и отводками, менее результативно размножается одревесневшими и полуодревесневшими черенками. Устойчив к хлорозу, засушливым почвам, не переносит переувлажнения почвы и затопления. Благодаря развитой корневой системе обладает хорошей якорностью. Морозостойкость корней высокая, высокая устойчивость к корневому раку [3; 5].

Сеянцы алычи – семенной подвой. Корневая система плохо переносит засуху и хорошо переувлажнение почвы. Морозостойкость корней до -12°C. В питомнике сеянцы растут быстро, но требуют дополнительных усилий на формирование для окулировки, т.к. сильно ветвятся и дают поросль. Из-за обильной поросли окулировку рекомендуется производить в корневую шейку. Чтобы избежать обильной поросли при посадке в саду место прививки рекомендуется заглубить на 10 см. Хорошая совместимость со всеми сортами сливы. Деревья высокие, урожайность высокая и стабильная.

Участок был заложен в 2015 году, схема посадки 5x2 м. Наблюдения проводились с 2016 по 2023 год. В 2019 сорто-подвойные комбинации дали первый урожай. В статье представлены результаты исследований за 2021-2023 годы, за период полноценного вступления в плодоношение. Учет

проводился на 9 сортоподвойных комбинациях (3 сорта на трех разных подвоях) в трехкратной повторности. Количество учетных деревьев, на которых проводились замеры и наблюдения, составило 27 штук [1].

Все наблюдения и учеты проводились согласно общепринятым методикам [1; 20]. Степень плодоношения отмечалось в баллах от 0 (нет урожая) до 5 (обильное плодоношение). Учет урожая проводился весовым методом при помощи аналитических весов (указать марку и страну изготовителя), качественные характеристики плодов определялись органо-лептически и при помощи рефрактометра (указать марку и страну изготовителя) в период полной спелости [20].

Погодные условия характеризовались на основании данных полученных от Волгоградского метеоцентра.

Результаты и обсуждения

Агроклиматические условия являются одним из важнейших факторов, влияющих на рост, развитие и плодоношение деревьев [16]. Территория, на которой проводились опыты, характеризуется засушливым умеренно континентальным климатом. Зимы малоснежные с оттепелями и дождями, лето жаркое и сухое. В зимний период 2021 года температура варьировала от -18°C до $+4^{\circ}\text{C}$, сопровождаясь небольшим количеством осадков в виде снега и дождя. Весна была дождливой, температура воздуха от -11°C до $+32^{\circ}\text{C}$. Лето было жарким, температура варьировала от $+13^{\circ}\text{C}$ до $+38^{\circ}\text{C}$, осадков не наблюдалось. Осень проходила с температурой от -5°C до $+18^{\circ}\text{C}$, с небольшим количеством осадков. В зимний период 2021-2022 года температура варьировала в пределах от -17°C до $+3^{\circ}\text{C}$. Декабрь был почти без осадков, январь сопровождался обильным количеством снега, февраль был снежно-дождливым. Весной температура наблюдалась от -12°C до $+25^{\circ}\text{C}$, с небольшим количеством осадков в виде снега и дождя. Летом температура варьировала от $+16^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$, осадков почти не наблюдалось. Осень, по сравнению с предыдущим годом, была более дождливой с температурой от $+31^{\circ}\text{C}$ до -4°C . Зима 2023 года выдалась более морозная с понижениями температуры до -20°C и малоснежная. В связи с периодическими оттепелями до $+5^{\circ}\text{C}$, часть осадков выпадала в виде дождя. Весной наблюдались температурные качели с колебаниями от -5°C до $+30^{\circ}\text{C}$. Весенние заморозки послужили причиной повреждения цветковых почек и уже образовавшихся бутонов на некоторых косточковых культурах, что привело к снижению урожая. При этом слива пострадала меньше всего и на ее плодоношение весенние заморозки не оказали существенного

влияния. Летом наблюдалась сухая и жаркая погода, с температурой воздуха от $+16^{\circ}\text{C}$ до $+36^{\circ}\text{C}$. Осень, наоборот, выдалась относительно прохладная, с температурой от $+27^{\circ}\text{C}$ до -7°C , и дождливая.

Не смотря на высокие колебания по температуре и влажности в период вегетации, все сорто-подвойные комбинации сливы имели хороший рост и развитие, и различались лишь в силу биологических особенностей, как сорта, так и подвоя (таблица 1).

Максимальные показатели роста и развития деревьев по всем вариантам отмечались на семенном подвое. Что закономерно, так как семенной подвой сам по себе сильнорослый [5; 9; 10; 17]. Наиболее существенная разница, подтвержденная статистически, наблюдалась по всем сортам на подвоях Алыча и ВСВ, причем наиболее наглядно это было видно по разнице площади проекции кроны. Наименьшие биометрические параметры отмечены на подвое серии ВВА. Стоит отметить, что Осенний сувенир на подвое сеянцы алычи имеет самые низкие показатели – высота дерева – 3,0 м и ширина кроны – 2,2 м, по сравнению с другими сортами. Что же касается клоновых подвоев, по высоте максимальное значение отмечалось у сливы Президент на ВВА – 2,7 м, минимальное значение у комбинации Волгоградская/ВВСВ – 2,0 м. в свою очередь по ширине кроны максимальное значение является у комбинации Волгоградская/ВВА – 2,2 м, а минимальное у комбинации Волгоградская/ВВСВ – 1,3 м (таблица 1).

Таблица 1.

**Биометрические показатели сорто-подвойных комбинаций 2023г.,
ФНЦ агроэкологии РАН**

Сорт	Подвой	Высота дерева, м	Диаметр кроны, м	Площадь про- екции кроны, м ²	Объем кроны, м ³
Волгоградская	Алыча	3,1	3,3	8,5	8,8
	ВВА-1	2,6	2,2	3,8	3,3
	ВВСВ-1	2,0	1,3	1,3	0,9
Осенний сувенир	Алыча	3,0	2,2	3,8	3,8
	ВВА-1	2,3	1,7	2,3	1,7
	ВВСВ-1	2,5	2,1	3,5	2,9
Президент	Алыча	4,3	2,9	6,6	9,5
	ВВА-1	2,7	1,6	2,0	1,8
	ВВСВ-1	2,8	1,6	2,1	1,8
НСР _{0,5}		0.14	0.10	0.19	0.17

Слива Осенний сувенир на подвое сеянцы алычи за последние два года формировала минимальный прирост. Цветение данной сорто-подвойной комбинации также было слабее, чем у других комбинаций, и как следствие, урожайность формировалась ниже.

Погодные условия периода 2021-2023 годов сильно варьировали, что позволило, на фоне существенных разниц температур и влажности, провести оценку урожайности и качества плодов изучаемых сорто-подвойных комбинаций за несколько лет (таблица 2).

За три года наблюдения продуктивность сортов Волгоградская и Президент существо росла, в то время как у сорта Осенний сувенир на всех подвоях урожайность формировалась волнообразно. Снижение урожайности данного сорта в 2022 году вероятно произошло в связи с весенними заморозками. За годы наблюдений прослеживается влияние подвоя на продуктивность привитых сортов (таблица 2). Так у сорта Волгоградская большая урожайность формировалась на подвое сеянцы алычи, в среднем на 30% выше, чем на подвоях ВВА-1 и ВСВ-1. У сортов Президент и Осенний сувенир, наоборот, большая урожайность формировалась на клоновых подвоях ВВА-1 и ВСВ-1. По сорту Осенний сувенир превышение в среднем составило 21-22 %, у сорта Президент отмечено превышение продуктивности от 12 до 16 % (таблица 2).

Таблица 2.

**Урожайность сортов сливы на разных подвоях 2021-2023гг.,
ФНЦ агроэкологии РАН**

Сорто-подвойная комбинация	Урожайность с дерева, кг				Средний вес одного плода, г			
	2021	2022	2023	Средняя	2021	2022	2023	Средний
Волгоградская/ВВА-1	5,9	9,7	15,2	10,3	33,1	33,1	33,1	33,1
Волгоградская/ВССВ-1	8,5	9,7	11,9	10,0	34,2	34,2	34,2	34,2
Волгоградская/алыча	7,4	10,1	21,9	13,1	31,9	31,9	31,9	31,9
Осенний сувенир/ВВА-1	14,1	4,9	12,5	10,5	54,1	54,1	61,3	56,5
Осенний сувенир/ВССВ-1	13,9	5,6	11,7	10,4	52,1	52,1	59,9	54,7
Осенний сувенир/алыча	13,2	5,4	6,1	8,2	47,9	47,9	48,5	48,1
Президент/ВВА-1	9,9	14,1	26,9	17,0	51,9	51,6	51,9	51,8
Президент/ВССВ-1	9,3	13,9	25,8	16,3	51,2	51,5	51,7	51,5
Президент/алыча	9,7	11,7	21,5	14,3	50,7	50,7	50,7	50,7
НСР05	0,5	0,4	0,8	0,6	2,3	2,3	2,4	2,3

Наши данные лишний раз доказывают влияние подвоя на продуктивность привитого сорта, подтверждают необходимость подбора подвоя для

раскрытия потенциала сорта и подтверждаются нашими более ранними исследованиями и наблюдениями других исследователей [7; 11; 12; 17; 18; 24].

На качественные показатели, в частности величину плодов, подвой существенного влияния не оказал, за исключением сорта Осенний сувенир. У данного сорта величина плодов на подвоях ВВА-1 и ВСВ-1 превысила пределы ошибки и составила в среднем 56,5 грамм на подвое ВВА-1 и 54,7 грамм на подвое ВСВ-1, что выше, чем на подвое сеянцы алычи на 15% и 12% соответственно (таблица 2).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что у сорто-подвойных комбинациях сливы, помимо сортовых особенностей в росте, развитии, продуктивности и качестве, подвой также оказывает существенное влияние на данные характеристики. При этом в зависимости от сорта подвой может по степени интенсивности оказывать более или менее существенное влияние. Среди изучаемых комбинаций наименьшие биометрические показатели отмечены у сорто-подвойной комбинации Волгоградская/ВССВ-1 - высота 2 м ширина кроны 1,3 метра. Наибольший прирост по высоте отмечен у сорта Президент на подвое сеянцы алычи - 4,3 метра, при этом продуктивность данной сорто-подвойной комбинации была ниже, чем на клоновых подвоях в среднем на 5 кг/дерева или на 5 т/га (при схеме размещения 1000 дер./га). Наибольшие показатели продуктивности отмечены на подвое ВВА-1 практически по всем сортам.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках государственного задания № FNFE-2025-0009 «Создание новых генотипов, сортов, форм древесных, кустарниковых, культурных растений с высокоценными признаками продуктивности, качества, устойчивостью к био- и абиострессорам с использованием классических и современных методов селекции, новые инновационные технологии в питомниководстве и семеноводстве, для решения задач по предотвращению деградации и опустынивания агроландшафтов в условиях изменяющегося климата».

Список литературы

1. Доспехов, Б. А. (2014). *Методология проведения полевых исследований* (5-е изд., доп. и перераб.). Москва: Альянс. 351 с.

2. Еремин, Г. В., & Заремук, Р. С. (2012). Слива домашняя. В *Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве* (Монография, с. 337–346). Краснодар: ГНУ СКЗНИСИБ.
3. Еремин, Г. В. (2002). Клоновые подвой косточковых культур и перспективы их использования в садах России. В *Научное обеспечение современных технологий производства, хранения и переработки плодов и ягод в России и странах СНГ: материалы международной научно-практической конференции* (12–14 августа 2002 г., с. 92–96). Москва: ВСТИСП. EDN: <https://elibrary.ru/RRXGSD>
4. Еремин, Г. В., Вороченко, А. В., и др. (2002). *Выращивание на клоновых подвоях и собственных корнях*. Ростов-на-Дону: Феникс. 256 с.
5. Еремин, В. Г., & Еремина, Г. В. (2014). Клонирование подвоев косточковых культур для интенсивных садов Юга России. *Садоводство и виноградарство*, (6), 24–29. EDN: <https://elibrary.ru/TECXON>
6. Загота, А. Н. (2021). Продуктивность сортов сливы в условиях зоны неустойчивого увлажнения Ставропольского края. В *Современное состояние и перспективы развития плодовоовощеводства, виноградарства и виноделия в Российской Федерации: сборник трудов по материалам Международной научно-практической конференции, посвящённой 90-летию Ставропольского государственного аграрного университета* (с. 122–124).
7. Кальченко, Е. Ю., & Ноздрачева, Р. Г. (2021). Влияние сортов и подвоев на рост и плодоношение сливы в саду. *Известия Кубанского государственного аграрного университета*, (91), 127–132. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-127-132>. EDN: <https://elibrary.ru/OWZZGB>
8. Квиклис, Д. (2002). Исследование подвоев яблони в Литве с точки зрения качества плодов и продуктивности деревьев. *Садоводство и овощеводство*, 21(3), 3–13.
9. Квиклис, Д., Квиклиен, Н., Байт, А., Лепсис, Дж., Универ, Т., Универ, Н., Уселис, Н., Ланаускас, Дж., & Бускиен, Л. (2012). Изучение балтийских плодовых подвоев: оценка 12 подвоев яблони в Северо-Восточной Европе. *Horticultural Science (Praga)*, 39(1), 1–7.
10. Киктева, Е. Н., Солонкин, А. В., & Никольская, О. А. (2019). Биологические особенности саженцев сливы в Нижнем Поволжье. В *Развитие сельского хозяйства, основанное на принципах рационального природопользования и использования конвергентных технологий* (с. 410–417). EDN: <https://elibrary.ru/TCKLQB>
11. Киктева, Е. Н., Солонкин, А. В., Бгашев, В. А., & Никольская, О. А. (2017). Рост и развитие слив в различных сортово-подвойных комбинациях. В *Экологические и мелиоративные аспекты рационального природопользования: материалы Международной научно-практической конференции* (с. 100–106).

12. Костина, Ю. (2010). Влияние карликовых и полукарликовых подвоев яблони на рост и продуктивность селекционных сортов яблони. *Наука садоводства (Прага)*, (37), 121–126.
13. Кузнецова, А. П., & Щеглов, С. Н. (2011). Новые подходы к оценке продуктивности сортово-подвойных комбинаций сливы в нестабильных условиях. *Плодоводство и ягодоводство в России*, 28(2), 8–14. EDN: <https://elibrary.ru/NYNFNL>
14. Мапс, Ф., & Еремин, В. Г. (2015). Клонированный подвой VVA-1 (Крымск1) в Нидерландах. В *Хранение и использование генетических ресурсов садовых и овощных культур: сборник технических документов и отчётов* (с. 49–50). Крымский государственный технический университет. EDN: <https://elibrary.ru/VJTJLZ>
15. Мировое производство сливы в разбивке по странам (2024). Получено из <https://www.atlasbig.com/ru/strany-po-proizvodstvu-slivy> (дата обращения: 21.03.2024)
16. Никольская, О., Солонкин, А., Семинченко, Е., & Киктева, Е. (2023). Подбор сортово-подвойных комбинаций диплоидной сливы (*Prunus rossica* Erem.) для засушливых условий юга России. *Индийский журнал сельскохозяйственных исследований*, 57(5), 665–670. <https://doi.org/10.18805/IJArE.AF-793>
17. Ноздрачева, Р. Г., Кальченко, Е. Ю., & Микулина, Ю. С. (2020). Особенности роста и плодоношения сортово-подвойных комбинаций слив в Центральном-Чернозёмном регионе. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 63(5), 17. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10223>. EDN: <https://elibrary.ru/LTZKLN>
18. Патарая, Д. Т., & Торсунова, В. Р. (2019). Формирование урожайности сортов сливы в условиях учебно-опытного хозяйства СТГАУ. В *Агроэкологические аспекты устойчивого развития сельского хозяйства: материалы XVI Международной научной конференции* (с. 724–726). EDN: <https://elibrary.ru/AAZJOA>
19. Попов, М. А., & Новоторцев, А. А. (2017). Урожайность сортово-подвойных комбинаций вишни и сливы в центральной части России. В *Научно-практические основы ускорения импортозамещения продукции садоводства: материалы научно-практической конференции* (с. 146–148). Администрация Тамбовской области; ФГБНУ «Федеральный научный центр им. И. В. Мичурина»; Мичуринский государственный аграрный университет.
20. *Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур* (1999) / Российская академия сельскохозяйственных наук, Всероссийское научное исследование, Институт селекции плодовых культур; Под общ. ред. Е. Н. Седова и Т. П. Огольцовой. Орёл: ARSRIFB. 606 с.

21. Расулов, А. Р., Бесланеев, Б. Б., & Калмыков, М. М. (2022). Сравнительная оценка показателей роста и продуктивности плодовых культур на склоновых землях предгорной зоны Северного Кавказа. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*, 4(38), 28–35. <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-4-38-28-35>. EDN: <https://elibrary.ru/RYHLWE>
22. Солонкин, А. В., Никольская, О. А., & Киктева, Е. Н. (2019). Предварительная оценка сортов и комбинаций подвоев сливы в условиях Нижнего Поволжья. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*, 1(53), 105–113. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-13>. EDN: <https://elibrary.ru/UANCKJ>
23. Тымчик, Н. Е., Горбунов, И. В., & Кравченко, Р. В. (2019). Влияние подвоя на урожайность вишни. *Коллоквиум-журнал*, 20-2(44), 31–32. EDN: <https://elibrary.ru/AXQOIL>
24. Черников, Е. А., Попова, В. П., Кузнецова, А. П., Фоменко, Т. Г., & Маджар, Д. А. (2021). Оценка продуктивности сливы на подвоях отечественной селекции и почвах с лимитирующими параметрами. *Плодоводство и виноградарство на Юге России*, 70(4), 129–145. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-4-70-129-145>. EDN: <https://elibrary.ru/HSNXBB>
25. Чинчик, А., Белицкий, П., & Бартошевич, Б. (1999). Результаты исследования трёх сортов яблони на 17 карликовых и полукарликовых подвоях в течение восьми сезонов. В *Материалы международной научно-практической конференции* (с. 21–22). Варшава.
26. Яковлева, В. В. (2023). Влияние климатических факторов юга Приморья на формирование урожая сливы. *Дальневосточный аграрный вестник*, 17(4), 68–75. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2023-17-4-68-75>. EDN: <https://elibrary.ru/NCZJNM>
27. Beckman, T. S., Oki, U. R., & Myers, S. S. (1992). Die Unterlagen beeinflussen den Zeitpunkt der Blüte und Reifung der Frucht des Redhaven-Pfirsichs. *Journal of the American Society for Horticultural Science (J. Am. Soc. Hortic. Sci.)*, 117, 377–379.
28. Bettini-Tambour, B. A., Fernando, A. A., Mariangela, K. Y., Soares, M. B., Bernardes Martins, M. H., & Shino, E. H. (2022). Haltbarkeit, Phänologie und Qualität der Frucht der Lyme-sauren ‘Tahiti IAC-5’, die in Pindorama-SP auf verschiedene Wurzelbestände gepfropft wurde. *Revista Brasileira de Fruticultura (Rev. Bras. Frutic.)*, 44(1), e064.
29. El-Shammaa, M. S., Mansour, A. E. M., Chimpois, G. P., Nageib, M. M., & Malaka, S. (2011). The influence of factors affecting the health, yield and qual-

- ity of the fruits of the Anna apple tree (*Malus domestica* Borkh.). *Scientific Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 7(2), 190–195.
30. Ohata, K., Togano, Y., Matsumoto, T., Uchida, Y., Kurahashi, T., & Itamura, H. (2018). The choice of a variety of prunes (*Prunus domestica* L.), primarily for the temperate climate of East Asia: the collection and quality of plants of a certain variety of prunes in the Teplogorsko-western region of Japan. *Horticultural Journal (Hortik. J.)*, 86, 437–446.
31. Webster, A. D., & Hollands, M. S. (1999). The origin of apple fruits: the growth of the breeding field, Russia, China and the United Kingdom as raw materials for growing orange apple trees (*Malus domestica* Borkh.). *Biotechnology*, 74(3), 367–374.

References

1. Dospekhov, B. A. (2014). *Methodology of field research* (5th ed., revised and expanded). Moscow: Al'yans. 351 p.
2. Eremin, G. V., & Zaremuks, R. S. (2012). Domestic plum. In *Modern methodological aspects of organizing the breeding process in horticulture and viticulture* (Monograph, pp. 337–346). Krasnodar: GNU SKZNIISIV.
3. Eremin, G. V. (2002). Clonal rootstocks of stone fruit crops and prospects for their use in Russian orchards. In *Scientific support of modern technologies for production, storage and processing of fruits and berries in Russia and CIS countries: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (August 12–14, 2002, pp. 92–96). Moscow: VSTISP. EDN: <https://elibrary.ru/RRXGSD>
4. Eremin, G. V., Vorochenko, A. V., et al. (2002). *Growing on clonal rootstocks and own roots*. Rostov-on-Don: Feniks. 256 p.
5. Eremin, V. G., & Eremina, G. V. (2014). Cloning of rootstocks for stone fruit crops for intensive orchards in southern Russia. *Horticulture and Viticulture*, (6), 24–29. EDN: <https://elibrary.ru/TECXOH>
6. Zakota, A. N. (2021). Productivity of plum varieties in the unstable moisture zone of the Stavropol Territory. In *Current state and prospects for the development of fruit and vegetable growing, viticulture and winemaking in the Russian Federation: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of Stavropol State Agrarian University* (pp. 122–124).
7. Kalchenko, E. Yu., & Nozdracheva, R. G. (2021). Influence of varieties and rootstocks on the growth and fruiting of plum in the orchard. *Proceedings of Kuban State Agrarian University*, (91), 127–132. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-127-132>. EDN: <https://elibrary.ru/OWZZGB>
8. Kviklis, D. (2002). Study of apple rootstocks in Lithuania in terms of fruit quality and tree productivity. *Horticulture and Vegetable Growing*, 21(3), 3–13.

9. Kviklis, D., Kviklien, N., Bait, A., Lepsis, J., Univer, T., Univer, N., Uselis, N., Lanauskas, J., & Buskien, L. (2012). Study of Baltic fruit rootstocks: evaluation of 12 apple rootstocks in Northeastern Europe. *Horticultural Science (Prague)*, 39(1), 1–7.
10. Kikteva, E. N., Solonkin, A. V., & Nikolskaya, O. A. (2019). Biological characteristics of plum seedlings in the Lower Volga region. In *Development of agriculture based on the principles of rational nature management and the use of convergent technologies* (pp. 410–417). EDN: <https://elibrary.ru/TCKLQB>
11. Kikteva, E. N., Solonkin, A. V., Bgashev, V. A., & Nikolskaya, O. A. (2017). Growth and development of plums in various variety-rootstock combinations. In *Ecological and meliorative aspects of rational nature management: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 100–106).
12. Kostina, Yu. (2010). Influence of dwarf and semi-dwarf apple rootstocks on growth and productivity of breeding apple varieties. *Science of Horticulture (Prague)*, (37), 121–126.
13. Kuznetsova, A. P., & Shcheglov, S. N. (2011). New approaches to assessing the productivity of plum variety-rootstock combinations under unstable conditions. *Fruit and Berry Growing in Russia*, 28(2), 8–14. EDN: <https://elibrary.ru/NYNFNL>
14. Maps, F., & Eremin, V. G. (2015). Cloned rootstock VVA 1 (Krymsk 1) in the Netherlands. In *Storage and use of genetic resources of horticultural and vegetable crops: Collection of technical documents and reports* (pp. 49–50). Krymskiy State Technical University. EDN: <https://elibrary.ru/VJTJLZ>
15. Global plum production by country (2024). Retrieved from: <https://www.atlasbig.com/ru/strany-po-proizvodstvu-slivy> (accessed: 21.03.2024)
16. Nikolskaya, O., Solonkin, A., Semenchenko, E., & Kikteva, E. (2023). Selection of variety-rootstock combinations of diploid plum (*Prunus rossica* Erem.) for arid conditions of southern Russia. *Indian Journal of Agricultural Research*, 57(5), 665–670. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-793>
17. Nozdracheva, R. G., Kalchenko, E. Yu., & Mikulina, Yu. S. (2020). Features of growth and fruiting of plum variety-rootstock combinations in the Central Chernozem region. *International Agricultural Journal*, 63(5), 17. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10223>. EDN: <https://elibrary.ru/LTZKLH>
18. Pataraya, D. T., & Torsunova, V. R. (2019). Formation of plum variety yields in the conditions of the educational and experimental farm of STAU. In *Agro-ecological aspects of sustainable agricultural development: Proceedings of the XVI International Scientific Conference* (pp. 724–726). EDN: <https://elibrary.ru/AAZJOA>
19. Popov, M. A., & Novottsev, A. A. (2017). Yield of variety-rootstock combinations of cherry and plum in central Russia. In *Scientific and practical founda-*

- tions for accelerating import substitution in horticulture: *Proceedings of the Scientific and Practical Conference* (pp. 146–148). Administration of Tambov Region; FGBNU “Federal Scientific Center named after I. V. Michurin”; Michurinsk State Agrarian University.
20. *Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops* (1999) / Russian Academy of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding; Ed. by E. N. Sedov and T. P. Ogoltsova. Oryol: ARSRIFB. 606 p.
 21. Rasulov, A. R., Beslaneev, B. B., & Kalmykov, M. M. (2022). Comparative assessment of growth and productivity indicators of fruit crops on sloping lands of the foothill zone of the North Caucasus. *Proceedings of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*, 4(38), 28–35. <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-4-38-28-35>. EDN: <https://elibrary.ru/RYHLWE>
 22. Solonkin, A. V., Nikolskaya, O. A., & Kikteva, E. N. (2019). Preliminary assessment of plum varieties and rootstock combinations in the Lower Volga region. *Proceedings of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, 1(53), 105–113. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-13>. EDN: <https://elibrary.ru/UANCKJ>
 23. Tymchik, N. E., Gorbunov, I. V., & Kravchenko, R. V. (2019). Influence of rootstock on cherry yield. *Коллективум Journal*, 20 2(44), 31–32. EDN: <https://elibrary.ru/AXQOIL>
 24. Chernikov, E. A., Popova, V. P., Kuznetsova, A. P., Fomenko, T. G., & Madzhar, D. A. (2021). Assessment of plum productivity on rootstocks of domestic selection and soils with limiting parameters. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*, 70(4), 129–145. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-4-70-129-145>. EDN: <https://elibrary.ru/HSNXBB>
 25. Chinchik, A., Belitsky, P., & Bartoshevich, B. (1999). Results of a study of three apple varieties on 17 dwarf and semi-dwarf rootstocks over eight seasons. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 21–22). Warsaw.
 26. Yakovleva, V. V. (2023). Influence of climatic factors in the south of Primorye on plum yield formation. *Far Eastern Agrarian Bulletin*, 17(4), 68–75. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2023-17-4-68-75>. EDN: <https://elibrary.ru/NCZJNM>
 27. Beckman, T. S., Oki, U. R., & Myers, S. S. (1992). The rootstocks influence the timing of flowering and fruit ripening of the Redhaven peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science (J. Am. Soc. Hortic. Sci.)*, 117, 377–379.
 28. Bettini Tambour, B. A., Fernando, A. A., Mariangela, K. Y., Soares, M. B., Bernardes Martins, M. H., & Shino, E. H. (2022). Shelf life, phenology and fruit quality of ‘Tahiti IAC 5’ lime grafted onto different rootstocks in Pindorama, SP. *Revista Brasileira de Fruticultura (Rev. Bras. Frutic.)*, 44(1), e064.

29. El Shammaa, M. S., Mansour, A. E. M., Chimpois, G. P., Nageib, M. M., & Malaka, S. (2011). The influence of factors affecting the health, yield and quality of fruits of the Anna apple tree (*Malus domestica* Borkh.). *Scientific Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 7(2), 190–195.
30. Ohata, K., Togano, Y., Matsumoto, T., Uchida, Y., Kurahashi, T., & Itamura, H. (2018). Selection of prune varieties (*Prunus domestica* L.) primarily suitable for the temperate climate of East Asia: assessment of plant collection and quality of a specific prune variety in the Teplogorsko western region of Japan. *Horticultural Journal (Hortik. J.)*, 86, 437–446.
31. Webster, A. D., & Hollands, M. S. (1999). The origin of apple fruits: development of the breeding field – Russia, China and the United Kingdom as raw materials for growing orange apple trees (*Malus domestica* Borkh.). *Biotechnology*, 74(3), 367–374.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никольская Ольга Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
nikolskaya-o@vfanc.ru*

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель селекционно-семеноводческого центра

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
mishamax73@mail.ru*

Киктева Елена Николаевна, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
aristokratka12@yandex.ru*

Касьянова Галина Валерьевна, лаборант-исследователь лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kasyanova-g@vfanc.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Nikolskaya, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Selection, Seed Production and Nursery Production
*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
nikolskaya-o@vfanc.ru*

Andrei V. Solonkin, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Breeding and Seed-growing Center
*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
mishamax73@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>*

Elena N. Kikteva, Researcher, Laboratory of Selection, Seed Production and Nursery Production
*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
aristokratka12@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3095-2884>*

Galina V. Kasyanova, Laboratory Assistant Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery
*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kasyanova-g@vfanc.ru*

Поступила 09.12.2024

После рецензирования 05.03.2025

Принята 14.04.2025

Received 09.12.2024

Revised 05.03.2025

Accepted 14.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1288

EDN: VJFCKE

UDC 634.11.664.858



Original article

THE INFLUENCE OF SOME BIOCHEMICAL PARAMETERS OF APPLES ON THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES OF APPLE JAM

E.S. Salina, M.Yu. Akimov, N.S. Levgerova, I.A. Sidorova

Abstract

Background. The content of dietary fiber, sugars, organic acids, and calcium in apples are important technological indicators that affect the quality of apple jam. Knowledge of the relationships between the chemical and technological characteristics of fruits and the quality of the finished product would make it possible to determine the importance of a particular technological indicator in the formation of the organoleptic qualities of the processed product and its nutritional value.

The **purpose** of these studies was to establish the influence of some biochemical parameters of raw materials on the quality of apple jam. To achieve this goal, the following objectives were formulated: to characterize the fruits of apple trees of different varieties in terms of the content of dietary fiber (soluble and insoluble), sugars (glucose, fructose, sucrose and their sum), acids (malic, citric, hydroxycinnamic), calcium; to form a sensory profile based on visual descriptors and analyze apple jam based on it; to identify the relationships between the biochemical parameters of the raw material and the sensory characteristics of the jam obtained from it; to describe the received interactions using regression equations.

Material and methods. The influence of some biochemical parameters of fruits of 6 local apple genotypes on the quality of apple preserve was studied. We studied 6 local apple genotypes: Bolotovskoye, Veniaminovskoye, Kurnakovskoye, Candil Orlovsky, Rozhdestvenskoye and Sinap Orlovsky. The raw materials were analyzed according to the hardness of the fruits, the content of dietary fibers, sugars, and organic acids, Ca^{++} . The preserve was made according to the current standards. the organoleptic analysis included visual, gustatory and olfactory assessment. The assessment was carried out by experts who took part in closed tastings. The experts – members of the tasting group (n = 15, 3 men, 13 women, aged 27-60 years) were

selected among the staff of the VNIISPK according to the level of taste sensitivity on a voluntary basis.

Results. High content of the dietary fibers (2.12-2.16%) in raw materials revealed in Candil Orlovsky, Kurnakovskoye, Veniaminovskoye. The fruits of apple varieties contained on average fructose 5.79%, glucose – 2.17%, sacharose – 1.59. There was a high level of malic acid (180.90 – 1029.98 mg/100 g) and a low level of citric acid (2.59 – 12.04 mg/100 g). Calcium content in the fruits varied from 8.85 mg/100 g (Sinap Orlovsky) to 22.03 mg/100 g (Bolotovskoye). The average value of hardness of the fruits amount to 4.59 kg/cm², the scope of variability was from 3.56 kg/cm² (Veniaminovskoye) to 6.03 kg/cm² (Sinap Orlovsky). Sensory analysis of preserves has shown that all samples have got fine acceptability scores. It was determined that the most preferred preserve with clear syrup and whole slices with a crispy consistency. The syrup quantity and its gelatinous characteristics was of no great matter but soft consistency of the slices reduced the acceptability scores. A direct reliable relationship between the transparency of the syrup and the content of organic acids and inverse relationship between the transparency of the syrup and calcium content have been revealed. A direct relationship was noted between the consistency of apple slices and the content of insoluble dietary fiber and hydroxycoric acids and the inverse relationship between this indicator and the content of citric acid. The data obtained make it possible to predict the quality of apple preserve and design a product with specified quality parameters.

Keywords: dietary fiber; preserve; sensory assessment; descriptors; biochemical parameters

For citation. Salina, E. S., Akimov, M. Yu., Levgerova, N. S., & Sidorova, I. A. (2025). The influence of some biochemical parameters of apples on the organoleptic properties of apple jam. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 400-422. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1288>

Научная статья

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЯБЛОК НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ВАРЕНЬЯ

Е.С. Салина, М.Ю. Акимов, Н.С. Левгерова, И.А. Сидорова

Аннотация

Обоснование. Содержание в яблоках пищевых волокон, сахаров, органических кислот, кальция, участвующих в формировании свойств протопласта

(мякоти плодов), являются важными технологическими показателями, влияющими на качество варенья. Знание взаимосвязей между химико-технологическими признаками плодов и качеством готового продукта позволило бы определить значимость того или иного технологического показателя в формировании органолептических качеств продукта переработки и его пищевой ценности.

Целью данных исследований было установить влияние некоторых биохимических параметров сырья на качество яблочного варенья. Для достижения поставленной цели сформулированы задачи: дать характеристику плодам яблони разных сортов по содержанию пищевых волокон (растворимых и нерастворимых), сахаров (глюкозы, фруктозы, сахарозы и их суммы), кислот (яблочной, лимонной, гидроксикоричной), кальция; сформировать сенсорный профиль по визуальным дескрипторам и провести на его основе анализ варенья из плодов различных генотипов яблони; выявить зависимости между биохимическими параметрами сырья и сенсорными характеристиками полученного из него варенья, а также описать полученные взаимодействия уравнениями регрессии.

Материалы и методы. Объектами исследования служили 6 генотипов яблони селекции ВНИИСПК: Болотовское, Веняминовское, Курнаковское, Кандиль орловский, Рождественское, Синап орловский. Сырье было проанализировано по твердости плодов, содержанию пищевых волокон, сахаров, органических кислот, Ca^{++} . Выработку варенья осуществляли согласно текущим стандартам. Органолептический анализ включал визуальную, вкусовую и обонятельную оценку. Оценка проводилась экспертами, которые приняли участие в закрытых дегустациях. Эксперты – члены дегустационной группы ($n = 15$, 3 мужчин, 13 женщин, в возрасте 27-60 лет) были отобраны на добровольной основе среди сотрудников института по уровню вкусовой чувствительности.

Результаты. Высокое содержание пищевых волокон (2,1-2,2%) в сырье выявлено у сортов Кандиль орловский, Курнаковское, Веняминовское. Плоды сортов яблони содержали в среднем фруктозы 5,8%, глюкозы – 2,2%, сахарозы – 1,6. Отмечен высокий уровень яблочной кислоты (181,0 – 1030,0 мг/100 г) и низкий – лимонной (2,6 – 12,0 мг/100 г). Содержание кальция в плодах варьировало от 8,9 мг/100 г (Синап орловский) до 22,0 мг/100 г (Болотовское и Кандиль орловский). Среднее значение твердости мякоти плодов составило 4,7 кг/см², размах изменчивости при этом был от 3,6 кг/см² (Веняминовское) до 6,2 кг/см² (Болотовское). Сенсорный анализ варенья 6 сортов яблони показал, что все образцы получили высокие оценки приемлемости. Самые высокие оценки получило варенье сортов Рождественское и Курнаковское.

Установлено, что наиболее предпочтительно варенье, с прозрачным сиропом и целыми дольками с хрустящей консистенцией. Количество сиропа и признаки его желирования большой роли не играли, а нежная (мягкая) консистенция долек снижала оценку приемлемости. Установлены зависимости между органолептическими показателями варенья и некоторыми биохимическими параметрами сырья. Выявлена прямая достоверная зависимость между прозрачностью сиропа и содержанием органических кислот ($r = 0,88^*$ для лимонной кислоты; $r = 0,86^*$ для яблочной кислоты; $r = 0,89^*$ для гидроксикоричных кислот) и обратная – содержанием Ca^{++} ($r = -0,87^*$). Отмечена прямая зависимость между консистенцией яблочных долек и содержанием нерастворимых пищевых волокон ($r = 0,80^*$) и гидроксикоричных кислот ($r = 0,81^*$) и обратная между этим показателем и содержанием лимонной кислоты ($r = -0,80^*$). Полученные данные позволяют прогнозировать качество яблочного варенья и проектировать продукт с заданными параметрами качества.

Ключевые слова: яблоня; варенье; сенсорная оценка; дескрипторы; биохимические параметры

Для цитирования. Салина, Е. С., Акимов, М. Ю., Левгерова, Н. С., & Сидорова, И. А. (2025). Влияние некоторых биохимических параметров яблок на органолептические качества варенья. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 400-422. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1288>

Introduction

The preparation of sugary fruit products is one of the oldest canning processes known to mankind, which significantly reduce post-harvest losses in temperate climates and consume fruits both in season and in the off-season. In this case, food preservation is achieved, in addition to heat treatment, by increasing the dry matter content (decrease in water activity) and acidity (decrease in pH) [20; 21; 28].

Despite the high sugar content in preserves, its negative effect is offset by the high content of biologically active substances and, especially, dietary fiber. All types of fiber, both soluble and insoluble, which are contained together with fructose and glucose in fruits and berries, slow down the rate of absorption of simple sugars and cause a calm release of insulin. Therefore, preserve, jam and other processed fruit products made with sugar are considered as natural healthy food products containing useful components of fresh fruits and possessing their pharmaceutical properties, but requiring metered consumption.

The production of sugary fruit products, including jams, is promising from the point of view of small business development. The adoption of the law „On

agricultural products, raw materials and food“ (entered into force on March 1, 2022), aimed at producing products for the population with improved characteristics, also sets the task of using raw materials, according to their characteristics, most corresponding to the production of fruit sugary confectionery products, including preserve [19]. The creation of a raw material base of fruits and berries for the production of various types of canned fruit with sugar implies the selection of cultivars with the best suitability for processing for a specific type. For apple preserve the cultivars, on the one hand, should be with a high content of soluble solids (SS) and dense pulp, so that the fruit slices do not boil when cooking, on the other hand, with a sufficient acid content to avoid candying during storage, be more harmonious in taste. The optimal degree of fruit maturity for the preserve is also of great importance. The fruits should be ripe but with dense flesh. When using unripe fruits, the preserve turns out to be non-aromatic, the slices are dry and hard to taste, since under the action of sugar syrup they undergo strong plasmolysis of the protoplast occupying most of the cells, which is typical for immature fruits and the syrup often gels. Thus, the quality of the preserve is determined mainly by the pulp of the fruit, that is, the quality of the mesocarpium – the presence of dietary fibers, sugars, and organic acids in it.

One of the main indicators of fruit pulp – hardness – describes its texture and is often used by manufacturers to determine the optimal date of harvest [16; 20]. The maturity of fruits affects their density: during the ripening process, the density of the pulp decreases, as protopectin passes into pectin. The hardness of the pulp characterizes the mechanical properties of fruits and is of great importance for technical processing, since the structure of the fruit pulp determines the quality of the final product.

According to GOST 34844-2022 [5], dietary fiber is defined as carbohydrate polymers, plant polysaccharides that are not fully exposed to enzymes of the gastrointestinal tract and are not absorbed in the small intestine, and the consumption of dietary fiber of at least 20 g per day is considered sufficient for a healthy diet. Dietary fibers are conventionally divided into insoluble dietary fibers (IDF) and soluble dietary fibers (SDF) depending on their solubility. IDF include cellulose, hemicellulose, lignin, etc., whereas SDF include pectins, β -glucan, oligosaccharide, inulin, etc. [5; 27; 32]. Fiber is a good example of dietary fibers that polyphenols bind to. The fiber of apples also causes a significant increase in the viscosity of jelly [22].

Sugars (carbohydrates), which perform an energy and support function, have a sweet taste and are easily absorbed by the body. In combination with organic acids, they form the taste of fruits. Fructose, which share in the total sugar con-

tent is on average 50-60%, dominates in apples [6; 18; 19; 25]. According to S.M. Motyleva and A.A. Borisova [10], the content of other identified 10 sugars in apples – galactose, mannose, arabinose, ribose, allopentose, levoglucosan, sorbitol, turanose, talose, tagatose – depends on the cultivar. M.Y. Akimov and co-authors [1] determined in the analysis of fruits of a number of fruit and berry crops that the highest relative fructose content ($>5.00\%$) is characteristic of apple fruits. Their research showed that the total carbohydrate content in apples was 10.4%, of which 5.74% was fructose, 2.16% was glucose, 1.49% was sucrose. Since sugars predominate in the total amount of SS, they significantly affect the condition of fruits when cooking preserves.

When studying the content of organic acids in apples of 24 varieties, it was found that malic and citric acids are predominant, which account for 441.7 and 6.18 mg/100 g, respectively [1]. Malic acid is the dominant organic acid in apple fruits, which can account for up to 90% of the total amount of organic acids [23; 29].

Apple fruits are a source of many mineral elements, primarily K, P, Ca, Mg, etc., which are involved in many physiological processes in fruits. Calcium, potassium and magnesium and their ratio in mature apple fruits affect their quality, cell wall structure and shelf life. The high calcium content in fruits is important for successful storage and processing. Different varieties may have different contents, but usually within the range of 45...60 mg/1 kg of crude weight [15]. According to some authors, the proportion of calcium in the ash of apple fruits ranges from 0.01 to 0.25 wt% [10], others – 22.2-73.8 mg/100 g [1]. Calcium is a part of pectin substances and affects the resistance of the cytoplasm to mechanical influences. It is possible that calcium regulates the expression of key genes involved in sorbitol metabolism, which leads to the accumulation of sugar in fruits [30]. Calcium intake into apple fruits occurs in the first 4-6 weeks after flowering and as cells age, its concentration increases [18]. The maximum accumulation of calcium in apple fruits occurs at the stage of their development (about 30 mg/100 g). As apples reach maturity, the content of this element gradually decreases to 8...14 mg/100 g, which is optimal during the harvest period [11]. Summer cultivars accumulate less calcium in fruits than autumn and winter [15].

Based on the presented data, it is obvious that the content of dietary fibers, sugars, organic acids, and calcium in apples, which are involved in the formation of protoplast properties (fruit pulp), are important technological indicators that affect the quality of preserves. Of great interest is the identification of various dependencies between the chemical and technological characteristics of

fruits and the quality of the finished product. Knowledge of such relationships would make it possible to determine the importance of a particular technological indicator in the formation of the organoleptic qualities of the processed product and its nutritional value. The chemical composition of the fruits does not guarantee the high quality of the processed product. Only an assessment of its quality indicators allows us to make a final conclusion about the suitability of the cultivar for a particular type of processing.

The objectives of the study were as follows:

- to characterize the apple fruits of different cultivars in terms of the content of dietary fibers (soluble and insoluble), sugars (glucose, fructose, sucrose and their sum), acids (malic, citric, hydroxycoric) and calcium;
- to form a sensory profile based on visual descriptors and analyze preserve from fruits of various apple genotypes based on it;
- to identify the dependencies between the biochemical parameters of the raw material and the sensory characteristics of the preserve obtained from it;
- to describe the resulting interactions using regression equations.

The realization of this goal will make it possible to identify the most important descriptors for the characteristics of apple preserve from the point of view of sensory analysis; expand the modern database of organoleptic analysis and the dictionary of descriptors, as well as reasonably approach the development of recommendations for the use of various apple cultivars in processing from the point of view of sensory and biochemical characteristics.

Material and methods

Objects. We studied 6 local apple genotypes: Bolotovskoye, Veniaminovskoye, Kurnakovskoye, Candil Orlovsky, Rozhdestvenskoye and Sinap Orlovsky. These genotypes were bred by Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding (VNIISPK) and grown in Oryol region. For the production of preserves, the fruits were selected in a technical degree of maturity.

Technological and biochemical parameters. The raw materials were analyzed according to the hardness of the fruits, the content of dietary fibers, sugars, and organic acids, Ca^{++} .

The hardness of the pulp of apples was determined using the FHT 803 penetrometer.

The determination of the content of IDF and SDF (enzymatic method) was carried out in accordance with the Guidenles R 4.1.1672-03 [13]. The method makes it possible to determine soluble (in ethyl alcohol) and insoluble dietary fibers, which differ in physiological action. The mass fraction of pectin sub-

stances (soluble dietary fibers) was determined by the volumetric method according to S.Ya. Raik and GOST 29059-91 [3; 12].

The mass fraction of total sugar, monosaccharides and sucrose was determined using the Bertrand method [6], which is based on the ability of sugars to reduce copper sulfate to copper oxide in an alkaline medium, the amount of which was used to calculate the mass fraction of sugars in solution. The determination of mono- and disaccharides was carried out by high-performance liquid chromatography (HPLC) on columns filled with silicagel with grafted amino groups in Ca form with refractometric detection [9].

The determination of organic acids was carried out under HPLC conditions with photometric detection according to „Methods of analysis of minor biologically active substances of food“ edited by V.A. Tutelyan and K.I. Eller [9]. The determination of hydroxycinnamic acids was carried out by HPLC method in the mode of gradient elution with photometric detection at a wavelength of 330 nm; the acid content was determined in terms of chlorogenic acid [9].

The determination of calcium content was carried out by atomic absorption method according to [13]. The method is based on spraying a solution of the mineralized sample in an air-acetylene flame. The metals in the mineralized solution, falling into the flame, passed into the atomic state. The amount of absorption of light with a wavelength corresponding to the resonance line is proportional to the value of the metal concentration in the test sample.

Preserve production. The preserve was made according to the current standards [4]. The apples were thoroughly washed, peeled, cut into slices and blanched for 5 minutes at a water temperature of 90 °C. The prepared raw materials were poured with 50% sugar syrup and kept in it for 8 hours. The preserve was brewed in 4 steps with an intermediate stand for 8 hours. The total cooking time did not exceed 40 minutes. The coked preserve was stored for 4 months before sensory and chemical analyses.

Organoleptic analysis. In our study, the organoleptic analysis included visual, gustatory and olfactory assessment. The assessment was carried out by experts who took part in closed tastings. The experts – members of the tasting group (n = 15, 3 men, 13 women, aged 27-60 years) were selected among the staff of the VNIISPK according to the level of taste sensitivity [7; 8; 24; 26]. The experts took part in the organoleptic analysis on a voluntary basis. The appearance of the product was evaluated: the quality of the syrup, the integrity and consistency of the slices. To assess the intensity of the manifestation of qualities, a 5-point continuous scale was chosen (1 – sign was not detected, 5 – sign was expressed intensively) [25]. Also, the participants of the tasting

committee were asked to rate the product on a 5-point hedonistic acceptance scale (1 – extremely dislike, 5 –like very much).

Each sample was encrypted with a three-digit number. Each participant of the tasting committee had a glass of water.

Statistics analysis. All measurements were carried out on three parallel samples for each variable, and the data were expressed in Tables as an average value $\pm$ standard error (SE). Statistical processing was carried out by generally accepted methods using standard Microsoft Excel computer programs. The reliability of the results was assessed by the Student's t-test at $p \leq 0.05$. The significance of the differences between the cultivars was assessed using variance and a posteriori (Tukey post hoc test) analyses [31].

Results and discussion

Biochemical parameters of raw materials. Apples are one of the most important sources of dietary fiber for our diet. It was found that the level of dietary fiber in the studied apple varieties ranged from 1.88% (Rozhdestvenskoye) to 2.39% (Bolotovskoye) (Table 1). A relatively high content of dietary fiber (2.12–2.16%) was found in the cultivars Candil Orlovsky, Kurnakovskoye and Veniaminovskoye, the average – in Sinap Orlovsky (1.99%). It was found that the average SDF content (1.28%) exceeded the IDF level (0.88%). Bolotovskoye, Veniaminovskoye and Sinap Orlovsky were characterized by the highest SDF content. Comparatively low SDF content was noted in the fruits of Candil Orlovsky and Rozhdestvenskoye. Candil Orlovsky stood out for the highest IDF content (1.22%). The minimum content of IDF was in Sinap Orlovsky (0.60%).

Table 1.

Biochemical parameters of raw materials for apple preserve

Variety	Dietary fiber, %			Sugars, %				Organic acids, mg/100 g			Ca mg/100 g	Pulp hardness, kg/cm ²
	Sum	IDF	SDF	Fructose	Glucose	Sucrose	Sum	Citric	Malic	Hydroxy-cinnamic		
Bolotovskoye	2.39±0.14	1.00±0.01	1.44±0.04	6.57±0.14	1.94±0.01	1.54±0.01	11.05±0.12	8.00±0.02	245.95±3.31	2.11±0.01	22.03±0.95	5.45±0.76
Veniaminovskoye	2.12±0.01	0.72±0.02	1.43±0.02	4.92±0.09	1.81±0.03	1.31±0.01	9.04±0.07	8.04±0.38	889.88±6.89	4.06±0.04	9.12±0.35	3.56±0.57
Candil Orlovsky	2.16±0.06	1.22±0.02	1.02±0.02	5.71±0.15	2.56±0.03	1.51±0.03	11.00±0.11	4.02±0.15	180.90±6.69	< 0,05	21.83±0.46	4.18±0.43
Kurnakovskoye	2.13±0.03	0.82±0.02	1.31±0.03	5.47±0.18	2.10±0.02	1.41±0.03	9.98±0.23	2.59±0.06	480.40±3.94	1.89±0.04	20.20±0.34	3.77±0.45

Rozhdestven- skoye	1.88± 0.04	0.89± 0.04	1.04± 0.06	6.18± 0.11	2.49± 0.03	2.16± 0.06	12.05± 0.13	5.03± 0.19	280.01± 4.16	< 0,05	18.95± 0.75	4.53± 0.62
Sinap Orlovsky	1.99± 0.02	0.60± 0.03	1.41± 0.02	5.86± 0.06	2.14± 0.03	1.61± 0.02	10.91± 0.21	12.04± 0.12	1029.98± 10.63	6.81± 0.02	8.85± 0.34	6.03± 0.69
$\bar{\chi}$	2.11± 0.07	0.88± 0.09	1.28± 0.08	5.79± 0.23	2.17± 0.12	1.59± 0.12	10.67± 0.42	6.62± 1.40	517.85± 146.76	2.50± 1.06	16.83± 2.52	4.59± 0.40
LSD 05	0.28	0.35	0.31	0.92	0.48	0.48	1.66	5.51	576.97	4.16	9.92	1.56

The studied apple cultivars had significant differences in the amount of sugars, as well as in the content of fructose, glucose and sucrose (Table 1). Analysis of the sugar content in the fruits of the studied apple cultivars showed that on average they contained fructose 5.86%, glucose 2.14%, sucrose 1.61%. Significant differences in the total content of sugars in apple fruits were revealed – from 9.04 to 12.05%. According to the data of N.I. Savelyev and co-workers [14] and E.N. Sedov and co-workers [17], the sugar content of $\geq 11\%$ in apple fruits is high. Among the studied apple cultivars, this group includes Rozhdestvenskoye, Bolotovskoye and Candil Orlovsky. The fructose content in the fruits of the studied apple cultivars ranged from 4.92 to 6.57%. The highest content for this indicator was distinguished by Rozhdestvenskoye and Bolotovskoye, the lowest – Veniaminovskoye. The glucose level in the fruits of the studied apple cultivars was significantly lower than the fructose level and ranged from 1.81% (Veniaminovskoye) to 2.56% (Candil Orlovsky). The level of sucrose in apple fruits varied from 1.31 to 2.16%, which was slightly lower than glucose and significantly inferior to fructose. The highest content – 2.16% – was in Rozhdestvenskoye.

It was found that apple fruits had a high level of malic acid (180.90 – 1029.98 mg/100 g) and a relatively low level of citric acid (2.59 – 12.04 mg/100 g). In terms of acid content, Sinap Orlovsky stood out in particular. High accumulation of malic acid in fruits (889.88 mg/100 g) was noted in Veniaminovskoye. The highest saturation of citric acid in fruits was found in Sinap Orlovsky, Bolotovskoye and Veniaminovskoye. In terms of the content of hydroxycinnamic acids in fruits, Sinap Orlovsky was distinguished (6.81 mg/100 g), while in Rozhdestvenskoye and Candil Orlovsky, the content of hydroxycinnamic acids did not exceed 0.05 mg/100 g.

The calcium content in the fruits of the studied apple cultivars ranged from 8.85 mg/100 g (Sinap Orlovsky) to 22.03 mg/100 g (Bolotovskoye). The cultivars were mainly characterized by an average calcium content, the relatively low calcium content in the fruits was in Veniaminovskoye along with Sinap Orlovsky.

The determination of the hardness of the pulp of apples showed that with an average value of 4.59 kg/cm², the variability ranged from 3.56 kg/cm² (Ve-

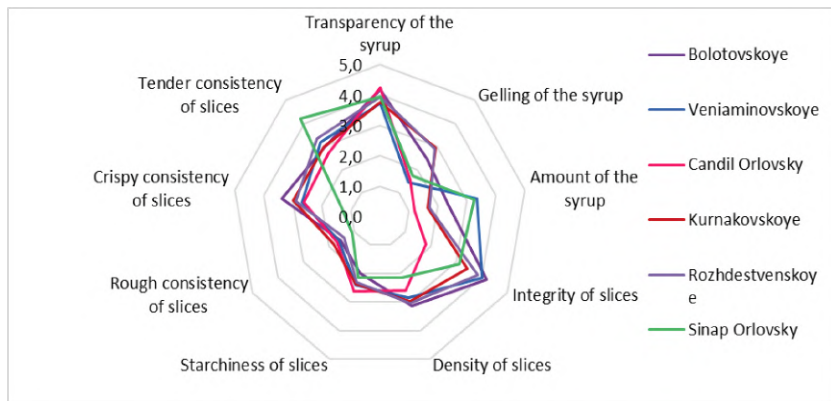
niaminovskoye) to 6.03 kg/cm² (Sinap Orlovsky). The fruits of Bolotovskoye were also characterized by a rather dense pulp (Table 1).

Sensory evaluation analysis. The appearance of apple preserve was evaluated on two aspects: the quality of the syrup and the quality of the slices (Table 2).

Table 2.

Groups of descriptors for sensory analysis of apple preserve

Visual descriptors that characterize the syrup quality	Visual descriptors that characterize quality of slices
Transparency	Integrity
Amount (1 point – no syrup, 5 points – a lot of syrup)	Density
Gelling	Starchiness
	Rough consistency of the slices (hardness)
	Crispy consistency
	Tender consistency

**Fig. 1.** Descriptive characteristics of apple preserve samples.

The statistically significant difference between cultivars is confirmed by the data of the analysis of variance and the Tuke test

Almost all samples were characterized by a typical appearance for apple preserve: whole slices evenly distributed in the syrup (Fig. 1, Table 2). The appearance of the preserve Candil Orlovsky was noted to be different from the rest of the samples. This sample was characterized by boiled slices and an almost complete absence of syrup, which is a significant disadvantage for preserves. At the same time, according to the integrity of the lobules and the amount of syrup, Candil Orlovsky

significantly differed from all other cultivars, which is confirmed by the Tuke test. Also reliably on the same level were Kurnakovskoye and Rozhdestvenskoye with a small amount of syrup as well as Veniaminovskoye and Sinap Orlovsky.

Table 3.

Sensory analysis of apple preserve, point

Cultivar	Syrup characteristics			Characteristics of slices					
	Transparency	Amount	Gelling	Integrity	Density	Starchiness	Rough consistency of the slices (hardness)	Crispy consistency	Tender consistency
Bolotovskoye	4.18±0.12	2.36±0.11	2.47±0.19	4.18±0.13	3.14±0.07	2.00±0.13	1.56±0.10	3.39±0.13	2.94±0.11
Veniaminovskoye	3.74±0.18	3.34±0.18	1.48±0.12	4.03±0.13	2.86±0.13	2.39±0.16	1.60±0.14	2.69±0.19	3.17±0.12
Candil Orlovsky	4.24±0.18	1.21±0.07	1.59±0.29	1.81±0.16	2.58±0.14	2.61±0.17	1.69±0.13	2.64±0.15	2.72±0.12
Kurnakovskoye	3.77±0.19	1.67±0.10	2.96±0.30	3.44±0.15	2.97±0.08	2.37±0.17	1.80±0.12	3.00±0.18	2.97±0.13
Rozhdestvenskoye	3.92±0.20	1.71±0.10	2.92±0.23	3.85±0.14	3.03±0.09	2.31±0.14	1.40±0.08	2.92±0.17	3.33±0.09
Sinap Orlovsky	3.94±0.13	3.25±0.15	1.72±0.14	3.13±0.13	2.14±0.13	2.14±0.23	1.08±0.05	1.29±0.11	4.19±0.12
$\bar{\chi}$	3.97±0.08	2.26±0.36	2.19±0.28	3.41±0.36	2.79±0.15	2.30±0.09	1.52±0.10	2.66±0.29	3.22±0.21
LSD 05	0.33	1.42	1.09	1.40	0.59	0.34	0.41	1.16	0.83

Despite the disadvantages of the preserve of some cultivars, in general, all samples received high acceptance ratings (Table 4). The all preserves were high rated, Candil Orlovsky was rated the lowest. According to our data, the preserve characterized by transparent syrup and whole slices with a crispy consistency is most preferable. At the same time, the amount of syrup and signs of its gelling do not play a big role, and the delicate consistency of the slices reduces the assessment of acceptability (Fig. 1, Table 4).

Table 4.

Assessment of the acceptability of apple preserve, point

Cultivar	Appearance	Taste	General
Bolotovskoye	4.30±0.20	4.00±0.04	4.35±0.13
Veniaminovskoye	4.35±0.19	4.38±0.06	4.37±0.13
Candil Orlovsky	4.03±0.12	4.33±0.03	4.17±0.03
Kurnakovskoye	4.33±0.12	4.33±0.18	4.33±0.07

Rozhdestvenskoye	4.23±0.07	4.37±0.03	4.33±0.07
Sinap Orlovsky	4.30±0.10	4.30±0.07	4.30±0.10
$\bar{x}$	4.26±0.05	4.29±0.06	4.32±0.03
LSD 05	0.19	0.23	0.12

The influence of raw material parameters on the organoleptic characteristics of the final product. The influence of some biochemical parameters on the preserve taste is confirmed correlation coefficients (Table 5).

Table 5.

The relationship (r) between the parameters of raw materials and the organoleptic characteristics of apple preserve

	hardness, kg/cm ²	Syrup characteristics			Characteristics of slices					
		transparency	amount	gelling	integrity	density	starchiness	consistency		
								rough (hardness)	crisp	tender
Dietary fiber (amount)	0.32	0.64	-0.07	-0.10	-0.21	0.31	-0.21	0.49	0.49	-0.58
IDF	-0.06	0.80*	-0.78	0.08	-0.45	0.34	0.38	0.54	0.54	-0.80*
SDF	0.35	-0.32	0.79	-0.18	0.50	-0.09	-0.60	-0.16	-0.16	0.37
Citric acid	0.67	-0.07	0.88*	-0.52	0.25	-0.59	-0.68	-0.80*	-0.64	0.77
Malic acid	0.05	-0.68	0.86*	-0.48	0.17	-0.58	-0.22	-0.56	-0.72	0.79
Hydroxycinnamic acids	0.38	-0.41	0.89*	-0.46	0.18	-0.63	-0.49	-0.62	-0.72	0.81*
Ca ⁺⁺ , mg/100 g	0.01	0.67	-0.87*	0.57	-0.18	0.56	0.15	0.61	0.71	-0.77
Pulp hardness, kg/cm ²	0.52	0.33	0.00	0.17	-0.33	-0.87*	-0.60	-0.26	0.43	

* - significant at the level of probability P=0,95

A pronounced feedback characterizes the dependence of the amount of syrup and the delicate consistency on the amount of calcium and the coarse consistency on the content of citric acid (Table 5). The amount of syrup in the preserve is influenced by the content of organic acids. Since the correlation coefficient has not been statistically confirmed in the case of the influence of citric and malic acids on the delicate consistency of preserve slices, we can talk about the tendency of the influence of organic acids: with a high acid content, intense destruction of protopectin occurs [2], that is, cultivars with a high acid content are not suitable for the production of jam due to the digestibility of fruit slices.

The high content of IDF in the raw materials ensures the transparency of the syrup, and the low content of IDF gives a delicate consistency of the slices. There is a significant feedback between the hardness of the fruits and the starchy consistency of the preserve slices, which confirms the importance of both the selection of cultivars and the use of fruits in the optimal (technical) degree of maturity for the preserve.

The approximation of the obtained data has shown that the revealed dependencies are described by linear and polynomial regression equations. The effect of calcium in fruits on the amount of syrup in the preserve can be described using linear regression (1):

$$A = -0.3114 \cdot Ca + 3.34; R^2 = 0.75 \quad (1)$$

where: A – the amount of the syrup in the preserve, point; Ca – amount of calcium, mg/100 g.

The analysis of Tables 1 and 3 shows that the largest amount of syrup was typical for Veniaminovskoye and Sinap Orlovsky, the fruits of which had the lowest calcium content.

The amount of syrup in the preserve also depends on the content of malic (2) and citric (3) acids in the raw material, which is described by the regression equation:

$$A = 0.3743 \cdot m + 0.94; R^2 = 0.76 \quad (2)$$

$$A = 0.0029 \cdot c + 2.24; R^2 = 0.78 \quad (3)$$

where: A – the amount of the syrup in the preserve, point; m – malic acid, mg/100 g; c – citric acid, mg/100 g.

The effect of malic (4) and citric (5) acids of fruits on the delicate consistency of preserve slices is subject to polynomial dependencies of the second degree:

$$TC = 2E-06 \cdot m^2 + -0.0017 \cdot m + 3.2083; R^2 = 0.70 \quad (4)$$

$$TC = 0.0245 \cdot c^2 - 0.2366 \cdot c + 3.4753; R^2 = 0.75 \quad (5)$$

where: TC – tender consistency of preserve slices, point; m – malic acid, mg/100 g; c – citric acid, mg/100 g.

As already reported above, with a high acid content, the destruction of protopectin occurs more intensively, which leads to softening of the lobules and a larger volume of syrup in the preserve.

Fruit hardness is one of the indicators of the degree of fruit maturity [20]. Since we used fruits with a technical degree of maturity, and there was no goal to study the effect of different degrees of maturity on the consistency of preserve slices, the relationship between the hardness of fruits and the starchy consistency of the slices can be considered linear for the obtained sample, which allows

us to determine the correlation coefficient (Table 5). Nevertheless, it is more logical to describe the effect of hardness on the consistency of the lobules using a polynomial equation of the second degree (6):

$$S = -0.0962 \cdot h^2 + 0.7848 \cdot h + 0.838; R^2 = 0.82 \quad (6)$$

where: S – starchy consistency of slices in the preserve, point; h – fruit hardness, kg/cm².

Conclusions

The study of the technological qualities of six apple cultivars for suitability for preserve has shown that they largely depend on the biochemical parameters of the raw materials. First of all, this applies to such indicators as the amount of syrup in the preserve, the integrity and consistency of the slices.

According to the sensory analysis data, all samples except Candil Orlovsky were characterized by a typical appearance for apple preserve: whole slices evenly distributed in the transparent syrup. At the same time, the preserve from Rozhdestvenskoye and Kurnakovskoye received the highest acceptance rating, while Candil Orlovsky and Sinap Orlovsky – the lowest rating. The results of sensory analysis showed that preserve characterized by transparent syrup and whole slices with a crispy consistency is most preferable.

The obtained data on the relationship of some chemical and technological indicators of raw materials and the quality of the finished product – preserve – allow us to predict the quality of the finished product and design a product with specified quality parameters.

Conflict of interest information. The authors declare that there is no conflicts of interest.

Sponsorship information. This research work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project FGZS-2022-0007.

References

1. Akimov, M. Yu., Bessonov, V. V., Kodentsova, V. M., Eller, K. I., Vrzhesinskaya, O. A., Beketova, N. A., Kosheleva, O. V., Bogachuk, M. N., Malinkin, A. D., Makarenko, M. A., Shevyakova, L. V., Perova, I. B., Rylina, E. V., Makarov, V. N., Zhidekhina, T. V., Koltsov, V. A., Yushkov, A. N., Novotortsev, A. A., Bryksin, D. M., & Khromov, N. V. (2020). Biological value of fruits and berries produced in Russia. *Nutrition Issues*, 89(4), 220–232. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>. EDN: <https://elibrary.ru/UOAQLM>

2. Gorshkova, R. M., Khalikov, D. Kh., Slobodova, D. A., Uspensky, A. A., & Slobodov, A. A. (2018). Physicochemical study of protopectin degradation under the action of acidic catalysts. *Proceedings of SPbSTI (TU)*, (43), 7–11. <https://doi.org/10.15217/issn1998984-9.2018.43.7>. EDN: <https://elibrary.ru/XNGNBJ>
3. GOST 29059-91. *Fruit and vegetable processed products. Titrimetric method for determination of pectin substances*. Moscow: Standartinform, 1992. 6 p.
4. GOST 34113-2017. *Jam. General specifications*. Moscow: Standartinform, 2017. 15 p.
5. GOST 34844-2022. *Food products. Determination of total dietary fibre content*. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. 11 p.
6. GOST 8756.13-87. *Processed fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars*. Moscow: Standartinform, 2010. 10 p.
7. GOST ISO 6658-2016. *Sensory analysis. Methodology. General guidance*. Moscow: Standartinform, 2016. 20 p. ISO 6658:2017. *Sensory analysis. Methodology. General guidance*, 2017.
8. GOST ISO 8586-2015. *Sensory analysis. General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert assessors*. Moscow: Publishing House of Standards, 2015. 25 p.
9. *Methods for analysis of minor biologically active food substances* (2010) / Ed. by V. A. Tutelyan, K. I. Eller. Moscow: Dinastiya. 180 p.
10. Motyleva, S. N., & Borisova, A. A. (2018). Comparative biochemical composition of apple fruits of domestic and foreign varieties. *Horticulture and Viticulture*, (6), 12–18. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-12-18>. EDN: <https://elibrary.ru/YSXOHJ>
11. Prichko, T. G., Chalaya, L. D., & Karpushina, M. V. (2011). Changes in quality indicators of apple fruits during cultivation and storage. *Fruit Growing and Viticulture in the South of Russia*, (7), 1. Retrieved from: <http://journal.kubansad.ru/pdf/11/01/02.pdf> (accessed: 25.01.2025). EDN: <https://elibrary.ru/NDIILL>
12. Raik, S. Ya. (1958). Pectin substances in melons. Report 2. Volumetric method for determining pectin substances in fodder watermelon. *Proceedings of the Moldavian Branch of the USSR Academy of Sciences*, 5, 15–24.
13. *Guidelines for quality and safety control methods of biologically active food supplements R 4.1.1672-03* (2004). Moscow: Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Ministry of Health of Russia. 240 p.
14. Savelyev, N. I., Savelyeva, N. N., & Yushkov, A. N. (2009). *Promising immune apple varieties: scientific publication*. Michurinsk Science City of the Russian Federation: GNU VNIIGiSPR named after I. V. Michurin of the Russian Agricultural Academy. 128 p.

15. Salina, E. S., & Sidorova, I. A. (2019). Influence of calcium content in apples on juice yield. *Breeding and Variety Development of Horticultural Crops*, 6(2), 76–78. EDN: <https://elibrary.ru/ZENKDJ>
16. Salina, E. S., Sidorova, I. A., & Levgerova, N. S. (2019). Apple flesh firmness as an indicator of technical maturity for juice production. *Modern Horticulture*, 3, 78–84. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10309>. EDN: <https://elibrary.ru/TALSOQ>
17. Sedov, E. N., Makarkina, M. A., & Levgerova, N. S. (2007). Characterization of the apple gene pool by biochemical and technological fruit qualities. *Bulletin of OrelSAU*, (3), 20–24. EDN: <https://elibrary.ru/KXRWPH>
18. Trunov, I. A., Pugachev, G. N., & Zakharov, V. L. (2005). Influence of weather conditions on calcium content in apple leaves and fruits. *Issues of Modern Science and Practice. Vernadsky University*, (1), 31–34.
19. Federal Law No. 159-FZ dated 11.06.2021 (latest revision). *On agricultural products, raw materials and food with improved characteristics*. Retrieved from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202106110018?index=0&rangeSize=1> (accessed: 19.01.2025)
20. Fathizadeh, Z., Aboonajmi, M., & Hassan-Beygi, S. R. (2021). Nondestructive methods for determining the firmness of apple fruit flesh. *Information Processing in Agriculture*, 8(4), 515–527. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.12.002>. EDN: <https://elibrary.ru/QXQJKG>
21. Featherstone, S. (2016). Jams, jellies, and related products. *B A Complete Course in Canning and Related Processes* (Vol. 3, pp. 313–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16340-4>
22. Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT*, 111, 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
23. Fotirić Akšić, M., Dabić Zagorac, D., Gašić, U., Tosti, T., Natić, M., & Meland, M. (2022). Analysis of apple fruit (*Malus × domestica* Borkh.) quality attributes obtained from organic and integrated production systems. *Sustainability*, 14(9), 5300. <https://doi.org/10.3390/su14095300>. EDN: <https://elibrary.ru/QMYAJS>
24. ISO 3972:2011/COR 1:2012. *Sensory analysis. Methodology. Method of investigating sensitivity of taste. Technical Corrigendum 1*. 2012.
25. ISO 4121:2003. *Sensory analysis. Guidelines for the use of quantitative response scales*. 2004.
26. ISO 6658:2017. *Sensory analysis. Methodology. General guidance*. 2017.
27. Jakobek, L., & Matić, P. (2019). Non-covalent dietary fiber-polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.024>

28. Lan, W., Baeten, V., Jaillais, B., Renard, C. M. G. C., Arnould, Q., Chen, S., Leca, A., & Bureau, S. (2022). Comparison of near-infrared, mid-infrared, Raman spectroscopy and near-infrared hyperspectral imaging to determine chemical, structural and rheological properties of apple purees. *Journal of Food Engineering*, 323, 111002. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111002>. EDN: <https://elibrary.ru/NCDNXS>
29. Oszmiański, J., Lachowicz, S., Gławdel, E., Cebulak, T., & Ochmian, I. (2018). Determination of phytochemical composition and antioxidant capacity of 22 old apple cultivars grown in Poland. *European Food Research and Technology*, 244(4), 647–662. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2989-9>. EDN: <https://elibrary.ru/MBTVBZ>
30. Shen, C. W., Li, Y., Wang, J., Al Shoffe, Y., Dong, C. X., Shen, Q. R., & Xu, Y. C. (2018). Potassium influences expression of key genes involved in sorbitol metabolism and its assimilation in pear leaf and fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(3), 883–895. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9783-1>. EDN: <https://elibrary.ru/DGLJLC>
31. Tukey, J. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>
32. Zou, X., Xu, X., Chao, Z., Jiang, X., Zheng, L., & Jiang, B. (2022). Properties of plant-derived soluble dietary fibers for fiber-enriched foods: A comparative evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 223, 1196–1207. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.008>. EDN: <https://elibrary.ru/ADPKHM>

Список литературы

1. Акимов, М. Ю., Бессонов, В. В., Коденцова, В. М., Эллер, К. И., Вржесинская, О. А., Бекетова, Н. А., Кошелева, О. В., Богачук, М. Н., Калинин, А. Д., Макаренко, М. А., Шевякова, Л. В., Перова, И. Б., Рылина, Е. В., Макаров, В. Н., Жидехина, Т. В., Кольцов, В. А., Юшков, А. Н., Новоторцев, А. А., Брыксин, Д. М., & Хромов, Н. В. (2020). Биологическая ценность плодов и ягод российского производства. *Вопросы питания*, 89(4), 220–232. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>. EDN: <https://elibrary.ru/UOAQLM>
2. Горшкова, Р. М., Халиков, Д. Х., Слободова, Д. А., Успенский, А. А., & Слободов, А. А. (2018). Физико-химическое исследование процесса распада протопектина под действием кислотных катализаторов. *Известия СПбГТИ (ТУ)*, (43), 7–11. <https://doi.org/10.15217/issn1998984-9.2018.43.7>. EDN: <https://elibrary.ru/XNGNBJ>

3. ГОСТ 29059-91. *Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ*. Москва: Стандартинформ, 1992. 6 с.
4. ГОСТ 34113-2017. *Варенье. Общие технические условия*. Москва: Стандартинформ, 2017. 15 с.
5. ГОСТ 34844-2022. *Продукция пищевая. Определение массовой доли пищевых волокон*. Москва: Российский институт стандартизации, 2022. 11 с.
6. ГОСТ 8756.13-87. *Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров*. Москва: Стандартинформ, 2010. 10 с.
7. ГОСТ ISO 6658-2016. *Органолептический анализ. Методология. Общее руководство*. Москва: Стандартинформ, 2016. 20 с. ISO 6658:2017. *Sensory analysis. Methodology. General guidance*, 2017.
8. ГОСТ ISO 8586-2015. *Органолептический анализ. Общие руководящие указания по отбору, обучению и контролю за работой отобранных испытателей и экспертов-испытателей*. Москва: Изд-во стандартов, 2015. 25 с.
9. *Методы анализа минорных биологически активных веществ пищи* (2010) / Под ред. В. А. Тутельяна, К. И. Эллера. Москва: Династия. 180 с.
10. Мотылева, С. Н., & Борисова, А. А. (2018). Сравнительный биохимический состав плодов яблони отечественных и зарубежных сортов. *Садоводство и виноградарство*, (6), 12–18. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2018-6-12-18>. EDN: <https://elibrary.ru/YSXOHJ>
11. Причко, Т. Г., Чалая, Л. Д., & Карпушина, М. В. (2011). Изменение качественных показателей плодов яблони в процессе выращивания и хранения. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, (7), 1. Получено из <http://journal.kubansad.ru/pdf/11/01/02.pdf> (дата обращения: 25.01.2025). EDN: <https://elibrary.ru/NDIILL>
12. Раик, С. Я. (1958). Пектиновые вещества бахчевых. Сообщение 2. Объёмный метод определения пектиновых веществ в кормовом арбузе. *Известия Молдавского филиала АН СССР*, 5, 15–24.
13. *Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище Р 4.1.1672-03* (2004). Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 240 с.
14. Савельев, Н. И., Савельева, Н. Н., & Юшков, А. Н. (2009). *Перспективные иммунные сорта яблони: научное издание*. Мичуринск-наукоград РФ: ГНУ ВНИИГиСПР им. И. В. Мичурина Россельхозакадемии. 128 с.
15. Салина, Е. С., & Сидорова, И. А. (2019). Влияние содержания кальция в яблоках на выход сока. *Селекция и сорторазведение садовых культур*, 6(2), 76–78. EDN: <https://elibrary.ru/ZENKDJ>

16. Салина, Е. С., Сидорова, И. А., & Левгерова, Н. С. (2019). Твёрдость мякоти яблок как показатель технической степени зрелости для сока. *Современное садоводство*, 3, 78–84. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10309>. EDN: <https://elibrary.ru/TALSOQ>
17. Седов, Е. Н., Макаркина, М. А., & Левгерова, Н. С. (2007). Характеристика генофонда яблони по биохимическим и технологическим качествам плодов. *Вестник ОпёлГВУ*, (3), 20–24. EDN: <https://elibrary.ru/KXRWPH>
18. Трунов, И. А., Пугачёв, Г. Н., & Захаров, В. Л. (2005). Влияние погодных условий на содержание кальция в листьях и плодах яблони. *Вопросы современной науки и практики. Университет им. Вернадского*, (1), 31–34.
19. Федеральный закон от 11.06.2021 № 159-ФЗ (последняя редакция). *О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками*. Получено из <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202106110018?index=0&rangeSize=1> (дата обращения: 19.01.2025)
20. Fathizadeh, Z., Aboonajmi, M., & Hassan-Beygi, S. R. (2021). Nondestructive methods for determining the firmness of apple fruit flesh. *Information Processing in Agriculture*, 8(4), 515–527. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.12.002>. EDN: <https://elibrary.ru/QXQJKG>
21. Featherstone, S. (2016). Jams, jellies, and related products. *B A Complete Course in Canning and Related Processes* (Vol. 3, pp. 313–349). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-16340-4>
22. Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT*, 111, 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
23. Fotirić Akšić, M., Dabić Zagorac, D., Gašić, U., Tosti, T., Natić, M., & Meland, M. (2022). Analysis of apple fruit (*Malus × domestica* Borkh.) quality attributes obtained from organic and integrated production systems. *Sustainability*, 14(9), 5300. <https://doi.org/10.3390/su14095300>. EDN: <https://elibrary.ru/QMYAJS>
24. ISO 3972:2011/COR 1:2012. *Sensory analysis. Methodology. Method of investigating sensitivity of taste. Technical Corrigendum 1*. 2012.
25. ISO 4121:2003. *Sensory analysis. Guidelines for the use of quantitative response scales*. 2004.
26. ISO 6658:2017. *Sensory analysis. Methodology. General guidance*. 2017.
27. Jakobek, L., & Matić, P. (2019). Non-covalent dietary fiber-polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.024>
28. Lan, W., Baeten, V., Jaillais, B., Renard, C. M. G. C., Arnould, Q., Chen, S., Leca, A., & Bureau, S. (2022). Comparison of near-infrared, mid-infrared, Ra-

- man spectroscopy and near-infrared hyperspectral imaging to determine chemical, structural and rheological properties of apple purees. *Journal of Food Engineering*, 323, 111002. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111002>. EDN: <https://elibrary.ru/NCDNXS>
29. Oszmiański, J., Lachowicz, S., Gławdel, E., Cebulak, T., & Ochmian, I. (2018). Determination of phytochemical composition and antioxidant capacity of 22 old apple cultivars grown in Poland. *European Food Research and Technology*, 244(4), 647–662. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2989-9>. EDN: <https://elibrary.ru/MBTVBZ>
30. Shen, C. W., Li, Y., Wang, J., Al Shoffe, Y., Dong, C. X., Shen, Q. R., & Xu, Y. C. (2018). Potassium influences expression of key genes involved in sorbitol metabolism and its assimilation in pear leaf and fruit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(3), 883–895. <https://doi.org/10.1007/s00344-018-9783-1>. EDN: <https://elibrary.ru/DGLJLC>
31. Tukey, J. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, 5(2), 99–114. <https://doi.org/10.2307/3001913>
32. Zou, X., Xu, X., Chao, Z., Jiang, X., Zheng, L., & Jiang, B. (2022). Properties of plant-derived soluble dietary fibers for fiber-enriched foods: A comparative evaluation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 223, 1196–1207. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.008>. EDN: <https://elibrary.ru/ADPKHM>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena S. Salina, PhD. (Agricultural sciences), Leading Researcher in the Sector of the Technological Assessment of Varieties
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
1, Zhilina, Orel municipal district, Orel region, 302530, Russian Federation
salina@orel.vniispk.ru
SPIN-code: 5518-7428
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1276-5153>
ResearcherID: K-6015-2018
Scopus Author ID: 57226609973

Mikhail Yu. Akimov, Dr. Sc. (Agricultural Sciences), Director
Federal State Scientific Institution 'I.V. Michurin Federal Scientific Center'
30, Michurin Str., Michurinsk, Tambov Region, 393774, Russian Federation
info@fnc-mich.ru
SPIN-code: 4166-9926
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4426-6268>
ResearcherID: ABG-5702-2021
Scopus Author ID: 57210664816

Nadezhda S. Levgerova, Dr. Sc. (Agricultural Sciences), Chief Researcher,
Head of the Sector of the Technological Assessment of Varieties
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
1, Zhilina, Orel municipal district, Orel region, 302530, Russian Federation
levgerova@orel.vniispk.ru
SPIN-code: 9062-6576
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9273-5658>
ResearcherID: K-6036-2018
Scopus Author ID: 57226613104

Irina A. Sidorova, PhD. (Agricultural sciences), Senior Researcher in the Sector of the Technological Assessment of Varieties
Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding
1, Zhilina, Orel municipal district, Orel region, 302530, Russian Federation
sidorova@orel.vniispk.ru
SPIN-code: 742440
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7599-487X>
ResearcherID: K-6133-2018

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Салина Елена Сергеевна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник сектора технологической оценки сортов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»
д. Жилина, 1, Орловский р-н, Орловская обл., 302530, Российская Федерация
salina@orel.vniispk.ru

Акимов Михаил Юрьевич, д-р с.-х. наук, директор

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр имени И.В. Мичурина»
ул. Мичурина, 30, г. Мичуринск, Тамбовская обл., 393774, Российская
Федерация
info@fnc-mich.ru*

Левгерова Надежда Станиславовна, д-р с.-х. наук, главный научный

*сотрудник, заведующий сектором технологической оценки сортов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»
д. Жилина, 1, Орловский р-н, Орловская обл., 302530, Российская
Федерация
levgerova@orel.vniispk.ru*

Сидорова Ирина Анатольевна, канд. с.-х. наук, старший научный со-
трудник сектора технологической оценки сортов

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт селекции плодовых культур»
д. Жилина, 1, Орловский р-н, Орловская обл., 302530, Российская
Федерация
sidorova@orel.vniispk.ru*

Поступила 20.02.2025

После рецензирования 02.04.2025

Принята 05.05.2025

Received 20.02.2025

Revised 02.04.2025

Accepted 05.05.2025

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1280

EDN: WYBKZM

УДК 614.2



Научная статья

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ ЛЕТЧИКОВ ВЫСОКОМАНЕВРЕННОЙ АВИАЦИИ

Е.В. Невзорова, Д.О. Сенина, С.Э. Белоконь

Аннотация

Обоснование. Приоритетным направлением в оценке профессионального здоровья военных летчиков является разработка методов, определяющих преморбидное состояние. Предложенные методы нуждаются в оптимизации, так как, во-первых, необходимы экспресс-методики, позволяющие за небольшое время определить функциональное состояние летчика, регулярное проведение которых позволит обеспечить безопасность полетов, во-вторых, определение единого критерия оценки полученных результатов обуславливает необходимость стандартизации методов, которая позволит определить единый критерий оценки полученных результатов, обеспечить единообразие процедуры проведения и оценки полученных в ходе обследования результатов.

Цель исследования – разработать «Экспресс-метод диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков», стандартизировать метод в соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002».

Методы исследования. Определен контингент выборки: летчики высокоманевренной авиации. Профессиональные качества испытуемых оценивали по данным функциональной устойчивости, психических и психофизиологических показателей. Статистический анализ экспериментальных данных осуществляли с помощью программы «STATISTICA 10.10.» Для стандартизации метода использовали Государственный стандарт РФ ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.

Результаты. Разработан и стандартизирован в соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» «Экспресс-метод диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков».

Заключение. Экспресс-метод позволяет за небольшое время определить уровень здоровья военного летчика. Преимущество данного метода состоит в возможности своевременно диагностировать донозологические состояния, что является обеспечением безопасности полетов.

Ключевые слова: летчики высокоманевренной авиации; летная профессиональная деятельность; профессиональное здоровье; профессиональные качества

Для цитирования. Невзорова, Е. В., Сенина, Д. О., & Белоконов, С. Э. (2025). Оценка уровня профессионального здоровья летчиков высокоманевренной авиации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 423-444. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1280>

Original article

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PROFESSIONAL HEALTH OF HIGH-MANEUVERABILITY AVIATION PILOTS

E.V. Nevzorova, D.O. Senina, S.E. Belokon

Abstract

Background. The priority direction in assessing the professional health of military pilots is the development of methods that determine the premorbid state. The proposed methods need to be optimized, since, firstly, express methods are needed that allow for a short period of time to determine the functional state of the pilot, the regular implementation of which will ensure flight safety, and secondly, the definition of a single criterion for assessing the obtained results necessitates the standardization of methods, which will allow for a single criterion for assessing the obtained results, ensuring uniformity in the procedure for conducting and assessing the results obtained during the survey.

Purpose – to develop an “Express Method for Diagnosing the Level of Professional Health of Military Pilots”, to standardize the method in accordance with “GOST R ISO 5725-1-2002”.

Research methods. The sample contingent was determined: pilots of highly maneuverable aviation. The professional qualities of the subjects were assessed

based on functional stability, mental and psychophysiological indicators. Statistical analysis of the experimental data was carried out using the program “STATISTICA 10.10.” The State Standard of the Russian Federation GOST R ISO 5725-1-2002 was used to standardize the method.

Results. The “Express method for diagnosing the level of professional health of military pilots” was developed and standardized in accordance with “GOST R ISO 5725-1-2002”.

Conclusion. The express method allows determining the health level of a military pilot in a short time. The advantage of this method is the ability to promptly diagnose pre-clinical conditions, which ensures flight safety.

Keywords: pilots of highly maneuverable aviation; professional flight activity; professional health; professional qualities

For citation. Nevzorova, E. V., Senina, D. O., & Belokon, S. E. (2025). Assessment of the level of professional health of high-maneuverability aviation pilots. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 423-444. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1280>

Введение

Актуальной задачей современного этапа развития отечественной авиации является разработка и внедрение количественных показателей функциональных возможностей лиц летных специальностей, определение уровня его профессионального здоровья (ПЗ). Приоритетным направлением в оценке уровня профессионального здоровья лиц летных специальностей является разработка новых технологий диагностики перморбидных состояний, стрессогенных расстройств и организация на их основе персонафицированных программ восстановления и реабилитации, основные положения которых отображены в работах Г.Г. Кутелева [11], Д.А. Никифорова, А.А. Вороны, А.В. Богомолова, Ю.А. Кукушкина [13], Е.В. Невзоровой [12]. В настоящее время Врачебно-лётная экспертная комиссия (ВЛЭК), задачей которой является оценка профессиональной трудоспособности и сохранение здоровья авиационных специалистов, выносит заключение о годности или негодности к лётной работе в соответствии с действующими Федеральными авиационными правилами.

В работах В.А. Пономаренко [16], Е.В. Невзоровой [12] предложены методы, определяющие функциональное состояние лиц летных специальностей, которые позволяют диагностировать донозологические состояния. Однако, данные методы, с учетом безопасности полетов, нуждаются в усовершенствовании. Во-первых, обеспечение безопасности полетов

предусматривает разработку и внедрение экспресс-диагностики, которая позволит за короткий срок определить функциональное состояние летного специалиста. Во-вторых, для получения достоверных результатов и обеспечения высокого качества измерений предложенные методы по оценке функционального состояния летных специалистов должны проходить процедуру стандартизации, которая позволит обеспечить единообразие проведения и оценки полученных в ходе обследования результатов.

Цель исследования – с целью обеспечения безопасности полетов разработать и стандартизовать «Экспресс-метод диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков».

Задачи исследования:

1. Изучить профессиональные качества летчиков ВМА по данным функциональной устойчивости, психических и психофизиологических показателей, влияющих на профессиональную надежность в полете; оценить показатели профессиональных качеств испытуемых в зависимости от группы профессионального здоровья;
2. Разработать, стандартизовать и апробировать метод в условиях профессиональной летной деятельности.

Материалы и методы

В исследовании принимали участие летчики высокоманевренной авиации (ВМА) ($n=60$). Военная служба летчиков характеризуется вредными, специфическими условиями труда [5]. Во время обследования летчики выполняли различной степени сложности полеты.

В ходе исследования проведена оценка профессиональных качеств испытуемых, для оценки которых использовали показатели функциональной устойчивости организма, психических и психофизиологических характеристик, влияющих на профессиональную надежность в полете.

Использование интегральной оценки предложенных показателей позволило определить уровень профессионального здоровья летчиков ВМА функций, разработать и стандартизировать экспресс метод оценки профессионального здоровья испытуемых.

Для статистического анализа использовали программу «STATISTICA 10.10». Стандартизацию метода проводили в соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» [9].

Степень разработанности темы исследования

Изучение здоровья в экстремальной профессиональной деятельности в последние годы вызывает интерес у многих специалистов в области фун-

даментальных и прикладных наук, таких как физиология, медицина, гигиена. Большое внимание уделяется оценке адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний [4], психологическим аспектам профессиональной адаптации [10; 22; 24], полиморбидности военнослужащих различных возрастных групп [7] и методам профилактической военной авиационной медицины [14; 17].

Учеными Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова проведены исследования и разработка концепции профессиональной работоспособности лиц военного труда [1], обоснование которой послужило предпосылкой создания военной психофизиологии. В ходе исследовательских работ были предложены разработки по оценке факторов, которые влияют на здоровье и работоспособность военного контингента [6], принципы [11] и информатизации программ персонифицированной адаптационной медицины [20].

В работах Советского физиолога, создателя теории функциональных систем, академика АМН СССР имеется утверждение, что адаптивность организма в значительной степени зависит от действия на его организм экстремальных факторов [2; 3]. Эту теорию подтверждают труды Р.М. Бавеского и А.П. Бересневой [4] в которых дается оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний военнослужащих, обзор А.С. Васильченко, М.М. Проничевой, Т.Н. Кабанова Т.Н., по психическим расстройствам у военнослужащих, вызванных расстройствами адаптации [6].

Эти исследования позволяет признать, что вопрос донозологического, т.е. раннего определения уровня адаптационного потенциала и снижения профессионального здоровья является важнейшей задачей военной медицины.

Для решения вопроса, связанного с оценкой функционального состояния лиц летных специальностей авиационная медицина использует значительный арсенал методов и способов.

Приоритетным методом оценки функциональных резервов организма на сегодняшний день по мнению Советского и российского деятеля авиационной и космической медицины, генерал-майора медицинской службы С.А. Бугрова видится оценка функционального состояния организма, так как считается, что это понятие интегрирует в себе активность разнообразных физиологических и психофизиологических систем, которые определяют особенности деятельности индивида [5].

Выдающийся Советский и Российский физиолог К.В. Судаков полагает, что для выполнения надежной профессиональной деятельности необ-

ходимы профессиональные качества, обусловленные функциональными резервами, которые, в свою очередь, обеспечиваются состоянием физического и психического здоровья [19].

Ведущие специалисты в области профессионального здоровья С.А. Бугров, Э.В. Лапаев, В.А. Пономаренко В.А. предлагают методические подходы к оценке функциональных систем.

В качестве оценки клинического статуса авторы предлагают использовать данные заключения врачебной комиссии: росто-весовые характеристики (антропометрический статус), физиологические характеристики (показатели сердечно-сосудистой системы и психоэмоционального статуса) [5].

Автор Е.М. Новиков для оценки функционального состояния организма предлагает использовать анализ вариабельности сердечного ритма, так как данный критерий отражает работу различных звеньев регуляторных систем организма. По утверждению автора, накоплены значительные теоретические и практические данные применения этого метода для изучения регуляции вегетативных функций в условиях полета и доказана значительная роль этого метода в оценке профессионального здоровья лиц летных специальностей [14].

В статье авторов С.В. Горнова, А.М. Щегольковой, В.Б. Титова приводится методика динамической регистрации вызванной электропроводности в биологически активных точках кожи, позволяющей диагностировать функциональное состояние организма летчиков [8].

Для обеспечения здравоохранения военных стран НАТО применяется концепция Predictive Health Management [23], которая включает различные технологии прогноза заболеваний военнослужащих и их предотвращения. В рамках этой концепции разрабатывается система, позволяющая удаленно контролировать функциональное состояние и боеспособность военных во время боевых действий.

С. Jones, A. Miguel-Cruz, S. Brémault-Phillips в своей работе продемонстрировали компьютеризированный метод нейрокогнитивной оценки, названный BrainFx SCREEN. Качественные данные оценивались с помощью тематического анализа. Метод показал повышенную надежность и эффективность по сравнению с традиционными инструментами когнитивной оценки [21].

Авторы Е. Tang, C. Jones C., L. Smith-MacDonald описали уникальный и новый подход мультимодальной десенсибилизации памяти с помощью движения и реконсолидационной терапии (3MDR). 3MDR решает проблему дисрегуляции эмоционального состояния путем стимуляции когнитив-

ных функций, улучшения дивергентного мышления и реконсолидацию памяти в отношении травматических воспоминаний. Интерактивное, основанное на виртуальной реальности, вмешательство для лечения посттравматического стрессового расстройства, показало многообещающие результаты среди военнослужащих и ветеранов в рандомизированных контролируемых испытаниях [25].

Все вышесказанное обуславливает возможность количественного определения физиологических, психологических, а также интегральных характеристик профессионального здоровья. Оценка данных параметров позволит определить уровень профессионального здоровья и, в соответствии с уровнем, предоставить рекомендации по обеспечению высокой эффективности производственного труда специалиста.

Результаты исследования

Технический результат заявленного метода состоит в повышении точности определения комплексной экспресс-оценки состояния профессионального здоровья летчика. Обеспечивается за счет учета показателей профессионально-значимых качеств в условиях предельной интенсивности нагрузки. Результаты исследования предполагается внедрить в систему управления безопасности полетов и планирования индивидуальных рекомендаций для послеполетной реабилитации.

Разработка «Экспресс-метода оценки уровня профессионального здоровья военных летчиков»

1) Оценка показателей профессиональных качеств летчиков ВМА на основании заключения врачебно-лётной комиссии

На основании заключения ВЛЭК были определены четыре группы профессионального здоровья летчиков.

Первую группу (n=18) составили испытуемые с заключением ВЛЭК «годен, без диагноза»; вторую группу (n=22) «Годен, с диагнозом»; третью группу (n=12) «Годен в порядке индивидуальной оценки»; четвертую группу (n=8) «Годен в порядке исключения». У всех испытуемых были определены показатели профессиональных качеств (Таб. 2).

2) Оценка профессиональных качеств летчиков ВМА в зависимости от группы профессионального здоровья

Используя метод балльной оценки каждому показателю, в зависимости от полученного значения, присваивались баллы (от 2 до 5 баллов). На основании полученной балльной шкалы определялись группы, с соответствующим уровнем профессионального здоровья пилота:

1. Группа «здоров» (от 4,5 до 5,0 баллов);
2. Группа «практически здоров» (от 3,6 до 4,4 баллов);
3. Группа «ослаблен» (от 3,0 до 3,5 баллов);
4. Группа «преморбидное состояние» (менее 2,9 баллов) (Таб. 3).

Таблица 2.

Оценка показателей профессиональных качеств летчиков ВМА на основании заключения врачебно-лётной комиссии (Md (G25-G75), n = 60)

№	Показатели	Группы профессионального здоровья на основании заключения врачебно-лётной комиссии				Критерий Краскела-Уоллиса (p)
		Группа 1 (n=18)	Группа 2 (n=22)	Группа 3 (n=12)	Группа 4 (n=8)	
1	Модифицированная проба Руфье (балл)	5,0 (4,0-5,0)	8,0 (8,0-10,0)	13,0 (12,0-14,0)	16,0 (16,0-18,0)	(p<0,01)
2	Проба Штанге (сек)	65,0 (62,0-68,0)	54,0 (53,0-57,0)	43,0 (42,0-48,0)	35,0 (33,0-36,0)	(p<0,01)
3	Проба Генча (сек)	51,0 (50,0-52,0)	41,0 (41,0-43,0)	36,0 (35,0-38,0)	32,0 (31,0-34,0)	(p<0,01)
4	Тест Амтхауэра (Субтест 8) (балл)	18,0 (18,0-20,0)	14,0 (14,0-16,0)	10,0 (10,0-12,0)	4,0 (4,0-8,0)	(p<0,01)
5	Тест «Черно-красная таблица» (сек)	150,0 (150,0-155,0)	192,0 (174,0-198,0)	250,0 (225,0-257,0)	290,0 (282,0-296,0)	(p<0,01)
6	Тест «Самочувствие-активность-настроение» (балл)	7,0 (6,0-8,0)	5,0 (5,0-6,0)	3,0 (3,0-4,0)	2,0 (2,0-3,0)	(p<0,01)

Таблица 3.

Оценка профессиональных качеств летчиков ВМА в зависимости от уровня профессионального здоровья

№ показателя	Показатели	Баллы			
		5	4	3	2
	Уровни профессионального здоровья	Здоров	Практически здоров	Ослаблен	Преморбидное состояние
1	Модифицированная проба Руфье (балл)	3,5-5,0	6,0-10,0	11,0-14,0	15,0-19,0
2	Проба Штанге (сек)	60,0-68,0	50,0-59,0	37,0-49,0	33,0-36,0
3	Проба Генча (сек)	46,0-52,0	40,0-45,0	35,0-39,0	31,0-34,0

4	Тест Амтхауэра (Суб-тест 8) (балл)	17,0-20,0	14,0-16,0	9,0-13,0	4,0-8,0
5	Тест «Черно-красная таблица» (сек)	150,0-155,0	156,0-198,0	199,0-257,0	258,0-296,0
6	Тест «Самочувствие-активность-настроение» (балл)	6,5-8,0	5,0-6,0	3,0-4,0	2,0-2,5

Экспериментальная проверка «Экспресс-метода диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков» на точность

Оценку точности результатов испытаний регламентирует стандарт «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» [9].

Путем стратифицированной рандомизации были сформированы однородные группы:

Группа №1. 5 испытуемых с I уровнем профессионального здоровья (здоров);

Группа №2. 5 испытуемых со II уровнем профессионального здоровья (практически здоров);

Группа №3. 5 испытуемых с III уровнем профессионального здоровья (ослаблен);

Группа №4. 5 испытуемых с IV уровнем профессионального здоровья (преморбидное состояние).

Согласно «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» оценка повторяемости проводилась для каждой группы отдельно, что необходимо для соблюдения требования однородности путем трехкратных измерений изучаемых показателей у одних и тех же испытуемых. Всего по каждому показателю проведено 15 серий.

При использовании программы Microsoft Excel и в соотв. с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» были рассчитаны статистические показатели: Критерий Кохера (для $n=15$) и Коэффициент вариации повторяемости методик [9]. Для расчета критерия Кохера (для $n=15$) и коэффициент вариации повторяемости методик были рассчитаны статистические показатели:

- Среднее значение $\bar{X}_{ср}$,
- СКО повторяемости
- Относительное СКО, % (CV)
- $(\text{СКО повторяемости})^2$
- $\max (\text{СКО повторяемости})^2$
- Сумма $(\text{СКО повторяемости})^2$

- $G_{\text{эксп}}$
- $G_{\text{табл}} (V=N-1, f=L, P=0,95)$
- Дисперсии однородны?
- СКО повторяемости методики
- Общее среднее, $X_{\text{ср\_ср}}$
- Отн. СКО повторяемости методики, %, (CV)
- Коэффициент вариации повторяемости методики, %

Апробация «Экспресс-метода диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков» в производственных условиях на примере летной деятельности летчиков ВМА

Используя схему предлагаемого экспресс-метода у летчиков ВМА ($n = 60$) определены уровни профессионального здоровья. Первый уровень «здоров» определен у 18 (30%) обследуемых, второй уровень «практически здоров» у 22 летчиков (36,6%), третий уровень «ослаблен» у 12 летчиков (20%), четвертый уровень «преморбидное состояние» был установлен у 8 (13,3) % обследуемых (Рис.1).

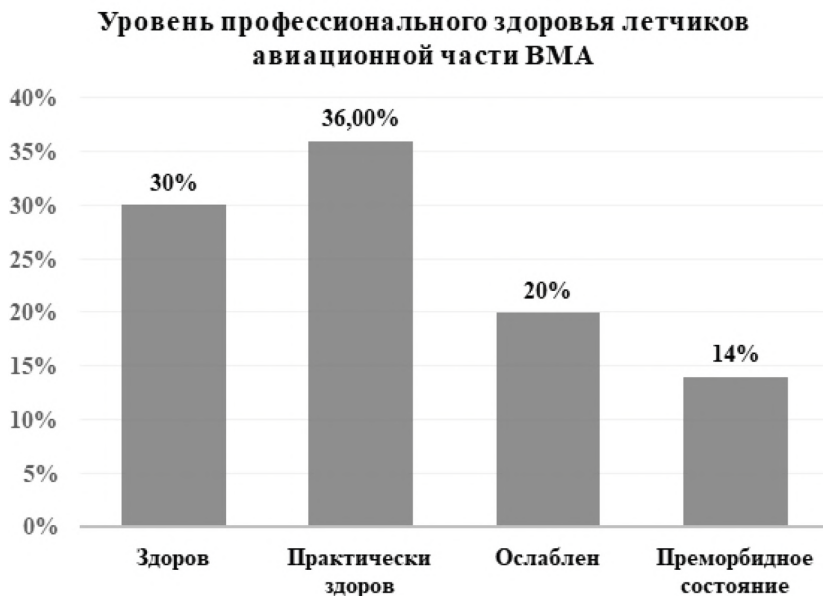


Рис. 1. Апробация «Экспресс-метода диагностики уровня профессионального здоровья военных летчиков» в производственных условиях на примере летной деятельности летчиков ВМА

Обсуждение

Для решения поставленных в исследовании задач определен контингент выборки: летчики ВМА-специалисты, работающие в условиях специфических факторов профессиональной вредности.

В результате исследования определены профессиональные качества испытуемых, которые оценивали по показателям функциональной устойчивости организма, психических и психофизиологических характеристик, влияющих на профессиональную надежность в полете.

Как показано в табл. 2, функциональные показатели испытуемых статистически отличались ($p < 0,01$) в зависимости от группы профессионального здоровья, определенной ВЛЭК.

1. «Модифицированная проба Руфье», (балл). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Голен, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показатели теста «Модифицированная проба Руфье» составили 5,0 баллов и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были выше в 1,6; 2,6; 3,2 раза соответственно. Увеличение показателей теста у обследуемых 2,3 и 4 групп обследования свидетельствует о нарушении адаптации системы кровообращения к потребностям организма и условиям внешней среды.

2. «Проба Штанге», (сек). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Голен, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показатели теста «Проба Штанге» составили 65,0 сек и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были ниже в 1,2; 1,5; 1,8 раза соответственно.

3. «Проба Генча», (сек). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Голен, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показатели теста «Проба Генча» (сек) составили 51,0 сек и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были ниже в 1,2; 1,4; 1,6 раза соответственно.

Уменьшение показателей Пробы Штанге и Пробы Генча свидетельствовало о нарушении устойчивости организма испытуемого к смешанной гиперкапнии и гипоксии при выполнении задержки дыхания на фоне глубокого вдоха, а проба Генче – на фоне глубокого выдоха.

4. «Тест Амтхауэра (Субтест 8)», (балл). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Голен, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показа-

тели «Теста Амтхауэра (Субтест 8)» составили 18,0 баллов и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были ниже в 1,2; 1,8; 4,5 раза соответственно. Снижение показателя Теста Амтхауэра позволяет сделать заключение о снижении уровня работы испытуемого с объёмными предметами в практическом пространстве, то есть о снижении уровня наглядно-действенного мышления.

5. Тест «Черно-красная таблица», (сек). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Годеи, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показатели теста «Черно-красная таблица» составили 147,5 сек и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были выше в 1,3; 1,7; 2,0 раза соответственно. Увеличение времени на прохождение теста «Черно-красная таблица» свидетельствовало о повышенной раздражительности, утомляемости и снижения работоспособности.

6. Тест «Самочувствие-активность-настроение», (балл). У обследуемых, относящихся к группе 1 «Годеи, без диагноза», согласно (Md (G25-G75), $n = 60$) показатели теста «Самочувствие-активность-настроение», (балл) составили 7,5 баллов и находилось в рамках границ физиологической нормы. По сравнению с показателями обследуемых первой группы, у обследуемых второй, третьей и четвертой групп показатели теста были ниже в 1,4; 2,3; 3,5 раза соответственно. Оценки более 4 баллов, свидетельствовали об эмоциональной стабильности и нормальном психическом состоянии испытуемых, адекватной психоэмоциональной реакции на нагрузку, ниже 4 баллов – об эмоциональной нестабильности, ухудшении психологического здоровья и неадекватной психоэмоциональной реакции на нагрузку.

Анализ полученных результатов комплекса характеристик профессиональных качеств позволил определить четыре уровня профессионального здоровья:

1) Уровень профессионального здоровья I «здоров» (от 4,5 до 5,0 баллов). Характеризуется высоким уровнем функционирования физиологических систем в условиях предельной интенсивности нагрузки, высокими показателями профессионально-значимых качеств, незначительной активацией психофизиологических функций.

2) Уровень профессионального здоровья II «практически здоров» (от 3,6 до 4,4 баллов). Характеризуется незначительным снижением функ-

циональных резервов в условиях предельной интенсивности нагрузки, снижением показателей профессионально-значимых качеств, умеренной активацией психофизиологических функций.

3) Уровень профессионального здоровья III «ослаблен» (от 3,0 до 3,5 баллов). Характеризуется перенапряжением функционирования физиологических систем в условиях предельной интенсивности нагрузки, значительным снижением показателей профессионально-значимых качеств, значительной активацией психофизиологических функций.

4) Уровень профессионального здоровья IV «преморбидное состояние» (менее 2,9 баллов). Характеризуется снижением профессиональных качеств, активацией психических и психофизиологических функций. Данные характеристики свидетельствуют о недостаточной способности к профессиональной летной деятельности и являются тактическим риском.

Для доказательства точности (правильности и прецизионности) проводимых исследований использовали характеристики критерия Кохера и коэффициента вариации повторяемости методики [9].

1. Критерий Кохера (для $n=15$). В соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» отражает соотношение наибольшей дисперсии и суммы всех дисперсий ($G_{\text{эксп}}$). Критерий Кохера $G_{\text{эксп}}$ при 95% уровне значимости не должен превышать $G_{\text{табл}}$ ($V=N-1$, $f=L$, $P=0,95$) равное 0,31. Данное различие считается статистически незначимым, т.е. дисперсии считаются однородными» [9].

2. Коэффициент вариации повторяемости методики. В соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» коэффициент вариации повторяемости методик отражает изменчивость вариационного ряда: меньше 10% - незначительную, от 10% до 20% - среднюю. Коэффициент вариации повторяемости методик выше 33% отражает неоднородность информации [9].

Анализ расчёта показателей точности выявил однородность данных (критерий Кохера G не превышал $G_{\text{табл}}$ равное 0,31) и незначительную изменчивость вариационного ряда (меньше 10%).

Принимая во внимание однородность дисперсий и незначительность изменчивости вариационного ряда показателей профессиональных качеств, можно утверждать, что «Экспресс-метод оценки уровня профздоровья военных летчиков» является приемлемым для диагностики перморбидных состояний и стрессогенных расстройств.

«Экспресс-метод оценки уровня профздоровья военных летчиков» был апробирован в условиях профессиональной деятельности летчиков ВМА. В результате апробации метода у летчиков авиационной части ($n = 60$) по

данным функциональной устойчивости организма, психических характеристик и психофизиологических показателей был определен уровень профессионального здоровья.

I уровень ПЗ – «здоров» определен у 18 (30%) обследуемых и характеризовал состояние высокого уровня бодрствования и готовности к выполнению определенной профессиональной деятельности;

II уровень ПЗ – «практически здоров» определен у 22 (36,6%) летчиков и свидетельствовал о состоянии, способном удерживать высокие уровни функционирования физиологических систем в условиях определенной профессиональной деятельности;

III уровень ПЗ – «ослаблен» определен у 12 летчиков (20%) и отражал состояние, близкое к состоянию переутомления, при котором сложно выполнять профессиональные обязанности;

IV уровень ПЗ, или «преморбидное состояние» был установлен у 8 (13,3) % обследуемых и свидетельствовал о снижении способности испытуемых к профессиональной деятельности и может привести к тактическим ошибкам.

Выводы

1. Предложен метод оценки уровня функциональной адаптации к факторам профессиональной деятельности летчиков ВМА по данным показателей профессиональных качеств, влияющих на профессиональную надежность в полете. Доказано, что изучаемые показатели являются информативными критериями оценки функционального состояния и профессионального здоровья летчиков ВМА для раннего выявления нарушений адаптационно-приспособительных реакций организма, диагностики до-нозологических состояний, прогнозирования патологических изменений при воздействии факторов производственной среды.

2. Дана интегральная оценка функционального состояния летчиков ВМА по данным комплекса информативных характеристик профессиональных качеств. Определены уровни профессионального здоровья испытуемых.

3. Установлено статистически достоверное изменение показателей профессиональных качеств в зависимости от группы профессионального здоровья испытуемых. В группах «здоров» и «практически здоров» они соответствовали нормальным значениям, в группах «ослаблен» и «преморбидное» свидетельствовали о неспособности центральной нервной системы быстро организовывать функциональную систему необходимой структуры и устойчиво удерживать ее оптимальное состояние.

4. Экспериментальная проверка точности (правильности и прецизионности) «Метода оценки уровня профессионального здоровья летчиков высшегокомандной авиации» в соответствии с «ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002» показала, что значения Критерия Кохера (соотношение наибольшей дисперсии и суммы всех дисперсий) $G_{\text{эксп}}$ не превышало табличного значения $G_{\text{табл}}$ ($V=N-1$, $f=L$, $P=0,95$) равного 0,34. Это различие считается статистически незначимым, т.н. дисперсии были однородны. Коэффициент вариации методики (CV) был меньше 10%, что свидетельствовало о незначительности изменчивости вариационного ряда [9].

Однородность дисперсий и незначительность изменчивости вариационного ряда диагностических параметров профессиональных качеств показали, что «Экспресс-метод оценки уровня профессионального здоровья военных летчиков» приемлем для диагностики перморбидных состояний и стрессогенных расстройств.

Заключение

Предложенный метод оценки уровня профессионального здоровья военных летчиков является методикой, которая позволяет за небольшое время определить функциональное состояние летного специалиста и его работоспособность.

Преимущество предлагаемого метода, в отличие от других методик определения уровня профессионального здоровья, состоит в своевременной возможности определить донологические, преморбидные состояния. Регулярное проведение экспресс-диагностики обеспечивает безопасность полетов и профессиональное здоровье лиц летных специальностей. Стандартизация метода позволит определить единый критерий оценки полученных результатов, обеспечить единообразие процедуры проведения и оценки полученных в ходе обследования результатов.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

Письменное информированное согласие на публикацию. Письменное информированное согласие было получено от пациента (-ов) на публикацию этой статьи.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках реализации программы развития ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина» «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Алпатов, В. Н. (2020). Перспективы изучения устойчивости к декомпрессионной болезни профессиональных водолазов. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*, (1), 87–90. <https://doi.org/10.17816/brmma25973>. EDN: <https://elibrary.ru/IWKWES>
2. Анохин, П. К. (1993). *Очерки по физиологии функциональных систем*. Москва: Медицина. 108 с.
3. Анохин, П. К. (1978). *Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды*. Москва: Наука. 399 с.
4. Баевский, Р. М., & Береснева, А. П. (1997). *Оценка адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний*. Москва: Медицина. 197 с.
5. Бугров, С. А., Лапаев, Э. В., & Пономаренко, В. А. (1993). Проблема профессионального здоровья в авиационной медицине. *Военно-медицинский журнал*, (1), 61–64.
6. Васильченко, А. С., Проничева, М. М., & Кабанова, Т. Н. (2020). Обзор по психическим расстройствам у военнослужащих, вызванных расстройствами адаптации. *Психическое здоровье*, (11), 73–80. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2020.11.73-80>. EDN: <https://elibrary.ru/IILKOY>
7. Воронин, С. В. (2020). Распространённость и особенности полиморбидности военнослужащих различных возрастных групп по результатам их медицинского освидетельствования для определения категории годности к военной службе. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*, (1), 39–44. <https://doi.org/10.17816/brmma25965>. EDN: <https://elibrary.ru/OFNWZM>
8. Горнов, С. В., Щегольков, А. М., Титов, В. Б., и др. (2016). Изучение влияния стрессовых воздействий на готовность авиационных специалистов к выполнению профессиональных действий. *РМЖ*, (13), 880–883. EDN: <https://elibrary.ru/WIDAAV>
9. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. *Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений*. Получено из <https://docs.cntd.ru/document/>

10. Дружилов, С. А. (2013). Профессиональное здоровье трудящихся и психологические аспекты профессиональной адаптации. *Успехи современного естествознания*, (6), 34–37. EDN: <https://elibrary.ru/QBSHSJ>
11. Кутелев, Г. Г., & Черкашин, Д. В. (2021). Необходимость создания и внедрения платформы управления профессиональной надёжностью военнослужащих Вооружённых Сил Российской Федерации, основанной на принципах персонализированной медицины. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.17816/brmma63648>. EDN: <https://elibrary.ru/HCNIWY>
12. Невзорова, Е. В. (2022). Метод оценки профессионального здоровья спортсменов-парашютистов по показателям функциональной устойчивости и профессионально важных качеств. *Глобальный научный потенциал*, (1), 42–46. EDN: <https://elibrary.ru/DSTFIH>
13. Никифоров, Д. А., Ворона, А. А., Богомолов, А. В., & Кукушкин, Ю. А. (2015). Методика оценивания потенциальной ненадёжности действий лётчика. *Безопасность жизнедеятельности*, (7), 7–16. EDN: <https://elibrary.ru/UBKHFB>
14. Новиков, Е. М. и др. (2020). Вариабельность сердечного ритма, дисперсионное картирование и оценка пульсовой волны в экспертной оценке лётного состава. *Военно-медицинский журнал*, 341(4), 68–69. EDN: <https://elibrary.ru/IXUPSI>
15. Пономаренко, В. А. (2006). Концепция профессионального здоровья и перспективы практики военной авиационной медицины. *Военно-медицинский журнал*, 327(7), 63–66. EDN: <https://elibrary.ru/HUZBGP>
16. Пономаренко, В. А., & Ворона, А. А. (2014). Предпосылки для развития профилактической военной авиационной медицины. *Военно-медицинский журнал*, 335(10), 55–59. EDN: <https://elibrary.ru/SXETXH>
17. Пономаренко, Г. Н. (2022). Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития. *Физическая и реабилитационная медицина*, 4(1), 8–20. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2022-4-1-8-20>. EDN: <https://elibrary.ru/IUWDXX>
18. Приказ от 9 октября 1999 г. № 455 «Об утверждении положения о медицинском освидетельствовании лётного состава авиации Вооружённых Сил Российской Федерации» (в ред. Приказа Министра обороны РФ от 19.06.2009 № 561).
19. Судаков, К. В. (1987). *Функциональные системы организма*. Москва: Медицина. 236 с.
20. Ушаков, И. Б., & Богомолов, А. В. (2014). Информатизация программ персонализированной адаптационной медицины. *Вестник Российской ака-*

- демии медицинских наук, (5–6), 124–128. <https://doi.org/10.15690/vramn.v69i5-6.1056>. EDN: <https://elibrary.ru/QLZLBT>
21. Jones, C., Miguel-Cruz, A., & Brémault-Phillips, S. (2021). BrainFx SCREEN technology adoption and use in Canadian military personnel and veterans with PTSD and mild traumatic brain injury: A mixed methods study. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 8(2), e26078. <https://doi.org/10.2196/26078>
 22. Martins, L. C., & Lopes, C. S. (2012). Military hierarchy, work stress and mental health in peacetime. *Occup Med (London)*, 62(3), 182–187. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqs006>
 23. Poropatich, R. (2016). Predictive health management (PHM) for human assets – military perspective. В *Annual PHM and DX Conferences*. Pittsburg. Получено из <https://www.phmsociety.org/sites/phmsociety.org/files/Poropatich>
 24. Stephenson, M. D., & Schram, B. (2022). Effects of acute stress on psychophysiology in armed tactical occupations. *Int J Environ Res Public Health*, 19(3), 1802. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031802>. EDN: <https://elibrary.ru/MOZURY>
 25. Tang, E., Jones, C., & Smith-MacDonald, L. (2021). Reduction in emotional dysregulation after multimodal movement desensitization and memory reconsolidation (3MDR): Identifying potential drivers of recovery in treatment-resistant PTSD. *Int J Environ Res Public Health*, 18(22), 12243. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212243>. EDN: <https://elibrary.ru/GSKIMB>

References

1. Alpatov, V. N. (2020). Prospects for studying resistance to decompression sickness in professional divers. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, (1), 87–90. <https://doi.org/10.17816/brmma25973>. EDN: <https://elibrary.ru/IWKWES>
2. Anokhin, P. K. (1993). *Essays on the physiology of functional systems*. Moscow: Meditsina. 108 p.
3. Anokhin, P. K. (1978). *Philosophical aspects of the theory of functional systems. Selected works*. Moscow: Nauka. 399 p.
4. Baevsky, R. M., & Beresneva, A. P. (1997). *Assessment of the body's adaptive capabilities and disease risk*. Moscow: Meditsina. 197 p.
5. Bugrov, S. A., Lapaev, E. V., & Ponomarenko, V. A. (1993). The problem of occupational health in aviation medicine. *Military Medical Journal*, (1), 61–64.
6. Vasilchenko, A. S., Pronicheva, M. M., & Kabanova, T. N. (2020). Review of mental disorders in military personnel caused by adjustment disorders. *Mental Health*, (11), 73–80. <https://doi.org/10.25557/2074-014X.2020.11.73-80>. EDN: <https://elibrary.ru/IILKOY>

7. Voronin, S. V. (2020). Prevalence and features of polymorbidity in military personnel of different age groups based on the results of their medical examination to determine fitness category for military service. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, (1), 39–44. <https://doi.org/10.17816/brmma25965>. EDN: <https://elibrary.ru/OFNWZM>
8. Gornov, S. V., Shchegolkov, A. M., Titov, V. B., et al. (2016). Studying the impact of stress exposures on the readiness of aviation specialists to perform professional actions. *RMJ*, (13), 880–883. EDN: <https://elibrary.ru/WIDAAV>
9. GOST R ISO 5725-1-2002. *State Standard of the Russian Federation. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results*. Retrieved from: <https://docs.cntd.ru/document/>
10. Druzhilov, S. A. (2013). Occupational health of workers and psychological aspects of occupational adaptation. *Advances in Modern Natural Science*, (6), 34–37. EDN: <https://elibrary.ru/QBSHSJ>
11. Kutelev, G. G., & Cherkashin, D. V. (2021). Need to create and implement a platform for managing the professional reliability of military personnel of the Armed Forces of the Russian Federation based on the principles of personalized medicine. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.17816/brmma63648>. EDN: <https://elibrary.ru/HCNIWY>
12. Nevzorova, E. V. (2022). Method for assessing the occupational health of parachute athletes based on indicators of functional stability and professionally important qualities. *Global Scientific Potential*, (1), 42–46. EDN: <https://elibrary.ru/DSTFIH>
13. Nikiforov, D. A., Vorona, A. A., Bogomolov, A. V., & Kukushkin, Yu. A. (2015). Methodology for assessing the potential unreliability of pilot actions. *Life Safety*, (7), 7–16. EDN: <https://elibrary.ru/UBKHFB>
14. Novikov, E. M., et al. (2020). Heart rate variability, dispersion mapping, and pulse wave assessment in expert evaluation of flight personnel. *Military Medical Journal*, 341(4), 68–69. EDN: <https://elibrary.ru/IXUPSI>
15. Ponomarenko, V. A. (2006). Concept of occupational health and prospects for the practice of military aviation medicine. *Military Medical Journal*, 327(7), 63–66. EDN: <https://elibrary.ru/HUZBGP>
16. Ponomarenko, V. A., & Vorona, A. A. (2014). Prerequisites for the development of preventive military aviation medicine. *Military Medical Journal*, 335(10), 55–59. EDN: <https://elibrary.ru/SXETXH>
17. Ponomarenko, G. N. (2022). Restorative medicine: fundamental foundations and development prospects. *Physical and Rehabilitation Medicine*, 4(1), 8–20. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2022-4-1-8-20>. EDN: <https://elibrary.ru/IUWDXK>

18. Order No. 455 dated October 9, 1999 “On approval of the regulations on the medical examination of flight personnel in the aviation of the Armed Forces of the Russian Federation” (as amended by the Order of the Minister of Defense of the Russian Federation No. 561 dated June 19, 2009).
19. Sudakov, K. V. (1987). *Functional systems of the body*. Moscow: Meditsina. 236 p.
20. Ushakov, I. B., & Bogomolov, A. V. (2014). Informatization of personalized adaptive medicine programs. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*, (5–6), 124–128. <https://doi.org/10.15690/vramn.v69i5-6.1056>. EDN: <https://elibrary.ru/QLZLBT>
21. Jones, C., Miguel Cruz, A., & Brémault Phillips, S. (2021). BrainFx SCREEN technology adoption and use in Canadian military personnel and veterans with PTSD and mild traumatic brain injury: A mixed methods study. *JMIR Rehabil Assist Technol*, 8(2), e26078. <https://doi.org/10.2196/26078>
22. Martins, L. C., & Lopes, C. S. (2012). Military hierarchy, work stress and mental health in peacetime. *Occup Med (London)*, 62(3), 182–187. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqs006>
23. Poropatich, R. (2016). Predictive health management (PHM) for human assets – military perspective. In *Annual PHM and DX Conferences*. Pittsburgh. Retrieved from: <https://www.phmsociety.org/sites/phmsociety.org/files/Poropatich>
24. Stephenson, M. D., & Schram, B. (2022). Effects of acute stress on psychophysiology in armed tactical occupations. *Int J Environ Res Public Health*, 19(3), 1802. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031802>. EDN: <https://elibrary.ru/MOZURY>
25. Tang, E., Jones, C., & Smith MacDonald, L. (2021). Reduction in emotional dysregulation after multimodal movement desensitization and memory reconsolidation (3MDR): Identifying potential drivers of recovery in treatment resistant PTSD. *Int J Environ Res Public Health*, 18(22), 12243. <https://doi.org/10.3390/ijerph182212243>. EDN: <https://elibrary.ru/GSKIMB>

ВКЛАД АВТОРОВ

Невзорова Е.В.: формулирование основной концепции исследования, научное руководство, статистическая обработка эмпирических данных, проведение критического анализа материалов и формирование выводов, подготовка текста статьи.

Сенина Д.О.: поиск аналитических материалов в отечественных и зарубежных источниках, подготовка литературного обзора.

Белоконь С.Э.: проведение экспериментов, оформление таблиц с результатами исследования, оформление результатов исследования в графиках.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena V. Nevzorova: formulation of the main concept of the study, scientific supervision, statistical processing of empirical data, conducting a critical analysis of materials and forming conclusions, preparing the text of the article.

Darya O. Senina: searching for analytical materials in domestic and foreign sources, preparing a literature review.

Sofia E. Belokon: conducting experiments, preparing tables with research results, presenting research results in graphs.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Невзорова Елена Владимировна, профессор кафедры медицинской биологии; доктор биологических наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

*ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Российская Федерация
evnevorova@yandex.ru*

Сенина Дарья Олеговна, студентка Института медицины и здоровьесбережения

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

*ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Российская Федерация
senina.dasch@mail.ru*

Белоконь София Эдуардовна, студентка Института медицины и здоровьесбережения

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

*ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Российская Федерация
Sofiasofya.belokon@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Nevzorova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Associate Professor, Department of Medical Biology
Derzhavin Tambov State University

33, Internatsionalnaya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
evnevzorova@yandex.ru

SPIN-code: 2067-6425

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3229-0738>

Darya O. Senina, Student of the Institute of Medicine and Health Preservation
Derzhavin Tambov State University

33, Internatsionalnaya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
senina.dasch@mail.ru

SPIN-code: 6152-8727

ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-3906-3170>

Sofia E. Belokon, Student of the Institute of Medicine and Health Preservation
Derzhavin Tambov State University

33, Internatsionalnaya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
Sofiasofya.belokon@yandex.ru

SPIN-code: 9198-4438

ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-2461-1418>

Поступила 31.01.2025

После рецензирования 01.03.2025

Принята 07.03.2025

Received 31.01.2025

Revised 01.03.2025

Accepted 07.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1270

EDN: KVEFRD

УДК 504:37.017



Научная статья

ОЦЕНКА ОСВЕДОМЛЕННОСТИ ШКОЛЬНИКОВ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ КЛАССОВ О ЦЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ И СОДЕЙСТВИЯ БЛАГОПОЛУЧИЮ

И.Ю. Арестова, Е.Г. Шаронова, М.Ю. Куприянова

Аннотация

Обоснование. При наличии исследований, рассматривающих роль образования в осведомленности подростков о Целях устойчивого развития (ЦУР), недостаточно работ, оценивающих знания подростков, обучающихся на этапе предпрофессионального медицинского образования, о ЦУР 3 – обеспечение здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте.

Цель. Оценить уровень осведомленности подростков, обучающихся в предпрофессиональных медицинских классах, о ЦУР в области обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте.

Материалы и методы. Проведено онлайн-анкетирование с использованием авторского опросника, с участием 240 школьников 10-11 классов, обучающихся в Предуниверсарии МГМУ им. Сеченова (Москва), средний возраст респондентов составил $16,4 \pm 0,76$ лет. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ Excel (Microsoft Office® Excel® 2019, USA).

Результаты. Отмечена низкая осведомленность подростков о Целях устойчивого развития, при этом более 64% из них имеют представление о глобальном договоре ООН, а не менее 36-37% знакомы с Парижским соглашением по климату и Концепцией устойчивого развития. Встречались с термином «Цели устойчивого развития ООН», но не знают его подробностей более 44% подростков. Более 43% заявили, что впервые слышат о нем, и лишь 3,8% опрошен-

ных заявили, что хорошо знают, что такое ЦУР. При выборе наиболее важных ЦУР, более половины старшеклассников выбрали, наряду с другими, ЦУР 3 (Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте). Более 67% подростков считают, что достижение ЦУР – прерогатива федеральной власти, а 40%, что местных жителей. Среди наиболее приоритетных действий, для достижения ЦУР 3, подростки отметили всеобщий охват услугами здравоохранения и доступ к услугам медико-санитарной помощи для всех, наименее приоритетной – здоровье заключенных.

Заключение. Полученные результаты будут использованы при планировании основных направлений работы со школьниками предпрофессиональных медицинских классов по формированию у них компетенций, связанных с ЦУР в области здравоохранения.

Ключевые слова: осведомленность; цели устойчивого развития; обеспечение здорового образа жизни; подростки; предпрофессиональный медицинский класс

Для цитирования. Арестова, И. Ю., Шаронова, Е. Г., & Куприянова, М. Ю. (2025). Оценка осведомленности школьников предпрофессиональных медицинских классов о цели Организации Объединенных Наций в области обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 445-472. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1270>

Original article

EVALUATION OF THE AWARENESS OF PRE-PROFESSIONAL MEDICAL CLASSES STUDENTS ABOUT THE UNITED NATIONS OBJECTIVE OF ENSURING A HEALTHY LIFESTYLE AND PROMOTING WELL-BEING

I.Yu. Arestova, E.G. Sharonova, M.Yu. Kupriyanova

Abstract

Background. In the presence of studies considering the role of education in youth awareness of the Sustainable Development Goals (SDGs), the work is not sufficient to evaluate the knowledge of youth studying at the stage of pre-professional medical education, about the Goal#3 – ensuring a healthy lifestyle and promoting well-being for all in any age.

Purpose. Evaluate the level of awareness of teenagers studying in pre-professional medical classes about Goal#3: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages.

Materials and methods. A study using the survey method was conducted with participation of 240 students of 10-11 classes studying at the Pre-University of I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, the average age of respondents was 16.4 ± 0.76 years. Statistical data processing was carried out with the application package of Excel (Microsoft Office® Excel® 2019, USA).

Results. More than 64% of young people are aware of the United Nations global compact, and at least 36-37% are familiar with the Paris Agreement's and the Sustainable Development Concept. The term «United Nations Sustainable Development Goals» was met, but more than 44% of adolescents don't know its details. More than 43% said they've heard about it for the first time, and only 3.8% said they know what a SDGs. When choosing the most important SDGs, more than half of high school students chose, along with others, Goal #3 (Supporting a healthy lifestyle and promoting well-being for everyone in any age). More than 67% of teenagers believe that achieving the SDGs is the prerogative of the federal authority, and 40% that the local residents. Among the most priority actions, for achieving Goal#3, the teenagers pointed out the general coverage of healthcare services and access to healthcare services for all, the least priority – the health of prisoners.

Conclusion. The results will be used in the planning of the main directions of work with students of pre-professional medical classes on the formation of their competences related to the SDGs in the field of healthcare.

Keywords: awareness; sustainable development goals; good health and well-being; adolescents; pre-medical class

For citation. Arestova, I. Yu., Sharonova, E. G., & Kupriyanova, M. Yu. (2025). Evaluation of the awareness of pre-professional medical classes students about the United Nations objective of ensuring a healthy lifestyle and promoting well-being. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 445-472. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1270>

Введение

Цели устойчивого развития (ЦУР) являются международным руководством к действиям, направленным на построение более справедливого и процветающего будущего для всех поколений, в том числе и в области здравоохранения. Повестка-2030, принятая государствами-членами Организации Объединенных Наций (ООН) в 2015 году, определяет основные направления и задачи в области устойчивого развития на 15-летний

период. Сформулированные 17 Целей устойчивого развития охватывают социальную, экономическую и экологическую сферы. Для каждой цели определены конкретные задачи и показатели, необходимые для ее достижения, что отражено в резолюции Генеральной Ассамблеи ООН [38].

В данном контексте глубокое понимание и знание ЦУР являются ключевыми факторами, мотивирующими подрастающее поколение к активному участию в построении будущего для себя и всего человечества. Образовательные учреждения, в том числе и обеспечивающие реализацию завершающего этапа общего образования, играют важную роль в формировании у подростков компетенций, связанных с ЦУР, способствуя подготовке более ориентированных на устойчивое развитие выпускников [9; 16].

Отмечается наличие определенного числа исследований, рассматривающих роль образования в осведомленности о ЦУР, при этом основная часть исследований направлены на изучение вопроса в среде студентов или взрослой аудитории [15; 24; 31]. Авторы отмечают, что на сегодняшний день мало исследований, посвященных пониманию и осведомленности о ЦУР среди старшеклассников [46], акцентируя внимание на то, что у старшеклассников имеется определенный дефицит знаний в данной области [19; 33]. Необходимо отметить и недостаточность работ, оценивающих знания подростков, обучающихся в предпрофессиональных медицинских классах, о цели ООН в области устойчивого развития, касающейся обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте (ЦУР 3). Всемирная организация здравоохранения признает медицинскую грамотность основополагающим фактором для реализации Цели устойчивого развития в области здоровья [12]. Поэтому, исследования, направленные на изучение осведомленности и вовлеченности подростков, выбравших в качестве своей будущей профессиональной деятельности область медицины, могут способствовать раннему воспитанию грамотных специалистов. Наличие высококвалифицированного медицинского персонала, обладающего компетенциями в области устойчивого развития, важно для предоставления качественных медицинских услуг, что будет способствовать сокращению неравенства и повышению эффективности системы здравоохранения, и в конечном итоге – достижению здоровья и благополучия для всех.

Цель исследования – оценить уровень осведомленности подростков, обучающихся в предпрофессиональных медицинских классах, о ЦУР в области обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте.

Материалы и методы исследования

В исследовании участвовали 240 старшеклассников 15-19 лет (средний возраст $16,4 \pm 0,76$ лет), обучающиеся Ресурсного центра «Медицинский Сеченовский Предуниверсарий» Института профильного образования «Импульс» ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет) (далее Предуниверсарий). Для расчета необходимого объема выборки использовалась формула (1):

$$n = \frac{z^2 p(1-p)N}{\Delta^2 N + z^2 p(1-p)}, \quad (1)$$

где n – рассчитанный объем выборки; N – объем генеральной совокупности (в нашем случае 635); p – вероятность события (принята 0,5); Δ – предельно допустимая ошибка (принято за 5%). С учетом 5% ошибки, 85% доверительного уровня и заданной мощности критерия 85% критические значения z составило 1,960. В качестве генеральной совокупности принята совокупность подростков, обучающихся в 10-11 классах по программам предпрофессионального обучения медицинской направленности за период наблюдений (2023-2024 уч.г.), соответственно, объем выборочной совокупности составил 240 человек. Оценка репрезентативности выборки показал, что ошибка в исследовании не будет превышать 2,5% ($\Delta=0,02546$). Цифровой материал проанализирован с помощью описательной статистики с использованием стандартного пакета набора функций программы Excel (Microsoft Office® Excel® 2019, USA). Количественные данные представлены с указанием абсолютных значений и долей, а также в формате $M \pm \sigma$, где M – среднее арифметическое, σ – стандартное отклонение.

Для сбора данных была разработана анкета, состоящая из двух блоков вопросов: первый – оценивает социологические данные учащихся (Q1-Q4); второй – оценивает осведомленность школьников предпрофессиональных медицинских классов о цели Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития, касающейся обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте и их вовлеченность в реализацию ЦУР (Q5-Q8). Подростками пройден опрос на условиях анонимности, с помощью сервиса для создания онлайн-анкет – Yandex Forms. При ответе на вопросы Q5-Q8, респондентам необходимо было выбрать ответ из предложенных вариантов (множественный выбор), при ответе на Q9 – расставить приоритеты для достижения ЦУР в области здравоохранения

из 23 предложенных вариантов направлений деятельности (Табл. 1). При работе над вопросами направлений деятельности в области здравоохранения, ориентировались на перечень национальных показателей ЦУР, разработанных исходя из национальных приоритетов (<https://rosstat.gov.ru/sdg/national>). Участники исследования получили исчерпывающую информацию о цели анкетирования, и было получено информированное согласие.

Таблица 1.

Вопросы исследовательской анкеты

№ во-проса	Формулировка	Примечание
Q1	Ваш пол	Варианты ответов: Муж. / Жен.
Q2	Сколько вам лет?	Выбор: от 15 до 19 лет
Q3	В каком классе Вы учитесь?	Варианты ответов: 10 / 11
Q4	Участвуете ли Вы, или планируете участвовать в олимпиадах по экологии?	Варианты ответов: Да / Нет
Q5	О каких концепциях, инициативах и документах Вы имеете представление? (выберите все подходящие варианты ответа)	Варианты ответов представлены в Табл. 3
Q6	Приходилось ли Вам встречать термин «Цели устойчивого развития ООН» или аббревиатуру ESG (environmental, social, governance) или ЦУР или Вы слышите об этом впервые?	Варианты ответов: Хорошо знаю об этом. Что-то слышал, но не знаю подробностей. Впервые слышу об этом. Затрудняюсь ответить.
Q7	Какие шесть из всех нижеперечисленных Глобальных Целей представляют наибольший интерес для Вас, Вашей семьи, и имеют для Вас первостепенное значение?	Варианты ответов представлены в Табл. 4
Q8	Кто, на Ваш взгляд, должен в большей степени способствовать достижению «Целей устойчивого развития» и / или принципов ESG?	Варианты ответов: Федеральные власти. Местные или региональные власти. Местные жители. Специальные НКО (некоммерческая организация), экологические объединения, правозащитники. Бизнес, предприятия. Затрудняюсь ответить.
Q9	Расставьте приоритеты в здравоохранении для достижения ЦУР в области здравоохранения, где 1 наиболее важный.	Варианты ответов представлены в Табл. 5

Результаты исследования

Объекты (участники) исследования. Среди подростков, участвовавших в исследовании, девушки составили абсолютное большинство – 75,8% (Табл. 2). Основная часть школьников была в возрасте 16 лет (47,9%), 17-летних было 37,5%, меньшая доля приходилась на возраст 15 лет (9,2%), школьники в возрастной группе 18-19 лет составляли 5,5%. На долю учащихся 10 класса приходилось 54,6%.

Таблица 2.

Характеристика участников исследования

Показатель	Значение
Пол (женский), абс. (%) (n = 240)	182 (75,8)
Возраст, годы (n = 240)	16,4 ± 0,76
Степень образования, абс. (%) (n = 240):	
10 класс	131 (54,6)
11 класс	109 (45,4)

Основные результаты. Всем участникам был задан вопрос знают ли они о каких-либо международных концепциях, инициативах и документах в области экологии, экономики и социально-правовых основ развития общества (Q5, Табл. 1). На выбор были предложены 12 вариантов ответов (Табл. 3). Оказалось, что примерно поровну среди подростков имеются те, кто имеют представление хотя бы об одной из перечисленных инициатив (48,3%) и которые не имеют о них представления (51,7%). Результаты опроса 116 подростков, имеющих представление о перечисленных концепциях, инициативах и документах представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Характеристика ответов участников исследования на вопрос Q5

Вариант ответа	Значение, абс. (%), (n=116)
Глобальный договор ООН	75 (64,7)
Парижское соглашение по климату	42 (36,2)
Концепция устойчивого развития	43 (37,1)
Цели устойчивого развития (17 ЦУР)	12 (10,4)
Руководящие принципы ООН предпринимательской деятельности в аспекте права человека	29 (25,0)
Принципы ответственного инвестирования ООН	26 (22,4)
Финансовая инициатива ООН-Окружающая среда	31 (26,7)

Социальная хартия российского бизнеса	22 (19,0)
Стандарты социальной ответственности ISO 26000:2010 (ГОСТ Р ИСО 26000:2012)	15 (12,9)
Глобальная инициатива по отчетности (Global Reporting Initiative, GRI)	15 (12,9)
Руководящие принципы ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития / OECD Principles of Corporate Governance) для многонациональных предприятий	29 (25,0)

Установлено, что большинство респондентов (64,7%) имеют представление о глобальном договоре ООН. Практически равное число участников отметили, что знакомы с Парижским соглашением по климату (36,2%) и Концепцией устойчивого развития (37,1%). О знании таких документов как: Руководящие принципы ООН предпринимательской деятельности в аспекте права человека; Принципы ответственного инвестирования ООН; Финансовая инициатива ООН-Окружающая среда и Руководящие принципы ОЭСР (Организация экономического сотрудничества и развития / OECD Principles of Corporate Governance) для многонациональных предприятий заявили в среднем $24,8 \pm 1,77\%$ опрошенных. В меньшей степени подросткам известно о Социальной хартии российского бизнеса, Стандартах социальной ответственности ISO 26000:2010 (ГОСТ Р ИСО 26000:2012) и Глобальной инициативе по отчетности (Global Reporting Initiative, GRI). О данных документах знают в среднем $14,9 \pm 3,52\%$ старшеклассников. Реже всего подростки заявляли о знании Целей устойчивого развития, таковых оказалось чуть более 10%.

При этом, отвечая на вопрос Q6, 44,2% подростков отметили, что встречали термин «Цели устойчивого развития ООН», однако не знают подробностей, более 43% заявили, что впервые слышат о нем, менее 12% затруднились ответить на вопрос и лишь 3,8% опрошенных заявили, что хорошо знают, что такое ЦУР, при этом, 116 человек (48,3%) заявили о своем участии в олимпиадах по экологии.

При ответе на вопрос Q7, после дополнительного предъявления иконографии ЦУР, подростки должны были выбрать шесть вариантов из 17 целей, которые наиболее интересны и важны для них и их семьи. Чаще всего старшеклассники выбирали в качестве приоритетных ЦУР 4 (55,8%); ЦУР 3 (53,3%); ЦУР 2 (44,2%); ЦУР 1 (38,8); ЦУР 11 (37,9%); ЦУР 16 (35,0%) (Табл. 4). Наименее важными оказались ЦУР 12, ЦУР 17, ЦУР 9 и ЦУР 14 – их выбрали в среднем $24,15 \pm 3,47\%$ подростков.

Таблица 4.

Характеристика ответов участников исследования на вопрос Q7

№ Цели	Цели устойчивого развития ООН	Значение, абс. (%), (n=240)
1	Повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах.	93 (38,8)
2	Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания, содействие устойчивому развитию сельского хозяйства.	106 (44,2)
3	Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте.	128 (53,3)
4	Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех.	134 (55,8)
5	Обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей всех женщин и девочек.	76 (31,7)
6	Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех.	74 (30,8)
7	Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех.	78 (32,5)
8	Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех.	69 (28,8)
9	Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям.	65 (27,1)
10	Сокращение неравенства внутри стран и между ними.	69 (28,8)
11	Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов.	91 (37,9)
12	Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства.	52 (22,0)
13	Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями	79 (32,9)
14	Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития.	65 (27,1)
15	Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процесса деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия.	80 (33,3)
16	Содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчетных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях.	84 (35)
17	Укрепление средств осуществления и активизация работы в рамках Глобального партнерства в интересах устойчивого развития.	49 (20,4)

Отвечая на вопрос Q8, респонденты должны были определить, кто же с их точки зрения должен в первую очередь способствовать достижению ЦУР. Ответы распределились следующим образом (Рис. 1): подростки считают, что в первую очередь достижение ЦУР – это прерогатива федеральной власти (161 чел.) и местных жителей (96 чел.). Практически равной, по значению для достижения ЦУР, по мнению респондентов, оказалась деятельность местных и региональных властей (71 чел.), а также бизнеса, предприятий (75 чел.) и специальных НКО, экологических объединений, правозащитников (72 чел.). Затруднились с ответом 50 подростков (20,8%).



Рис. 1. Результаты распределения ответов подростков на вопрос Q8, (%), n=240

Установлено, что при расстановке подростками приоритетов в здравоохранении для достижения ЦУР в области здравоохранения (вопрос Q9), каждый второй отметил, что наиболее важным является – всеобщий охват услугами здравоохранения и доступ к услугам медико-санитарной помощи для всех (Табл. 5).

На второе место по значимости 37,5% респондентов, что составило максимум среди опрошенных, выдвинули необходимость достижения справедливости в отношении здоровья, сокращения неравенства и социальной защиты. На третьем и четвертом местах по важности, по мнению респондентов оказались такие проблемы как: укрепление здоровья населения (24,6%), и финансирование здравоохранения и кадровые ресурсы здравоохранения (82 голоса, 34,2%). На пятое и шестое место большинство из подростков чаще всего ставили, соответственно, такие проблемы как: исследования, разработки и инновации в области здравоохранения (90 голосов, 37,5%) и психическое здоровье (43 голоса, 17,9%).

Среди наименее приоритетных (23, 22 и 21 места в рейтинге) подростки отметили такие проблемы как: здоровье заключенных (57 респондента, 23,8% – 23 место); борьба с насилием (48 подростков, 20,0% – 22 место); гендерное равенство, права человека и здоровье (60 человек, 25,0% – 21 место).

Таблица 5.

Наиболее важные приоритеты в здравоохранении для достижения ЦУР в области здравоохранения, в соответствии с выбором подростков

Показатель	Значение, абс. (%), (n=240)
Всеобщий охват услугами здравоохранения и доступ к услугам медико-санитарной помощи для всех	120 (50,0)
Справедливость в отношении здоровья, сокращение неравенства и социальная защита	90 (37,5)
Укрепление здоровья населения	59 (24,6)
Финансирование здравоохранения и кадровые ресурсы здравоохранения	82 (34,2)
Исследования, разработки и инновации в области здравоохранения	90 (37,5)
Психическое здоровье	43 (17,9)

Средние позиции заняли такие вопросы, требующие решения для достижения ЦУР в области здравоохранения, как (по мере снижения приоритета): реагирование на чрезвычайные ситуации в области здравоохранения (7 место); инфекционные заболевания (8 место); инвалидность (9 место); алкоголь и наркотики (10 место); пищевые продукты и питание (11 место); лекарства и вакцины (12 место); устойчивость к противомикробным препаратам (13 место); материнское здоровье, здоровье детей и подростков (14 место); сексуальное и репродуктивное здоровье и права (15 место); избыточный вес и ожирение (16 место); дорожно-транспортные происшествия (17 место); употребление табака (18 место); устойчивость и адаптация к изменению климата (19 место); доступ к безопасной питьевой воде и санитарии (20 место).

Обсуждение

Основной вопрос исследования заключался в том, на сколько осведомлены подростки, обучающиеся в медицинских классах, о ЦУР в области обеспечения здорового образа жизни и содействия благополучию для всех в любом возрасте. Результаты опроса показали, что из разнообразия, реализуемых в мире и России, международных программ в области эко-

логии, экономики и социально-правовых основ развития общества менее всего подростки знакомы с Целями устойчивого развития. При этом более 43% заявили, что никогда не слышали о них, чуть более 10% знают о ЦУР, однако хорошо знают, что это такое лишь около 4% подростков. Обнаружено некоторое несоответствие между низким знанием ЦУР вообще, и большим числом, среди опрашиваемых подростков, участников или планирующих участие в олимпиадах по экологии, так как в данных конкурсах, теме устойчивого развития традиционно посвящено большое количество вопросов [2].

Выявленное низкое знание ЦУР в целом и, в частности, ограниченное понимание ЦУР-3, свидетельствует о том, что изучение целей и способов достижения ЦУР необходимо шире включать в учебную программу старшеклассников [39], в том числе, обучающихся на этапе предпрофессионального образования в области здравоохранения, особенно в проектную деятельность. Однако, сместив акцент с научных экспериментов на вопросы, вызывающие озабоченность местного и мирового сообщества, подчеркивая актуальные ситуации и противоречия, в том числе и в области здравоохранения [41].

Абсолютное большинство подростков считают, что в достижении ЦУР 3 главную роль играют федеральные власти и менее половины считают, что сами жители, также значительная часть не могли определиться с вопросом кто же должен в первую очередь способствовать устойчивому развитию. Юношеский период жизни во многом определяется школьным обучением. Для некоторых подростков этот этап проходит плодотворно, в то время как другим бывает сложно усмотреть практическую ценность полученных знаний [20]. И обнаруженное несоответствие может свидетельствовать о том, что несмотря на тот факт, что одной из задач, в рамках достижения ЦУР, является обеспечение к 2030 году получение всеми учащимися необходимых знаний и навыков для продвижения принципов устойчивого развития (задача 4.7) [18] молодежь проявляет некоторую отстраненность от жизни, а тенденция к снижению интереса обучающихся старших классов к вопросам экологии отмечается и другими исследователями [34]. Результаты исследований показывают, что учащиеся не в полной мере осознают важность внедрения принципов ЦУР, и их непосредственного участия в их достижении [36], данный факт усугубляется тем, что международное сообщество хоть и признает значимость вовлечения подростков в процессы реализации принципов устойчивого развития, на практике их мнение практически не учитывается [17].

Необходимо отметить, наряду с тем, что подростки считают властные структуры наиболее ответственными за решение проблем устойчивого развития [6], они сами проявляют инициативу, однако способы их участия не всегда находят отклик в местных сообществах, при этом само общество ожидает от подрастающего поколения активного участия в поиске решений и позитивной трансформации мира [23]. Возможно, подростки, которые не могли определиться с вопросом кто же первоочередно должен способствовать устойчивому развитию, уже сталкивались с разочарованием от неадекватной реакции на их действия со стороны окружающих сверстников или взрослых, что привело к непониманию ситуации [30], либо у них отсутствуют необходимые компетенции. Однако, несмотря на определенные успехи, понимание взаимосвязи между компетентностью, ее составляющими и реальным поведением подростков, направленным на достижение устойчивого развития [32], остается недостаточным и требует дальнейшего исследования.

Расширение масштабов и многообразие глобальных изменений, а также связанных с ними рисков, возникающих в результате взаимодействия человека с окружающей средой, вызывает растущую озабоченность населения. Осознание и практическая вовлеченность в культуру устойчивого развития будут создавать фундамент для гармоничного развития как самого подростка, выбравшего с юных лет путь медицинской профессии, так и общества, которому он служит [9; 41].

Выбирая шесть наиболее важных для подростков и их семей ЦУР более половины старшеклассников выбрали в качестве первых трех, наиболее приоритетных ЦУР 4, ЦУР 3 и ЦУР 2. Следующими по важности стали: ЦУР 1; ЦУР 11 и ЦУР 16. Необходимо отметить, что вопросы здоровья так или иначе связаны со всеми целями. Выбор подростками, в качестве наиболее важной ЦУР 4, сделан, вероятно, по тому, что в настоящее время они находятся на стадии завершения обучения в среднем учебном заведении и им предстоит поступать в вуз, предварительно сдав сложные экзамены по биологии и химии для возможности осуществления карьеры в медицине. Тем не менее, ЦУР 4 и ЦУР 3 взаимосвязаны, поскольку качественное образование является движущей силой развития человека во всех сферах, вооружая его знаниями и навыками для решения глобальных вызовов, в том числе и в области здравоохранения [7]. Проблема нищеты (ЦУР 1), также связана с состоянием здоровья, соответственно и с ЦУР 3, причем с разных позиций: как плохое здоровье приводит к бедности [35], так и нищета определяет плохое качество здоровья [27].

Взаимозависимость проблемы обеспечения здорового образа жизни и ликвидации голода (ЦУР 2), также многоаспектна. Так, снижение продовольственной безопасности тесно коррелирует с распространением заболеваний, вызванных неправильным питанием. Низкий уровень доступа к продовольствию повышает риск развития заболеваний, в то время как наличие множественных нарушений здоровья, как правило, сопровождается ограниченным потреблением пищи [40].

Наряду с этим, исследования демонстрируют, в ряде стран, взаимосвязь между экономическим ростом и изменением характера питания. В частности, наблюдается тенденция к снижению потребления полезных питательных веществ и увеличению потребления вредных компонентов (насыщенных жиров и сахара). Данная тенденция способствует росту распространенности заболеваний, связанных с нерациональным питанием [8].

Выбор подростками в качестве одной из приоритетной ЦУР 11, можно объяснить их обеспокоенностью проблемой безопасности городской среды, так как все участники опроса являются жителями мегаполиса, а, по наблюдениям специалистов, в большом городе у современных подростков часто проявляются страхи, эмоциональные переживания и психологические проблемы [5]. В настоящее время 3,5 миллиарда человек, проживает в городских агломерациях, и урбанизация будет неуклонно расти. Учитывая, что будущее для большинства людей неразрывно связано с городами, решение наиболее острых глобальных проблем, таких как безопасность городской среды, бедность, изменение климата, доступность медицинского обслуживания и образования, должно быть найдено в контексте городской жизни и привести к достижению ЦУР 11 [43].

Для достижения ЦУР 16 права человека являются основополагающим принципом, ставящим интересы людей на первое место. Действия, осуществляемые в соответствии с международными стандартами прав человека, гарантируют доступ к медицинской помощи для всех и способствуют сохранению человеческого достоинства. Построение миролюбивых, справедливых и открытых обществ является фундаментальным условием для достижения ЦУР в области образования, здравоохранения, экономики и охраны окружающей среды [44].

Наименее важными, для подростков, оказались ЦУР 12, и ЦУР 17, такой выбор доказывает, что для перехода общества к устойчивому развитию необходимо не только знание о существовании ЦУР [37; 38]. Важно развить у подростков чувство гражданского долга и навыки личного

участия путем активного вовлечения их в процессы принятия решений, связанных с производством, но в первую очередь с потреблением. Аналогичный подход к решению проблем устойчивого развития отмечают и другие исследователи [21; 28].

Тот факт, что подростками на первые места по значимости выдвинуты проблемы всеобщего охвата услугами здравоохранения и доступ к услугам медико-санитарной помощи для всех, необходимость достижения справедливости в отношении здоровья, сокращения неравенства и социальной защиты и укрепление здоровья населения показывает их осведомленность в актуальности данных проблем и что это касается не только их лично, но и как будущие медицинские работники они будут участвовать в реализации действий направленных на ликвидацию дисбаланса в охвате качественными услугами здравоохранения не зависимо от географического, социального и материального положения человека. Анализ мировой практики подтверждает необходимость всестороннего внедрения принципов равноправия в сфере здравоохранения в рамках системы общественного здравоохранения, независимо от масштабов территории, плотности населения и уровня достатка [11].

При этом подростки понимают, что достижение ЦУР 3 невозможно без финансирования здравоохранения и кадровых ресурсов, а также без новых исследований и разработок в области здравоохранения.

В первой десятке основных проблем в здравоохранении, которые, по мнению подростков, необходимо решить для достижения ЦУР в области здравоохранения оказались психическое здоровье, реагирование на чрезвычайные ситуации в области здравоохранения; инфекционные заболевания; инвалидность и алкоголь и наркотики. Публикации исследователей показывают, что данные вопросы остаются сложными для решения во всем мире [13; 22; 42; 45].

Подростки считают проблему лекарств, вакцин и устойчивости к противомикробным препаратам важнее, чем избыточного веса и ожирения, а также, чем употребление табака и проблема доступа к безопасной питьевой воде и санитарии, что может свидетельствовать о том что подростки не до конца осознают, что вредные привычки приводящие к избыточному весу и злоупотребление табаком, несоблюдение правил гигиены приводит к заболеваниям и как следствие – необходимости прибегать к лечению, в том числе медикаментозными препаратами. Таким образом, необходимо повысить осведомленность подростков, что соблюдение здорового образа жизни, профилактика проблем со здоровьем и заболеваний гораздо

важнее, чем прием лекарств. Исследования подтверждают, что ведение здорового образа жизни независимо от возраста оказывает благотворное влияние на здоровье человека, сопряженное со снижением риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, уменьшением распространенности ожирения и сахарного диабета, а также онкологических, психических и когнитивных нарушений [14].

Тот факт, что для опрашиваемых подростков проблема гендерного неравенства оказалась на одном из последних мест по важности может свидетельствовать о том, что они не сталкивались в жизни с его проявлением, что является следствием того, что в современной России большое внимание уделяется обеспечению гендерного равенства, количество и качество гендерных показателей ежегодно улучшаются [1; 4; 29].

Однако, несмотря на значительный прогресс в улучшении положения женщин и девочек во всем мире, неравенство широко распространено во всем мире и влечет за собой последствия, которые связаны не только со здоровьем, но и выходят за его рамки [10].

Вероятно, в силу возраста и социального положения, опрашиваемые подростки меньше всего придают значение такой проблеме как здоровье заключенных. Но, исследования показывают наличие серьезного неравенства в сфере здравоохранения, с которым сталкиваются некоторые уязвимые группы населения, а также люди, находящиеся в пенитенциарных учреждениях, что требует скоординированных действий в обеспечении здоровья, если мы хотим эффективно бороться с этим неравенством и достичь ЦУР в области здравоохранения [3; 26]. Необходимо отметить, что исторически, система медицинского обслуживания заключенных, условия содержания служили объективным показателем гуманизма и прогрессивности общества [25].

Заключение

В ходе этого исследования было установлено, что абсолютное число подростков, обучающихся на этапе предпрофессионального медицинского образования, не в полной мере осведомлены о целях устойчивого развития и устойчивом развитии в целом – лишь 3,8% опрошенных заявили, что хорошо знают, что такое ЦУР. При этом, после ознакомления с ними в ходе тестирования, большинство выбрали в качестве наиболее важных для них и их семьи: ЦУР 4, ЦУР 3, ЦУР 2, ЦУР 1, ЦУР 11, ЦУР 16. При выборе подростками приоритетных направлений в здравоохранении для достижения ЦУР 3, отмечено, что наиболее важными, по их мнению, яв-

ляются: всеобщий охват услугами здравоохранения и доступ к услугам медико-санитарной помощи для всех; необходимость достижения справедливости в отношении здоровья, сокращения неравенства и социальной защиты и укрепление здоровья населения.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что несмотря на растущее признание важности экологической устойчивости в сфере здравоохранения, относительно мало что известно о вовлеченности подростков, выбравших в качестве будущей карьеры медицину, в этот вопрос и их взглядах на него. Учреждения, подобные Предупреждению МГМУ имени Сеченова, обладают уникальным потенциалом для интеграции принципов устойчивого развития во все сферы своей деятельности: образовательный процесс, научные исследования, просветительскую работу и практическую деятельность с подростками, выбравшими в качестве своей будущей профессиональной деятельности область медицины, что будет способствовать раннему воспитанию грамотных медицинских работников, обладающих компетенциями в области устойчивого развития. Необходимо активнее вовлекать подростков в исследования, связанные с устойчивым развитием в области здравоохранения, которые имеют для них наиболее важное значение. При этом, школьники, демонстрирующие знание принципов и готовность к их внедрению в практику устойчивого развития, могут стать лидерами в образовательном учреждении и среди сверстников, стремящихся к медицинской карьере. Их инициатива будет способствовать формированию культуры устойчивого развития в учебном заведении, так как для достижения устойчивого развития необходимы преобразования не только на индивидуальном, но и на коллективном уровне.

Проведенное исследование не исчерпывает всех аспектов проблемы оценки осведомленности и вовлеченности школьников предпрофессиональных медицинских классов о цели Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития здравоохранения и требует дальнейшего ее изучения.

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Григорьева, Н. С., & Чубарова, Т. В. (2019). Гендерные развилки здоровья и здравоохранения в России. *Женщина в российском обществе*, (3), 55–71. <https://doi.org/10.21064/WinRS.2019.3.5>. EDN: <https://elibrary.ru/OCAYFO>
2. Куприянова, М. Ю. (2017). Опыт проведения регионального этапа всероссийской олимпиады школьников по экологии в Чувашской Республике и подготовки школьников к заключительному этапу: проблемы и перспективы. В *Материалы Международной научно-практической конференции «Природные и социальные экосистемы» (Чебоксары, 18–19 мая 2017 года)* (с. 80–87). Чебоксары. EDN: <https://elibrary.ru/YUGDFL>
3. Пономарев, С. Б. (2023). Основные направления научных исследований в пенитенциарной медицине. *Ведомости уголовно-исполнительной системы*, (5)(252), 69–80. <https://doi.org/10.51522/2307-0382-2023-252-5-69-80>. EDN: <https://elibrary.ru/KHAVYD>
4. *Цели устойчивого развития в Российской Федерации. 2024: Краткий статистический сборник / Росстат.* (2024). Москва. 105 с. ISBN: 978-5-4269-0103-5
5. Acharya, A., Vankar, G. K., & De Sousa, A. (2018). An exploratory study of fears among adolescent students from an urban cohort in India. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, 30(1), 20160003. <https://doi.org/10.1515/ijamh-2016-0003>
6. Corner, A., Roberts, O., Chiari, S., et al. (n.d.). How do young people engage with climate change? The role of knowledge, values, message framing, and trusted communicators. *WIREs Climate Change*, 6(5), 523–534. <https://doi.org/10.1002/wcc.353>
7. Al Hadi, S. H. (2023). *South Asian countries progress on SDG 3 and 4*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/374948320_South_Asian_Countries_progress_on_SDG_3_and_4
8. Beckmann, A., Strassner, C., & Kwanbunjan, K. (2024). Thailand — how far are we from achieving a healthy and sustainable diet? A longitudinal ecological study. *The Lancet Regional Health — Southeast Asia*, 29, 100478. <https://doi.org/10.1016/j.lansea.2024.100478>. EDN: <https://elibrary.ru/TTJURL>
9. Baron, J., Lawrence, S.-A., & Nevins-Bennett, C. (2024). Sustainable Development Goals: A case of the community college student initiative project. *European Journal of Education and Pedagogy*, 5(3), 24–35. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2024.5.3.833>. EDN: <https://elibrary.ru/VJBPDА>
10. Belingeri, P., Chiarello, F., Fronzetti Colladon, A., et al. (2021). Twenty years of gender equality research: A scoping review based on a new semantic indica-

- tor. *PLoS ONE*, 16(9), e0256474. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256474>. EDN: <https://elibrary.ru/BBFMEE>
11. Belon, A. P., Chew, J. L., Schwartz, N., et al. (2024). Variability in public health programming and priorities to address health inequities across public health units in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Public Health = Revue canadienne de santé publique*, 115(5), 813–824. <https://doi.org/10.17269/s41997-024-00896-4>. EDN: <https://elibrary.ru/TPMZVW>
 12. Budhathoki, S. S., Pokharel, P. K., Good, S., et al. (2017). The potential of health literacy to address the health-related UN Sustainable Development Goal 3 (SDG3) in Nepal: A rapid review. *BMC Health Services Research*, 17(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2183-6>. PMID: 28347355; PMCID: PMC5369219
 13. Chua, A. Q., Tan, M. M. J., Verma, M., et al. (2020). Health system resilience in managing the COVID-19 pandemic: Lessons from Singapore. *BMJ Global Health*, 5. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-003317>. EDN: <https://elibrary.ru/JKFCDC>
 14. Cojocaru, D.-C., Dima Cozma, C., Gavriluță, C., et al. (2014). The importance of healthy lifestyle in modern society: A medical, social and spiritual perspective. *European Journal of Science and Theology*, 10(3), 111–120.
 15. Edwards, D. B., Jr., Sustarsic, M., Chiba, M., et al. (2020). Achieving and monitoring education for Sustainable Development and Global Citizenship: A systematic review of the literature. *Sustainability*, 12(4), 1383. <https://doi.org/10.3390/su12041383>. EDN: <https://elibrary.ru/LUHJIW>
 16. Epstein, S. E. (2017). Supporting global awareness: A proposal for youth civic engagement. *Studies in Education*, 14(1), 141–154. <https://doi.org/10.1086/691258>
 17. Gillett-Swan, J. K., & Burton, L. O. (2022). Amplifying children's voices: Sustainable Development Goals and inclusive design for education and health architecture. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 25(1), 87–91. <https://doi.org/10.1080/17549507.2022.2148742>. EDN: <https://elibrary.ru/LRINVK>
 18. United Nations. (n.d.). *Goal 4 — Quality education*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education>
 19. Halder, U., Das, S., & Bairagya, S. (2014). Awareness of school students about sustainable development in education. *International Journal of Informative & Futuristic Research*, 1(10), 112–116. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/327237550_Awareness_of_School_Students_about_Sustainable_Development_in_Education
 20. Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., Leonhard, C., & Leysin American School High School Students. (2018). Turning students into citizen scientists. In S.

- Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 410–428). UCL Press. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv550cf2.35>
21. Holst, J. (2023). Towards coherence on sustainability in education: A systematic review of whole institution approaches. *Sustainability Science*, 18(2), 1015–1030. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01226-8>. EDN: <https://elibrary.ru/KYHZXM>
 22. Van Rensburg, A. J., & Brooke-Sumner, C. (2023). Intersectoral and multisectoral approaches to enable recovery for people with severe mental illness in low- and middle-income countries: A scoping review. *Global Mental Health (Cambridge, England)*, 10, e19. <https://doi.org/10.1017/gmh.2023.10>
 23. Kettunen, M. (2021). “We need to make our voices heard”: Claiming space for young people’s everyday environmental politics in Northern Finland. *Nordia Geographical Publications*, 49(5), 32–48. <https://doi.org/10.30671/nordia.98115>. EDN: <https://elibrary.ru/NXHMLO>
 24. Krishna, S. H., Ilankumaran, G., Balakrishnan, C., et al. (2022). Knowledge, perception, and awareness about Sustainable Development Goals (SDGs) among students of Indian public university. *Journal of Positive School Psychology*, 6(5), 2501–2511. Retrieved from <https://mail.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/6396>
 25. Lavrukhina, A. (2019). The practice of medical care of convicted to imprisonment in Russia and abroad. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 283–289. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/37>. EDN: <https://elibrary.ru/LNFYUV>
 26. Martin, D., Miller, A. P., Quesnel-Vallée, A., et al. (2018). Canada’s universal health-care system: Achieving its potential. *The Lancet*, 391(10131), 1718–1735. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30181-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30181-8). PMID: 29483027; PMCID: PMC7138369. EDN: <https://elibrary.ru/KGDMFC>
 27. Workman, M. (2025). Overall health status of rural children and associations with child poverty. *Pediatric Clinics of North America*, 72(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2024.07.021> (Available online: August 20, 2024)
 28. Mogren, A., Gericke, N., & Scherp, H. Å. (2019). Whole school approaches to education for sustainable development: A model that links to school improvement. *Environmental Education Research*, 25(4), 508–531. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1455074>
 29. Federal State Statistics Service. (n.d.). *National set of SDG indicators*. Retrieved from <https://rosstat.gov.ru/sdg/national>
 30. O’Brien, K., Selboe, E., & Hayward, B. M. (2018). Exploring youth activism on climate change: Dutiful, disruptive, and dangerous dissent. *Ecology and Society*, 23(3), 42. <https://doi.org/10.5751/ES-10287-230342>

31. Odoom, D., Mensah, E. O., Dick-Sagoe, C., et al. (2024). Examining the level of public awareness on the Sustainable Development Goals in Africa: An empirical evidence from Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 6221–623. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02959-x>. EDN: <https://elibrary.ru/LUGKRY>
32. Oinonen, I., Seppälä, T., & Paloniemi, R. (2023). How does action competence explain young people's sustainability action? *Environmental Education Research*, 30(4), 499–518. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2241675>
33. Olsson, D., & Gericke, N. (2015). The adolescent dip in students' sustainability consciousness — Implications for education for sustainable development. *Journal of Environmental Education*, 47(1), 35–51. <https://doi.org/10.1080/00958964.2015.1075464>
34. Olsson, D., Gericke, N., & Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited – A longitudinal study on secondary students' action competence for sustainability. *Environmental Education Research*, 28(3), 405–429. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033170>. EDN: <https://elibrary.ru/YHKYLG>
35. O'Donnell, O. (2024). Health and health system effects on poverty: A narrative review of global evidence. *Health Policy*, 142, 105018. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105018>. EDN: <https://elibrary.ru/MEXGEI>
36. Sass, W., De Maeyer, S., Boeve-de Pauw, J., et al. (2023). Effectiveness of education for sustainability: The importance of an action-oriented approach. *Environmental Education Research*, 30(4), 479–498. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2229543>
37. Sund, P. (2022). Curriculum change and selective teaching traditions: Consequences for democracy and the role of education. In G. Karaarslan-Semiz (Ed.), *Education for Sustainable Development in Primary and Secondary Schools: Pedagogical and Practical Approaches for Teachers* (pp. 25–38). Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09112-4_3
38. United Nations. (n.d.). *The Sustainable Development Goals. 17 goals to transform our world*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment>
39. Torsdottir, A. E., Olsson, D., Sinnes, A. T., et al. (2024). The relationship between student participation and students' self-perceived action competence for sustainability in a whole school approach. *Environmental Education Research*, 30(8), 1308–1326. <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2326462>
40. Psota, T., Maniscalco, S., Kijek, M., & Ohlhorst, S. D. (2023). Driving transformative change to end hunger and reduce diet-related diseases and disparities: The White House Conference on Hunger, Nutrition, and Health. *The Ameri-*

- can Journal of Clinical Nutrition*, 117(4), 649–658. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2023.01.013>. EDN: <https://elibrary.ru/ZUCSBR>
41. Vallabh, P., Lotz-Sisitka, H., O'Donoghue, R., et al. (2016). Mapping epistemic cultures and learning potential of participants in citizen science projects. *Conservation Biology*, 30(3), 540–549. <https://doi.org/10.1111/cobi.12701>. PMID: 27110848
 42. van Venrooij, L. T., Barnhoorn, P. C., Barnhoorn-Bos, A. M., et al. (2022). General practitioners' everyday clinical decision-making on psychosocial problems of children and youth in the Netherlands. *PLoS ONE*, 17(12), e0278314. (Published: December 28, 2022). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278314>. EDN: <https://elibrary.ru/VZOWVJ>
 43. United Nations. (n.d.). *What is Goal 11 — Sustainable cities?* Retrieved from https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2023/09/Goal-11_Fast-Facts.pdf
 44. United Nations. (n.d.). *What is Goal 16 — Peace, justice, and strong institutions?* Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/Goal-16-Fast-Facts.pdf>
 45. Wignjadiputro, I., Widaningrum, C., Setiawaty, V., et al. (2020). Whole-of-society approach for influenza pandemic EpiCenter containment exercise in Indonesia. *Journal of Infection and Public Health*, 13, 994–997. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.12.009>. EDN: <https://elibrary.ru/ERQXQA>
 46. Yuan, X., Yu, L., & Wu, H. (2021). Awareness of Sustainable Development Goals among students from a Chinese senior high school. *Education Sciences*, 11, 458. <https://doi.org/10.3390/educsci11090458>. EDN: <https://elibrary.ru/NRPEYH>

References

1. Grigorieva, N. S., & Chubarova, T. V. (2019). Gender forks of health and healthcare in Russia. *Woman in Russian Society*, (3), 55–71. <https://doi.org/10.21064/WinRS.2019.3.5>. EDN: <https://elibrary.ru/OCAAYFO>
2. Kupriyanova, M. Yu. (2017). Experience of holding the regional stage of the All-Russian Olympiad for school students in ecology in the Chuvash Republic and preparing students for the final stage: issues and prospects. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Natural and Social Ecosystems" (Cheboksary, May 18–19, 2017)* (pp. 80–87). Cheboksary. EDN: <https://elibrary.ru/YUGDFL>
3. Ponomarev, S. B. (2023). Main directions of scientific research in penitentiary medicine. *Vedomosti of the Penal System*, (5)(252), 69–80. <https://>

- doi.org/10.51522/2307-0382-2023-252-5-69-80. EDN: <https://elibrary.ru/KHAVYD>
4. *Sustainable Development Goals in the Russian Federation. 2024: A concise statistical compendium* / Rosstat. (2024). Moscow. 105 p. ISBN: 978-5-4269-0103-5
 5. Acharya, A., Vankar, G. K., & De Sousa, A. (2018). An exploratory study of fears among adolescent students from an urban cohort in India. *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, 30(1), 20160003. <https://doi.org/10.1515/ijamh-2016-0003>
 6. Corner, A., Roberts, O., Chiari, S., et al. (n.d.). How do young people engage with climate change? The role of knowledge, values, message framing, and trusted communicators. *WIREs Climate Change*, 6(5), 523–534. <https://doi.org/10.1002/wcc.353>
 7. Al Hadi, S. H. (2023). *South Asian countries progress on SDG 3 and 4*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/374948320_South_Asian_Countries_progress_on_SDG_3_and_4
 8. Beckmann, A., Strassner, C., & Kwanbunjan, K. (2024). Thailand – how far are we from achieving a healthy and sustainable diet? A longitudinal ecological study. *The Lancet Regional Health – Southeast Asia*, 29, 100478. <https://doi.org/10.1016/j.lansea.2024.100478>. EDN: <https://elibrary.ru/TTJURL>
 9. Baron, J., Lawrence, S.-A., & Nevins-Bennett, C. (2024). Sustainable Development Goals: A case of the community college student initiative project. *European Journal of Education and Pedagogy*, 5(3), 24–35. <https://doi.org/10.24018/ejedu.2024.5.3.833>. EDN: <https://elibrary.ru/VJBPD>
 10. Belingheri, P., Chiarello, F., Fronzetti Colladon, A., et al. (2021). Twenty years of gender equality research: A scoping review based on a new semantic indicator. *PLoS ONE*, 16(9), e0256474. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256474>. EDN: <https://elibrary.ru/BBFMEE>
 11. Belon, A. P., Chew, J. L., Schwartz, N., et al. (2024). Variability in public health programming and priorities to address health inequities across public health units in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Public Health = Revue canadienne de santé publique*, 115(5), 813–824. <https://doi.org/10.17269/s41997-024-00896-4>. EDN: <https://elibrary.ru/TPMZVW>
 12. Budhathoki, S. S., Pokharel, P. K., Good, S., et al. (2017). The potential of health literacy to address the health-related UN Sustainable Development Goal 3 (SDG3) in Nepal: A rapid review. *BMC Health Services Research*, 17(1), 237. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2183-6>. PMID: 28347355; PMCID: PMC5369219
 13. Chua, A. Q., Tan, M. M. J., Verma, M., et al. (2020). Health system resilience in managing the COVID-19 pandemic: Lessons from Singapore. *BMJ Global*

- Health*, 5. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2020-003317>. EDN: <https://elibrary.ru/JKFCDC>
14. Cojocaru, D.-C., Dima Cozma, C., Gavriluță, C., et al. (2014). The importance of healthy lifestyle in modern society: A medical, social and spiritual perspective. *European Journal of Science and Theology*, 10(3), 111–120.
 15. Edwards, D. B., Jr., Sustarsic, M., Chiba, M., et al. (2020). Achieving and monitoring education for Sustainable Development and Global Citizenship: A systematic review of the literature. *Sustainability*, 12(4), 1383. <https://doi.org/10.3390/su12041383>. EDN: <https://elibrary.ru/LUHJIW>
 16. Epstein, S. E. (2017). Supporting global awareness: A proposal for youth civic engagement. *Studies in Education*, 14(1), 141–154. <https://doi.org/10.1086/691258>
 17. Gillett-Swan, J. K., & Burton, L. O. (2022). Amplifying children's voices: Sustainable Development Goals and inclusive design for education and health architecture. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 25(1), 87–91. <https://doi.org/10.1080/17549507.2022.2148742>. EDN: <https://elibrary.ru/LR-INVK>
 18. United Nations. (n.d.). *Goal 4 – Quality education*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education>
 19. Halder, U., Das, S., & Bairagya, S. (2014). Awareness of school students about sustainable development in education. *International Journal of Informative & Futuristic Research*, 1(10), 112–116. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/327237550_Awareness_of_School_Students_about_Sustainable_Development_in_Education
 20. Harlin, J., Kloetzer, L., Patton, D., Leonhard, C., & Leysin American School High School Students. (2018). Turning students into citizen scientists. In S. Hecker, M. Haklay, A. Bowser, Z. Makuch, J. Vogel, & A. Bonn (Eds.), *Citizen Science: Innovation in Open Science, Society and Policy* (pp. 410–428). UCL Press. <https://www.jstor.org/stable/j.ctv550cf2.35>
 21. Holst, J. (2023). Towards coherence on sustainability in education: A systematic review of whole institution approaches. *Sustainability Science*, 18(2), 1015–1030. <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01226-8>. EDN: <https://elibrary.ru/KYHZXM>
 22. Van Rensburg, A. J., & Brooke-Sumner, C. (2023). Intersectoral and multisectoral approaches to enable recovery for people with severe mental illness in low- and middle-income countries: A scoping review. *Global Mental Health (Cambridge, England)*, 10, e19. <https://doi.org/10.1017/gmh.2023.10>
 23. Kettunen, M. (2021). “We need to make our voices heard”: Claiming space for young people's everyday environmental politics in Northern Finland. *Nor-*

- dia Geographical Publications*, 49(5), 32–48. <https://doi.org/10.30671/nordia.98115>. EDN: <https://elibrary.ru/NXHMLO>
24. Krishna, S. H., Ilankumaran, G., Balakrishnan, C., et al. (2022). Knowledge, perception, and awareness about Sustainable Development Goals (SDGs) among students of Indian public university. *Journal of Positive School Psychology*, 6(5), 2501–2511. Retrieved from <https://mail.journalppw.com/index.php/jpsp/article/view/6396>
 25. Lavrukhina, A. (2019). The practice of medical care of convicted to imprisonment in Russia and abroad. *Bulletin of Science and Practice*, 5(7), 283–289. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/44/37>. EDN: <https://elibrary.ru/LNIFYUV>
 26. Martin, D., Miller, A. P., Quesnel-Vallée, A., et al. (2018). Canada's universal health-care system: Achieving its potential. *The Lancet*, 391(10131), 1718–1735. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30181-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30181-8). PMID: 29483027; PMCID: PMC7138369. EDN: <https://elibrary.ru/KGDMFC>
 27. Workman, M. (2025). Overall health status of rural children and associations with child poverty. *Pediatric Clinics of North America*, 72(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2024.07.021> (Available online: August 20, 2024)
 28. Mogren, A., Gericke, N., & Scherp, H. Å. (2019). Whole school approaches to education for sustainable development: A model that links to school improvement. *Environmental Education Research*, 25(4), 508–531. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1455074>
 29. Federal State Statistics Service. (n.d.). *National set of SDG indicators*. Retrieved from <https://rosstat.gov.ru/sdg/national>
 30. O'Brien, K., Selboe, E., & Hayward, B. M. (2018). Exploring youth activism on climate change: Dutiful, disruptive, and dangerous dissent. *Ecology and Society*, 23(3), 42. <https://doi.org/10.5751/ES-10287-230342>
 31. Odoom, D., Mensah, E. O., Dick-Sagoe, C., et al. (2024). Examining the level of public awareness on the Sustainable Development Goals in Africa: An empirical evidence from Ghana. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 6221–623. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-02959-x>. EDN: <https://elibrary.ru/LUGKRY>
 32. Oinonen, I., Seppälä, T., & Paloniemi, R. (2023). How does action competence explain young people's sustainability action? *Environmental Education Research*, 30(4), 499–518. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2241675>
 33. Olsson, D., & Gericke, N. (2015). The adolescent dip in students' sustainability consciousness – Implications for education for sustainable development. *Journal of Environmental Education*, 47(1), 35–51. <https://doi.org/10.1080/00958964.2015.1075464>

34. Olsson, D., Gericke, N., & Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited — A longitudinal study on secondary students' action competence for sustainability. *Environmental Education Research*, 28(3), 405–429. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033170>. EDN: <https://elibrary.ru/YHKYLG>
35. O'Donnell, O. (2024). Health and health system effects on poverty: A narrative review of global evidence. *Health Policy*, 142, 105018. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105018>. EDN: <https://elibrary.ru/MEXGEI>
36. Sass, W., De Maeyer, S., Boeve-de Pauw, J., et al. (2023). Effectiveness of education for sustainability: The importance of an action-oriented approach. *Environmental Education Research*, 30(4), 479–498. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2229543>
37. Sund, P. (2022). Curriculum change and selective teaching traditions: Consequences for democracy and the role of education. In G. Karaarslan-Semiz (Ed.), *Education for Sustainable Development in Primary and Secondary Schools: Pedagogical and Practical Approaches for Teachers* (pp. 25–38). Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09112-4_3
38. United Nations. (n.d.). *The Sustainable Development Goals. 17 goals to transform our world*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment>
39. Torsdottir, A. E., Olsson, D., Sinnes, A. T., et al. (2024). The relationship between student participation and students' self-perceived action competence for sustainability in a whole school approach. *Environmental Education Research*, 30(8), 1308–1326. <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2326462>
40. Psota, T., Maniscalco, S., Kijek, M., & Ohlhorst, S. D. (2023). Driving transformative change to end hunger and reduce diet-related diseases and disparities: The White House Conference on Hunger, Nutrition, and Health. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 117(4), 649–658. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2023.01.013>. EDN: <https://elibrary.ru/ZUCSBR>
41. Vallabh, P., Lotz-Sisitka, H., O'Donoghue, R., et al. (2016). Mapping epistemic cultures and learning potential of participants in citizen science projects. *Conservation Biology*, 30(3), 540–549. <https://doi.org/10.1111/cobi.12701>. PMID: 27110848
42. van Venrooij, L. T., Barnhoorn, P. C., Barnhoorn-Bos, A. M., et al. (2022). General practitioners' everyday clinical decision-making on psychosocial problems of children and youth in the Netherlands. *PLoS ONE*, 17(12), e0278314. (Published: December 28, 2022). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278314>. EDN: <https://elibrary.ru/VZOWVJ>
43. United Nations. (n.d.). *What is Goal 11 – Sustainable cities?* Retrieved from https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2023/09/Goal-11_Fast-Facts.pdf

44. United Nations. (n.d.). *What is Goal 16 – Peace, justice, and strong institutions?* Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2019/01/Goal-16-Fast-Facts.pdf>
45. Wignjadiputro, I., Widaningrum, C., Setiawaty, V., et al. (2020). Whole-of-society approach for influenza pandemic EpiCenter containment exercise in Indonesia. *Journal of Infection and Public Health*, 13, 994–997. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.12.009>. EDN: <https://elibrary.ru/ERQXQA>
46. Yuan, X., Yu, L., & Wu, H. (2021). Awareness of Sustainable Development Goals among students from a Chinese senior high school. *Education Sciences*, 11, 458. <https://doi.org/10.3390/educsci11090458>. EDN: <https://elibrary.ru/NRPEYN>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Арестова Инесса Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, Институт профильного обучения «Импульс»
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет)
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119048, Российская Федерация
nessizz@rambler.ru

Шаронова Евгения Геннадьевна, кандидат педагогических наук, доцент, Институт профильного обучения «Импульс»
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет)
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119048, Российская Федерация
evgenija-sharonova@rambler.ru

Куприянова Марина Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, Институт профильного обучения «Импульс»
ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет)
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, Москва, 119048, Российская Федерация
sofmar@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inessa Yu. Arestova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Institute of Specialized Education «Impulse»
Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)
8 bldg. 2, Trubetskaya Str., Moscow, 119048, Russian Federation
nessizz@rambler.ru
SPIN-code: 2120-2592
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2141>
ResearcherID: AAG-7270-2019
Scopus Author ID: 56377067300

Evgeniya G. Sharonova, Candidate of pedagogical sciences, Associate Professor,
Institute of Specialized Education «Impulse»
Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)
8 bldg. 2, Trubetskaya Str., Moscow, 119048, Russian Federation
evgeniya-sharonova@rambler.ru
SPIN-code: 4219-7850
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4155-7118>
ResearcherID: AAQ-9484-2020

Marina Yu. Kupriyanova, Candidate of biological sciences, Associate Professor,
Institute of Specialized Education «Impulse»
Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)
8 bldg. 2, Trubetskaya Str., Moscow, 119048, Russian Federation
sofmar@bk.ru
SPIN-code: 8210-3938
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3247-8052>
ResearcherID: AAQ-9443-2020

Поступила 30.01.2025

После рецензирования 04.03.2025

Принята 07.03.2025

Received 30.01.2025

Revised 04.03.2025

Accepted 07.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1647

EDN: YMOAAD

УДК 614.256:34.04



Научная статья

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗА МИРА КАК ИНДИКАТОР СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА

*М.С. Яницкий, А.А. Утюганов,
М.С. Иванов, Л.В. Фролова*

Аннотация

Обоснование. Статья является продолжением серии исследований проблемы пространственных и временных характеристик образа мира как факторов и индикаторов социально-психологического здоровья курсантов военного вуза в контексте проблемы организации здоровьесберегающего образовательного пространства военных вузов. В данной статье представлены результаты применения инновационного авторского метода изучения пространства образа мира у курсантов как непосредственных чувственных топологически объективированных и локализованных в субъективном психологическом времени пространственных представлений.

Цель исследования. В статье теоретическими и эмпирическими путями раскрыты пространственных и временных характеристик образа мира как факторов и индикаторов социально-психологического здоровья курсантов военного вуза в контексте проблемы организации здоровьесберегающего образовательного пространства военных вузов.

Материалы и методы. Для изучения пространственных характеристик образа мира использовался метод вербального самоотчета в виде экспериментальной задачи, состоящей в описании испытуемыми субъективно значимых географических местоположений, их эмоциональном оценивании и смысловой интерпретации по заданному плану. Для изучения отношения к времени используется методика «Семантический дифференциал времени» Вассермана и методика ZTP1 Ф. Зимбардо. При обработке использованы статистические методы (сравнительный анализ Манна-Уитни, корреляционный анализ Пирсона). Исследование проведено в Новосибирском военном ордена Жукова

имени генерала армии И. К. Яковлева институте войск национальной гвардии Российской Федерации на выборке из 222 курсантов.

Результаты. Представлены данные об объеме и масштабе пространства образа мира у курсантов военного вуза. Показано, что пространство образа мира у большинства курсантов включает местоположения из субъективного прошлого, отношение к которым положительно эмоционально окрашено, и не включает нынешнее место пребывания (военный институт), что связано с темпоральными характеристиками, причем объем пространства образа мира в процессе обучения сокращается.

Заключение. Делается ряд выводов общетеоретического значения о структуре пространственного и временного компонентов образа мира и возможности ее изучения предложенным методом. Также делается вывод о том, что пространство образа мира курсанта, не включающее настоящие и будущие (целевые) местоположения, может выступать индикатором психологического напряжения, что необходимо учитывать в организации психолого-педагогической и здоровьесберегающей работы в военном вузе.

Ключевые слова: образ мира; пространственные представления; временные представления; социально-психологическое здоровье; военное образование; здоровьесбережение

Для цитирования. Яницкий, М. С., Утюганов, А. А., Иванов, М. С., & Фролова, Л. В. (2025). Пространственные и временные характеристики образа мира как индикатор социально-психологического здоровья курсантов военного вуза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 473-496. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1647>

Original article

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS OF THE IMAGE OF THE WORLD AS AN INDICATOR OF THE SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL HEALTH OF CADETS OF A MILITARY UNIVERSITY

M.S. Yanitsky, A.A. Utyuganov,
M.S. Ivanov, L.V. Frolova

Abstract

Background. The article is a continuation of a series of studies of the problem of spatial and temporal characteristics of the image of the world as factors and indicators

of the socio-psychological health of cadets of a military university in the context of the problem of organizing a health-preserving educational space of military universities. This article presents the results of applying the author's innovative method of studying the space of the image of the world in cadets as immediate sensory topologically objectified and localized in subjective psychological time spatial representations.

Purpose. The article theoretically and empirically reveals the spatial and temporal characteristics of the image of the world as factors and indicators of the socio-psychological health of cadets of a military university in the context of the problem of organizing a health-preserving educational space of military universities.

Materials and methods. To study the spatial characteristics of the image of the world, the verbal self-report method was used in the form of an experimental task consisting in the subjects' description of subjectively significant geographic locations, their emotional assessment and semantic interpretation according to a given plan. The method of "Semantic Differential of Time" by Wasserman and the method of ZPTI by F. Zimbardo are used to study the attitude to time. Statistical methods (comparative analysis of Mann-Whitney, correlation analysis of Pearson) were used in the processing. The study was conducted at the Novosibirsk Military Order of Zhukov named after General of the Army I.K. Yakovlev Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation on a sample of 222 cadets.

Results. The article presents data on the volume and scale of the world image space of military university cadets. It is shown that the world image space of most cadets includes locations from the subjective past, the attitude to which is positively emotionally colored, and does not include the current place of stay (military institute), which is associated with temporal characteristics, and the volume of the world image space decreases during the learning process.

Conclusion. A number of conclusions of general theoretical significance are made about the structure of the spatial and temporal components of the world image and the possibility of studying it using the proposed method. It is also concluded that the space of the cadet's world image, which does not include present and future (target) locations, can act as an indicator of psychological stress, which must be taken into account in the organization of psychological, pedagogical and health-preserving work in a military university.

Keywords: world image; spatial representations; temporal representations; socio-psychological health; military education; health preservation

For citation. Yanitsky, M. S., Utyuganov, A. A., Ivanov, M. S., & Frolova, L. V. (2025). Spatial and temporal characteristics of the image of the world as an indicator of the social and psychological health of cadets of a military university. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 473-496. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1647>

Введение

Военнослужащие войск национальной гвардии России являются особой профессиональной группой, интерес ученых и практиков к которой в последнее время возрастает. Изучаются ценностно-смысловые характеристики личности офицеров, особенности их психологического отношения к профессиональным ценностям, характеристики образа мира и образа будущего курсантов, будущих офицеров [10; 11; 29]. Образ мира военнослужащих интересен тем, что формируется в специфических условиях воздействия неблагоприятных факторов среды, влияющих на годность к исполнению обязанностей военной службы, а также под влиянием особой системы военного воспитания, направленного на формирование личности защитника [13-15]. Образ мира, формирующийся у будущих офицеров в процессе обучения в военном вузе, отражает динамику формирования их личности, в том числе профессиональной идентичности [24]. С медико-психолого-педагогических позиций содержание образа мира курсантов выступает индикатором стабильности их личностного и профессионального развития, позволяет осуществлять мониторинг и своевременную профилактику отклонений, коррекцию возможных психологических проблем в контексте работы образовательного учреждения по психологическому сопровождению и здоровьесбережению [16-19].

Образ мира, как отражение объективной действительности в психике субъекта, согласно отечественной психологической теории, выступает основным психическим содержанием, общим результатом деятельности сознания и поэтому отражает в себе личность человека во всей индивидуальности и пристрастности системы отношений к миру и самому себе. Образ мира, как сложная психическая система, традиционно анализируется в психологических исследованиях по отдельным своим составляющим или характеристикам. Например, изучаются ценностно-смысловые характеристики образа мира [2; 26], временные характеристики образа мира. Наименее изученными представляются пространственные характеристики образа мира. Проблема здесь связана с тем, что психология пространства до сих пор продолжает изучаться классическими методами, в основном в рамках психологии восприятия пространства и зрительного восприятия. Очевидный недостаток исследований этого направления состоит в недооценке активной роли субъекта в конструировании собственной психической реальности, обусловленной не столько перцептивными, сколько ценностно-смысловыми процессами. Попытки представителей современной конструктивистской парадигмы изучать пространство как «сверхчувственное» явление порождают

другую проблему – переживание пространства сводится к феноменам, не имеющим прямого отношения к психической обработке физического пространства. Изучается, например, пространство профессионального бытия, бытийное пространство и другие формы абстрактных, не физических «пространств». Кроме того, «пространство» используется как категориальная единица для обозначения сфер психического. Достаточно укорененными в теории являются понятия семантического, смыслового, жизненного «пространства». Также исследуется «внутреннее пространство личности», «психологическое пространство», «ментальное пространство», «мотивационное пространство» и т.д.

Актуальной является и проблема психологического изучения времени. Поскольку время является динамической характеристикой пространства и без пространства не существует, то и подлинное решение проблемы времени в психологии невозможно без убедительной теории психологии пространства. Несмотря на серьезные исследовательские традиции и сложившиеся направления исследования психологии времени, научная психология на сегодня не имеет достаточно убедительного решения проблемы о механизмах существования представлений о пространстве и времени в сознании человека.

Таким образом, изучение пространственных и временных характеристик образа мира у курсантов военного вуза способствует решению сразу нескольких задач, как научных психологических, так и конкретно-педагогических, имеющих отношение к медико-психолого-педагогическому обеспечению образовательного процесса военного вуза.

Обзор литературы

Отправной точкой для современных исследований образа мира выступают представления А.Н. Леонтьева, который определил «образ мира» как систему представлений человека о мире, о себе в мире, как отражение мира в сознании человека, непосредственно включенное во взаимодействие человека и мира. Вслед за А.Н. Леонтьевым Д.А. Леонтьев назвал образ мира «экраном сознания», идеальным отражением бытия, субъективной реальностью, переживаемой и мыслимой человеком [12].

Структура образа мира описана С.Д. Смирновым, выделившим поверхностные и ядерные (глубинные) слои. Поверхностный слой включает в себя сенсорно окрашенные образы внешнего мира, ядерные слои основаны на символической репрезентации мира, системе значений, которые образуют отраженное пространство деятельности человека в реальном мире [23].

В концепции Е.Ю. Артемьевой знаковое опосредование субъективного опыта и картины мира включает три основных уровня. Первый уровень – «перцептивный мир». Он характеризуется слитностью значения и модальной перцептивной, чувственной предметности. Второй уровень – «картина мира» – лишен чувственных образов, включает значения и отношения. Третий уровень – «образ мира» – представлен амодальными семантическими структурами, возникающими при обработке предыдущего уровня [1].

Пространственно-временная структура мира рассматривается исследователями как базовая для психики, в психическом образе отображается пространственная структура и временная динамика мира. Результаты лингвистических исследований показывают взаимосвязь и взаимообусловленность базисных категорий «пространство» и «время» в языке как средстве объективации картины мира [22].

Проблема психологического исследования единого времени-пространства реализуется в изысканиях о пространственно-временных образных гештальтах Л.М. Веккера и Б.Ф. Ломова, взаимоотражениях времени и пространства, в том числе в концепции хронотопа, развиваемой в психологии В.П. Зинченко [8]. Пространственно-временные характеристики мысленных образов как ментальные репрезентации объектов изучались еще в классических исследованиях представителей когнитивной психологии Дж. Брунера и У. Найссера, идеи которых находят свое развитие в современных исследованиях, например, пространственно-временного континуума [3].

В классической психологии восприятия пространства анализируются различные виды пространственных представлений, основанные на различных теориях умственной репрезентации представлений: теория радикальных образов Б. Бугельски и Р. Шепарда, концептуально-пропозициональная теория Д. Андерсона и Д. Бауэра, теория двойного кодирования А. Пэвио и Л. Брукса, классификация Ж. Пиаже, согласно которой, представления делятся на топологические, проекционные и евклидова пространства [6].

Особого внимания заслуживает типология пространственных представлений, предложенных В.П. Зинченко. Он выделяет вербальные и перцептивные представления человека о пространстве. При этом оба вида представлений выглядят как некое единое целое, где перцептивная категоризация представляет наиболее внушительную и мало доступную для изучения часть [21].

Изучение представлений о времени в психологии традиционно связано с понятием временной перспективы личности. К. Левин впервые указал на основную функцию временной перспективы личности как субъективную

интеграцию в личности своего прошлого и будущего, вследствие чего течение жизни в настоящем представляется неразрывным [7]. Идеи К. Левина развивал П. Фресс, который ввел понятие «временной горизонт» (или «временной кругозор»), предполагая, что временные представления развиваются в процессе жизни, складываясь в определенную систему, образуя очередность прошлых или прогнозируемых событий [25]. Ж. Нюттен ввел понятия временной ориентации и временной установки, под которыми понимал доминирующую направленность и настроенность субъекта на события прошлого, настоящего или будущего [20].

Временная перспектива личности изучается в исследованиях Ф. Зимбардо, который выделяет ряд типов личностных диспозиций переживания времени, выступающих и шкалами его известной методики диагностики временной перспективы ZPTI [30]: позитивное прошлое (фиксация на приятном прошлом), негативное прошлое (фокусировка на негативных воспоминаниях); гедонистическое настоящее (поиск удовольствий, новых ощущений и избегание боли); фаталистическое настоящее (переживание настоящего как predetermined, когда решения субъекта не имеют значения; будущее (ориентация на планирование будущего).

В отечественной психологии Е.И. Головаха и А.А. Кроник предложили теорию психологического времени личности, выступающем отраженным в психике частью образа мира человека [5]. В дальнейшем значимые результаты в изучении психологического времени были получены в исследованиях В.И. Ковалева, который ввел понятие «временная трансспектива», как способность сознания соединять прошлое, настоящее и будущее, интегрируя время своей жизни [9].

Опираясь на выделенные Е.И. Головахой и А.А. Кроником факторы временной перспективы («континуальность-дискретность времени», «напряженность времени» и «эмоциональное отношение к диапазону времени») и используя психосемантический подход, Л.И. Вассерман с соавторами предложили методику «Семантический дифференциал времени», которая позволяет изучить индивидуальные особенности отношения личности к времени. Методика позволяет оценить отношение к прошлому, настоящему и будущему по следующим факторам: активность времени, эмоциональная окраска времени, величина времени и структура времени [4].

Материалы и методы

Для изучения пространственных характеристик образа мира использовался метод вербального самоотчета в виде экспериментальной задачи, со-

стоящей в описании испытуемыми субъективно значимых географических местоположений, их эмоциональном оценивании и смысловой интерпретации по заданному плану. Согласно теоретическим положениям исследования, пространственно-временная составляющая образа мира может изучаться в психологии как перцептивно-вербальная модель известной субъекту части физического мира, представленная в сознании в виде образов географических местоположений (локаций или объектов), наделенных личностным смыслом, к которым у субъекта имеется устойчивое эмоционально окрашенное отношение, осознаваемых как часть своего жизненного мира и переживаемых в транспективе психологического прошлого, настоящего и будущего. При обработке рассчитывались следующие основные показатели: 1) объем пространства образа мира, как количество описанных испытуемым местоположений; 2) масштаб пространства образа мира, как реальная географическая разбросанность описанных местоположений; 3) временная локализация образов местоположений – субъективное прошлое, настоящее или будущее.

Для изучения временных характеристик образа мира использовались методика «Семантический дифференциал времени Л.И. Вассермана, методика «Опросник временной перспективы» (ЗТPI) Ф. Зимбардо.

Для качественного и количественного анализа данных применялись: контент-анализ, экспертная оценка, методы математической обработки данных: корреляционный анализ Пирсона, сравнительный анализ с применением критерия Манна-Уитни, частотный (процентный) анализ.

В общей сложности в исследовании приняли участие 222 курсанта 1–5 курсов Новосибирского военного ордена Жукова института имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии, обучающиеся по направлениям «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Перевод и переводоведение». Возраст испытуемых от 18 до 23 лет, средний возраст 20,7 года. Все испытуемые мужского пола.

Результаты

Пространственные характеристики образа мира, согласно используемой в исследовании теоретической модели, это, в первую очередь объем и масштаб пространства образа мира. Объем пространства образа мира может быть измерен как количество субъективно значимых местоположений, описанных субъектом. Процентное распределение этого показателя у курсантов приведено в Таблице 1 для первого и выпускного курсов.

Таблица 1.

**Процентное распределение показателя объема пространства образа мира
для курсантов разных курсов, %**

Объем (количество значимых местоположений)	Первокурсники (N=109; M=2,46; $\sigma=1,13$)	Выпускники (N=46; M=1,97; $\sigma=1,23$)	Все (N=222; M=2,28; $\sigma=1,16$)
1	20,2	47,8	30,2
2	35,8	26,1	31,1
3	28,4	13,0	24,8
4	9,2	8,7	8,6
5	5,5	2,2	4,5
6	0,9	2,2	0,9

Наибольшее количество описанных одним испытуемым местоположений составило 6 – это максимальный обнаруженный в данном исследовании объем пространства образа мира (0,9% испытуемых). Объем 5 выявлен у 4,5% испытуемых, 4 – у 8,6% испытуемых. Подавляющее большинство курсантов (85%) описывают от одного до трех местоположений. Заметно различие распределения анализируемого показателя среди групп курсантов первого и выпускного курсов: доля курсантов с минимальным объемом пространства образа мира (указано одно местоположение) возрастает с 20,2% до 47,8%, в то время как доля курсантов с объемом 2 снижается с 35,8% до 26,1%, как и с объемом 3 – с 28,4% до 13%. Среднее арифметическое показателя объема также снижается от первого курса (M=2,46; $\sigma=1,13$; N=109) к выпускному (M=1,97; $\sigma=1,23$; N=46), причем различие статистически значимо по U-критерию Манна-Уитни ($p<0,01$). При этом доля курсантов с относительно высоким объемом пространства образа мира (4 и более) остается почти неизменной – около 15%.

Вторая характеристика пространства образа мира – его масштаб, который может быть измерен как географическая разбросанность описанных местоположений. Процентное распределение этого показателя у курсантов приведено в Таблице 2 для первого и выпускного курсов.

Наибольшая доля курсантов характеризуется масштабом пространства образа мира, ограниченными пределами нашей страны (40,5%), либо одним населенным пунктом (35,6%). Лишь небольшая доля курсантов (7,2%) имеют образ мира, пространство которого выходит за пределы России. Повторяя закономерности показателя объема, масштаб также в среднем снижается от первого курса к выпускному. Так, у первокурсников минимальный масштаб, ограниченный одним населенным пунктом, встреча-

ется у 27,5% испытуемых, а на выпускном курсе – у 52,1%; примерно на столько же, соответственно, снижается доля курсантов с масштабом образа мира, развернутым до пределов всей страны – с 45% до 26%.

Таблица 2.

Процентное распределение показателя масштаба пространства образа мира для курсантов разных курсов, %

Масштаб (географический разброс местоположений)	Первокурсники	Выпускники	Все
Один населенный пункт	27,5	52,1	35,6
Один регион РФ	20,2	17,4	16,7
Россия	45,0	26,1	40,5
Россия и страны ближнего зарубежья	1,8	-	2,7
Россия и страны дальнего зарубежья	5,5	4,3	4,5

Единство переживания пространства и времени в образе мира обеспечивается обязательной временной локализацией пространственных местоположений. Каждое описанное испытуемым местоположение однозначно им отнесено к прошлому (имеется в непосредственном прошлом опыте – жил там, бывал), настоящему (в настоящее время переживается) или будущему (знаком с местоположением опосредованно, планирует побывать там или мечтает). Анализируя полученные данные, необходимо отметить, что все без исключения курсанты (100%) описали хотя бы одно местоположение из прошлого. В подавляющем большинстве – это населенные пункты, где родился курсант, прошло его детство (например, «село Усть-Има – родные места, где было мое детство, где остались мои друзья»; «Красноярск – родился, выучился»; «Родной дом, г. Кемерово, потому что я вырос в нем и с ним связана вся моя жизнь»). Также широко представлены описания местоположений из прошлого испытуемых, где курсант бывал, проживал, учился, отдыхал (например, «озеро Байкал – любил ездить с родителями»; «п-ов Крым, г. Судак, очень красивое место»; «Грузия, был на турнире по боксу, продолжительное время, приятные воспоминания, любовь, тепло»).

Доля курсантов, в числе описаний у которых встречаются местоположения, относящиеся к субъективному настоящему или будущему, существенно ниже – настоящее 8,1%, будущее 5,9%. Причем это распределение существенно не различается между курсантами первого и выпускного кур-

сов. Описания местоположений из настоящего всегда связаны с военным институтом, в котором в настоящее время обучается и проживает курсант (например, «г. Новосибирск – место учебы»; «Новосибирск – обучаюсь в данном городе»). Местоположения, относящиеся к будущему, в большинстве случаев носят характер мечты (например, «Москва - столица России, всегда мечтал побывать в этом городе»; «Санкт-Петербург – мечтаю там побывать»; «Архангельск – ни разу не бывал там, но мечтаю»).

В продолжение изучения взаимосвязи пространственных и временных характеристик образа мира представим результаты корреляционного анализа полученных показателей объема и масштаба пространства образа мира с рядом тестовых показателей, отражающих временные характеристики (шкалы методик ЗТПИ и СДВ (Таблица 3)).

Таблица 3.

**Результаты корреляционного анализа пространственных
и временных характеристик образа мира**

	ЗТПИ (Негативн. прош- лое)	ЗТПИ (Гедонист. настоя- щее)	СДВ (На- стоящее - Актив- ность времени)	СДВ (На- стоящее - Эмоц. окраска времени)	СДВ (Настоя- щее - Ве- личина времени)	СДВ (Будущее - Актив- ность времени)
Объем простран- ства образа мира	0,22*	-	-	-	-	0,19*
Масштаб про- странства образа мира	0,19*	0,14*	-	-	-	0,16*
Количество ме- стоположений прошлого	0,21*	-	-	-0,14*	-	0,14*
Количество место- положений насто- ящего	-	-0,16*	0,15*	-	0,14*	-

* - корреляция статистически значима при $p < 0,05$

Анализируя данные, представленные в Таблице 3, следует отметить, что получен целый ряд статистически значимых корреляций между пространственными и временными характеристиками образа мира. Заслуживают внимания целый ряд корреляций показателей пространства образа мира со шкалой ЗТПИ «Негативное прошлое»: с ней значимо коррелируют обе основные пространственные характеристики – объем ($r=0,22$) и масштаб ($r=0,19$), а также количество местоположений из прошлого ($r=0,21$). Еще один временной показатель, оказавшийся также чувствительным к пространствен-

ным характеристикам – шкала СДВ «Будущее – Активность времени»: она коррелирует также с объемом ($r=0,19$), масштабом ($r=0,16$) и количеством местоположений прошлого ($r=0,14$). Указанные корреляции означают, что чем больше прошлое переживается как негативное, а будущее как более активное, тем больше объем и масштаб пространства образа мира.

Количество местоположений настоящего отрицательно коррелирует со шкалой ZTPИ «Гедонистическое настоящее» ($r=-0,16$) и положительно с СДВ «Настоящее - Активность времени» ($r=0,15$), и СДВ «Настоящее – Величина времени» ($r=0,14$). Это означает, что те немногие курсанты, которые отметили при описании значимых местоположений свое нынешнее место пребывания, в меньшей мере отличаются гедонистическим отношением к настоящему, и в большей степени переживают настоящее как активное и объемное.

В наших предыдущих публикациях были представлены результаты, указывающие на особую роль переживания настоящего времени у курсантов [19; 20]. В этом исследовании мы получили данные о пространстве настоящего времени, что позволяет изучить не только оценочное отношение к настоящему, но и рассмотреть проблему в контексте фактического субъективного отражения пространства настоящего времени в образе мира. В дополнение к представленным результатам корреляционного анализа проанализируем результаты сравнительного анализа между немногочисленной группой курсантов, в субъективное пространство образа мира которых входит нынешнее местоположение (8% от общего числа испытуемых), и большинства, у которых пространство настоящего как бы «выпадает» из образа мира (Таблица 4).

Сравнительный анализ с применением критерия Манна-Уитни показывает статистически значимые различия по целому ряду временных характеристик образа мира. Так, курсантов в пространство образа мира которых входит их настоящее местоположение, значимо меньше, чем курсантов, у которых настоящее местоположение не включено в образ мира, переживают настоящее как гедонистическое (шкала ZTPИ «Гедонистическое настоящее» $M=2,64$ против $M=3,01$), а прошлое – как позитивное (шкала ZTPИ «Позитивное прошлое» $M=4,02$ против $M=4,35$). При этом у них значимо выше оценки психологического настоящего по методике СДВ (шкала СДВ «Настоящее» $M=8,76$ против $M=6,6$), а также оценки психологического будущего (шкала СДВ «Будущее» $M=9,54$ против $M=7,14$). Полученные результаты подтверждают предположение о взаимосвязи и взаимообусловленности пространственных и временных характеристик образа мира у курсантов.

Таблица 4.

Результаты сравнительного анализа пространственно-временных характеристик между группами курсантов с разной представленностью пространства настоящего в образе мира

Показатели	Группа 1 («пространства настоящего нет») (N=204)		Группа 2 («пространство настоящего есть») (N=18)		Р
	М	σ	М	σ	
Объем пространства образа мира	2,21	1,15	3,22	1,00	<0,01
Масштаб пространства образа мира	2,86	1,55	3,78	0,73	0,01
ZTP1 «Гедонистич. настоящее»	3,01	0,62	2,64	0,55	0,01
ZTP1 «Позитивное прошлое»	4,35	0,61	4,02	0,81	0,04
СДВ «Настоящее – Активность времени	5,11	4,79	8,06	4,05	0,01
СДВ «Настоящее – Эмоц. окраска времени»	8,40	7,16	11,89	3,91	0,04
СДВ «Настоящее – Величина времени»	7,81	5,91	10,78	3,81	0,04
СДВ «Настоящее»	6,60	4,59	8,76	2,19	0,05
СДВ «Прошлое – Эмоц. окраска времени»	10,79	6,72	13,83	2,64	0,05
СДВ «Будущее – Активность времени	4,65	4,56	7,11	3,86	0,03
СДВ «Будущее – Величина времени»	10,19	7,26	13,61	2,55	0,05
СДВ «Будущее»	7,14	4,99	9,54	2,07	0,04

Обсуждение и заключения

Результаты исследования имеют как теоретическое значение, связанное с проблемой изучения образа мира в психологии, так и практическое значение, связанное с психолого-педагогическими аспектами военного образования, и, в первую очередь, с решением задач психологического сопровождения учебного процесса и здоровьесбережения обучающихся.

В исследовании впервые применен авторский метод эмпирического изучения пространства образа мира человека, причем именно как чувственных, перцептивных топологически объективированных содержаний сознания, а не вербальных репрезентаций или различных форм когнитивных отношений, как это традиционно изучается. Показано, что в единстве с измерением темпоральных характеристик образа мира, можно получать эмпирические данные, отражающие конкретное содержание пространственно-временной составляющей образа мира, чувственного слоя сознательных представлений, анализ которых позволяет получить самую разнообразную информацию о психических состояниях и свойствах субъекта.

Исследованием показано, что пространство образа мира у большинства курсантов военного института включает в себя местоположения из прошлого, в основном связанные с родительским домом, местами путешествий в детском и юношеском возрасте. В подавляющем большинстве случаев репрезентации этих местоположений позитивно эмоционально окрашены и имеют личностный смысл родительского дома, детства, родины, описываются как что-то доброе и светлое, что навсегда остается в сердце, душевная опора, дающая, говоря в терминологии К. Хорни и Э. Эриксона, базовое чувство безопасности и доверия к миру. У большинства курсантов объем пространства образа мира ограничен тремя местоположениями, которые находятся в пределах России, а несколько реже – в пределах одного региона.

Лишь небольшая часть курсантов включают в пространство образа мира локацию, в которой они находятся в настоящее время – военный институт. Причем число таких курсантов не возрастает в процессе обучения, как можно было ожидать, если предположить, что вхождение местоположения в пространство образа мира происходит постепенно. Поскольку военный институт не может не быть для курсантов частью их образа мира, такое «выпадение» может указывать на нежелание испытуемых указывать очевидное, по их мнению, местоположение, либо нежелание отмечать в психологическом исследовании режимное военное учреждение, либо – на психологические проблемы, связанные с переживаниями прошлого или отношением к настоящему.

У большинства курсантов пространство образа мира сокращается в процессе обучения в военном вузе. Выявлено, что к четвертому курсу обучения курсанты называют в среднем на 20% меньше местоположений, которые они считают значимыми, т.е. в терминологии данного исследования, образующими пространство образа мира. Вероятно, это связано с образом жизни курсантов, находящихся в процессе обучения в закрытом военном учреждении. Местоположения из прошлого, которые были значимыми на момент поступления в военный институт, с взрослением и просто по прошествии времени, становятся менее яркими и постепенно «выпадают» из субъективного пространства образа мира. В то же время пространство образа мира не обогащается новыми местоположениями, поскольку курсанты находятся на территории военного института. Установлено, что «выпадают» в первую очередь местоположения, связанные с путешествиями и временным проживанием, а места длительного проживания, особенно родные места, являются наиболее устойчивыми в образе мира. В связи с этим сокращается и масштаб пространства образа мира – со страны до региона, а нередко и до окрестностей одного населенного пункта.

Полученные данные о взаимосвязи пространственных и временных характеристик образа мира позволяют сделать ряд предположений о закономерностях его формирования. Установлено, что курсанты, в пространство образа мира которых входит больше местоположений из прошлого, но не входит нынешнее местоположение и местоположения из образа будущего, отличаются более негативным отношением к прошлому, настоящее воспринимают, в терминологии Ф. Зимбардо, гедонистически, а также хуже представляют себе будущее. Иными словами, пространство образа мира, пусть и объемное, но ограниченное прошлым, может указывать на существование психологических проблем, невротизацию, общее снижение уровня психологического здоровья. В целом, обнаруженные факты позволяют предположить, что наиболее значимыми психологическими индикаторами в контексте задач здоровьесбережения курсантов, выступают не объем и масштаб образа мира, а представленность в нем всех временных локусов – прошлого, настоящего и будущего. В этом смысле полученные результаты согласуются с теорией временной перспективы – многие исследователи, начиная с К. Левина и П. Фресса и до более современных, Ф. Зимбардо, например, приходят к выводу о важности единства переживания прошлого, настоящего и будущего как условия психологического здоровья и нормального развития личности.

В целом, исследованием показана эффективность и действенность изучения пространственно-временных характеристик образа мира у курсантов методом сбора эмпирических данных о конкретно-чувственных содержаниях сознания. При этом очевидны и ограничения используемой в данном научном исследовании формы сбора данных в виде письменного вербального самоотчета, что позволило опросить большую группу испытуемых, но, вероятно, привело к неизбежной потере качества сбора информации.

Есть все основания полагать, что при организации обследований в форме индивидуальной психодиагностической беседы, а именно в такой форме рекомендуется работать психологам и преподавателям с курсантами – качество сбора эмпирических данных будет выше, появится возможность прояснять и уточнять отдельные вопросы, связанные с пространственными местоположениями, причинами их присутствия или отсутствия в структуре пространства образа мира. Собранные таким образом данные будут не только точнее указывать на наличие психологических проблем у курсантов, но и позволят определять конкретные потенциальные мишени корректирующего психолого-медико-педагогического воздействия.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Артемьева, Е. Ю. (1999). *Основы психологии субъективной семантики*. Москва: Смысл. 350 с.
2. Балабашук, Р. О., Яницкий, М. С., Серый, А. В., Браун, О. А., Маслова, О. В., Микляева, А. В., Терещенко, В. В., Филенко, И. А., Санжаева, Р. Д., Дагбаева, С. Б., Неяскина, Ю. Ю., & Кадыров, Р. В. (2020). Трансформация пространственно-временных и ценностно-смысловых составляющих образа мира в процессе обучения в вузе. *Вестник Кемеровского государственного университета*, 22(3), 714–726. <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2020-22-3-714-726>. EDN: <https://elibrary.ru/NCOYOT>
3. Березина, Т. Н. (2001). *Многомерная психика. Внутренний мир личности*. Москва: ПЕР СЭ. 320 с.
4. Вассерман, Л. И., Трифонова, Е. А., & Червинская, К. Р. (2009). *Семантический дифференциал времени: экспертная психодиагностическая система в медицинской психологии: пособие для врачей и медицинских психологов*. Санкт-Петербург: СПб НИПНИ им. В. М. Бехтерева. 44 с.
5. Головаха, Е. И., & Кроник, А. А. (2008). *Психологическое время личности*. Москва: Смысл. 267 с. ISBN: 978-5-89357-248-3. EDN: <https://elibrary.ru/QXWMSX>
6. Гончаров, О. А., & Тяповкин, Ю. Н. (2008). Взаимосвязь перспективных построений и константности восприятия величины. *Психологический журнал*, (1), 55–66. EDN: <https://elibrary.ru/INMISZ>
7. Зейгарник, Б. В. (1981). *Теория личности Курта Левина*. Москва: Издательство Московского университета. 117 с.
8. Зинченко, В. П. (2002). Человек в пространстве времён. *Развитие личности*, (3), 23–50.
9. Ковалёв, В. И. (1995). Особенности личностной организации времени жизни. В *Гуманистические проблемы психологической теории* (с. 179–184). Москва: Наука.
10. Костоусов, А. Г., Утюганов, А. А., Яницкий, М. С., & Иванов, М. С. (2017). Представления о безопасности у курсантов военного вуза и ценностно-смысловые предикторы их сформированности. *Вестник Новосибирского государственного педагогического университета*, (5), 37–54. <https://doi.org/10.15293/2226-3365.1705.03>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQXRSF>

11. Кузнецов, А. В., & Утюганов, А. А. (2018). Образ профессионального будущего курсантов вуза войск национальной гвардии Российской Федерации в зависимости от степени вовлечённости в спортивную деятельность. *Вестник Кемеровского государственного университета*, (4), 144–156. <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2018-4-144-156>. EDN: <https://elibrary.ru/YSDUCD>
12. Леонтьев, Д. А. (2003). *Психология смысла: природа, строение и динамика смысловой реальности: учебное пособие для студентов вузов* (2-е изд., испр.). Москва: Смысл. 486 с.
13. Наумов, П. Ю., Большакова, В. М., Землин, А. И., & Холиков, И. В. (2021). Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(6), 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>. EDN: <https://elibrary.ru/JYSZQR>
14. Наумов, П. Ю., & Холиков, И. В. (2023). Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(1), 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>. EDN: <https://elibrary.ru/QIGLAF>
15. Наумов, П. Ю., Шепель, Р. Н., & Холиков, И. В. (2023). Оказание военнотружущим первичной медико-санитарной помощи: правовое регулирование и проблемные аспекты. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, 22(S9), 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>. EDN: <https://elibrary.ru/DSOXXG>
16. Наумов, П. Ю., Баранова, Н. Н., Холиков, И. В., & Купцов, С. А. (2023). Комплексное исследование правовых основ и проблемных вопросов оказания первой помощи военнотружущим (военнотружущими). *Медицина катастроф*, (3), 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>. EDN: <https://elibrary.ru/LQLOAC>
17. Наумов, П. Ю., Холиков, И. В., & Солдатов, С. К. (2024). Концептуализация понятия «военно-врачебная экспертиза» в междисциплинарном контексте. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(1), 422–445. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071>. EDN: <https://elibrary.ru/DOFVTM>
18. Наумов, П. Ю., Холиков, И. В., & Утюганов, А. А. (2024). Правовые вопросы соблюдения врачебной тайны при проведении военно-врачебной (врачебно-лётной) экспертизы. *Авиакосмическая и экологическая медици-*

- на, 58(6), 108–116. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2024-58-6-108-116>. EDN: <https://elibrary.ru/НКАТНУ>
19. Наумов, П. Ю. (2025). Правовое регулирование заочного медицинского освидетельствования в рамках проведения военно-врачебной экспертизы. *Право в Вооружённых Силах — Военно-правовое обозрение*, (1), 53–62. EDN: <https://elibrary.ru/FINOOK>
20. Нюттен, Ж. (2008). *Мотивация, действие и перспектива будущего* (Д. А. Леонтьев, ред.). Москва: Смысл. 608 с.
21. Прохоров, С. А., & Баланёв, Д. Ю. (2004). Исследование многомерного мира человека в его пространственных составляющих. *Вестник Барнаульского государственного педагогического университета*, (4), 36–40.
22. Семёнова, М. Н. (2007). Ментальные репрезентации времени и пространства. *Личность. Культура. Общество*, 9(Спец. выпуск 1), 362–370.
23. Смирнов, С. Д. (1985). *Психология образа: проблема активности психического отражения*. Москва: Издательство Московского университета. 232 с.
24. Смирнов, Д. В., & Наумов, П. Ю. (2024). Организационно-правовые основы управления профессиональным психологическим отбором в войсках национальной гвардии России. *Психология и право*, 14(1), 214–234. <https://doi.org/10.17759/psylaw.2024140114>. EDN: <https://elibrary.ru/TRHQRW>
25. Фресс, П. (1978). Восприятие и оценка времени. В *Экспериментальная психология* (П. Фресс, Ж. Пиаже, ред.; вып. 6, с. 88–135). Москва: Прогресс.
26. Яницкий, М. С., Серый, А. В., & Балабашук, Р. О. (2019). Хронотопические характеристики образа мира студентов вуза. *Герценовские чтения: психологические исследования в образовании*, (2), 851–859. <https://doi.org/10.33910/herzenpsyconf-2019-2-106>. EDN: <https://elibrary.ru/SXVVLA>
27. Яницкий, М. С., Утюганов, А. А., Юматов, В. А., Фролова, Л. В., Иванов, М. С., & Мухина, А. Д. (2022). Временная перспектива личности в контексте проблемы психологического здоровья курсантов военного вуза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(2), 141–158. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-141-158>. EDN: <https://elibrary.ru/MQPLPG>
28. Яницкий, М. С., Утюганов, А. А., Иванов, М. С., & Фролова, Л. В. (2023). Характеристика взаимосвязи между переживанием времени и уровнем нервно-психического напряжения у курсантов военного вуза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(2), 243–264. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-243-264>. EDN: <https://elibrary.ru/DXFBKG>

29. Ivanov, M., Yanitskiy, M., Pelekh, Y., Rudiuk, O., & Tomanek, M. (2021). Fears concerning own future and personal safety strategies of student-athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 21, 2112–2119. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.p.3269>. EDN: <https://elibrary.ru/OJXMWT>
30. Zimbardo, P. G., & Boyd, J. N. (1999). Putting time in perspective: A valid, reliable individual differences metric. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(6), 1271–1288. EDN: <https://elibrary.ru/GXUJBZ>

References

1. Artemyeva, E. Yu. (1999). *Fundamentals of the psychology of subjective semantics*. Moscow: Smysl. 350 p.
2. Balabashchuk, R. O., Yanitsky, M. S., Seryi, A. V., Braun, O. A., Maslova, O. V., Miklyaeva, A. V., Tereshchenko, V. V., Filenko, I. A., Sanzhaeva, R. D., Dagbaeva, S. B., Neyaskina, Yu. Yu., & Kadyrov, R. V. (2020). Transformation of spatial-temporal and value-semantic components of the world image in the process of university education. *Bulletin of Kemerovo State University*, 22(3), 714–726. <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2020-22-3-714-726>. EDN: <https://elibrary.ru/NCOYOT>
3. Berezina, T. N. (2001). *Multidimensional psyche. The inner world of personality*. Moscow: PER SE. 320 p.
4. Wasserman, L. I., Trifonova, E. A., & Chervinskaya, K. R. (2009). *Semantic differential of time: expert psychodiagnostic system in medical psychology: a guide for physicians and medical psychologists*. Saint Petersburg: St. Petersburg Research Institute of Psychiatry named after V. M. Bekhterev. 44 p.
5. Golovakha, E. I., & Kronik, A. A. (2008). *Psychological time of personality*. Moscow: Smysl. 267 p. ISBN: 978-5-89357-248-3. EDN: <https://elibrary.ru/QXWMSX>
6. Goncharov, O. A., & Tyapovkin, Yu. N. (2008). Relationship between prospective constructs and constancy of size perception. *Psychological Journal*, (1), 55–66. EDN: <https://elibrary.ru/INMISZ>
7. Zeigarnik, B. V. (1981). *Kurt Lewin's theory of personality*. Moscow: Moscow University Press. 117 p.
8. Zinchenko, V. P. (2002). Man in the space of times. *Development of Personality*, (3), 23–50.
9. Kovalev, V. I. (1995). Features of personal organization of life time. In *Humanistic problems of psychological theory* (pp. 179–184). Moscow: Nauka.
10. Kostousov, A. G., Utyuganov, A. A., Yanitsky, M. S., & Ivanov, M. S. (2017). Perceptions of safety among cadets of a military university and value-semantic

- predictors of their formation. *Bulletin of Novosibirsk State Pedagogical University*, (5), 37–54. <https://doi.org/10.15293/2226-3365.1705.03>. EDN: <https://elibrary.ru/ZQXRSE>
11. Kuznetsov, A. V., & Utyuganov, A. A. (2018). Image of the professional future of cadets at the university of the National Guard Troops of the Russian Federation depending on the degree of involvement in sports activities. *Bulletin of Kemerovo State University*, (4), 144–156. <https://doi.org/10.21603/2078-8975-2018-4-144-156>. EDN: <https://elibrary.ru/YSDUCD>
 12. Leontiev, D. A. (2003). *Psychology of meaning: nature, structure and dynamics of semantic reality: textbook for university students* (2nd ed., revised). Moscow: Smysl. 486 p.
 13. Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M., Zemlin, A. I., & Kholikov, I. V. (2021). Conceptual aspects of conducting medical examinations when appealing military medical examination conclusions in court. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(6), 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>. EDN: <https://elibrary.ru/JYSZQR>
 14. Naumov, P. Yu., & Kholikov, I. V. (2023). Characteristics of the legal framework for conducting military medical examinations in the troops of the National Guard of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(1), 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>. EDN: <https://elibrary.ru/QIGLAF>
 15. Naumov, P. Yu., Shepel, R. N., & Kholikov, I. V. (2023). Primary medical care for military personnel: legal regulation and problematic aspects. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 22(S9), 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>. EDN: <https://elibrary.ru/DSOXXG>
 16. Naumov, P. Yu., Baranova, N. N., Kholikov, I. V., & Kuptsov, S. A. (2023). Comprehensive study of the legal framework and problematic issues of first aid provision to military personnel (by military personnel). *Disaster Medicine*, (3), 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>. EDN: <https://elibrary.ru/LQLOAC>
 17. Naumov, P. Yu., Kholikov, I. V., & Soldatov, S. K. (2024). Conceptualization of the term “military medical examination” in an interdisciplinary context. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(1), 422–445. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071>. EDN: <https://elibrary.ru/DOFVTM>
 18. Naumov, P. Yu., Kholikov, I. V., & Utyuganov, A. A. (2024). Legal issues of maintaining medical confidentiality during military medical (flight medical) examination. *Aerospace and Environmental Medicine*, 58(6), 108–116. <https://doi.org/10.21687/0233-528X-2024-58-6-108-116>. EDN: <https://elibrary.ru/HKATHU>

19. Naumov, P. Yu. (2025). Legal regulation of remote medical examination within the framework of military medical examination. *Law in the Armed Forces — Military Legal Review*, (1), 53–62. EDN: <https://elibrary.ru/FINOOK>
20. Nuttin, J. (2008). *Motivation, action and perspective of the future* (D. A. Leontiev, Ed.). Moscow: Smysl. 608 p.
21. Prokhorov, S. A., & Balanov, D. Yu. (2004). Study of the multidimensional world of a person in its spatial components. *Bulletin of Barnaul State Pedagogical University*, (4), 36–40.
22. Semenova, M. N. (2007). Mental representations of time and space. *Personality. Culture. Society*, 9(Special Issue 1), 362–370.
23. Smirnov, S. D. (1985). *Psychology of the image: the problem of activity in mental reflection*. Moscow: Moscow University Press. 232 p.
24. Smirnov, D. V., & Naumov, P. Yu. (2024). Organizational and legal foundations of managing professional psychological selection in the National Guard troops of Russia. *Psychology and Law*, 14(1), 214–234. <https://doi.org/10.17759/psylaw.2024140114>. EDN: <https://elibrary.ru/TRHQQRW>
25. Fraisse, P. (1978). Perception and assessment of time. In *Experimental psychology* (P. Fraisse, J. Piaget, Eds.; Vol. 6, pp. 88–135). Moscow: Progress.
26. Yanitskiy, M. S., Seryi, A. V., & Balabashchuk, R. O. (2019). Chronotopic characteristics of the world image of university students. *Herzen Readings: Psychological Research in Education*, (2), 851–859. <https://doi.org/10.33910/herzenpsyconf-2019-2-106>. EDN: <https://elibrary.ru/SXVVLA>
27. Yanitskiy, M. S., Utyuganov, A. A., Yumatov, V. A., Frolova, L. V., Ivanov, M. S., & Mukhina, A. D. (2022). Time perspective of personality in the context of psychological health issues among military university cadets. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(2), 141–158. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-141-158>. EDN: <https://elibrary.ru/MQPLPG>
28. Yanitskiy, M. S., Utyuganov, A. A., Ivanov, M. S., & Frolova, L. V. (2023). Characteristics of the relationship between time experience and the level of neuropsychic tension among military university cadets. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(2), 243–264. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-243-264>. EDN: <https://elibrary.ru/DXFBKG>
29. Ivanov, M., Yanitskiy, M., Pelek, Y., Rudiuk, O., & Tomanek, M. (2021). Fears concerning own future and personal safety strategies of student athletes. *Journal of Physical Education and Sport*, 21, 2112–2119. <https://doi.org/10.7752/jpes.2021.p.3269>. EDN: <https://elibrary.ru/OJXMWT>
30. Zimbardo, P. G., & Boyd, J. N. (1999). Putting time in perspective: A valid, reliable individual differences metric. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(6), 1271–1288. EDN: <https://elibrary.ru/GXUJBZ>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы внесли существенный вклад в подготовку работы, прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

Яницкий М.С.: автор идеи, разрабатывал основную гипотезу, участвовал в подготовке методического инструментария, составлении теоретического обзора.

Утюганов А.А.: осуществлял поиск литературных источников, участвовал в анализе полученных данных и синтезе выводов, сформулировал итоговую редакцию результатов исследования и выводов.

Иванов М.С.: участвовал в разработке идеи исследования, осуществлял анализ данных эмпирического исследования, участвовал в описании результатов и формулировании выводов.

Фролова Л.В.: осуществляла сбор данных эмпирического исследования, апробировала исследовательский инструментарий, разработала первичную редакцию результатов исследования и выводов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors made a significant contribution to the preparation of this work and reviewed and approved the final version of the article prior to publication.

Mikhail S. Yanitsky: conceived the idea, developed the main hypothesis, participated in the preparation of the methodological tools, and compiled the theoretical review.

Alexey A. Utyuganov: conducted a literature search, participated in the analysis of the data obtained and the synthesis of conclusions, and formulated the final version of the research results and conclusions.

Mihail S. Ivanov: participated in the development of the research idea, analyzed the empirical research data, and participated in the description of the results and the formulation of conclusions.

Larisa V. Frolova: collected the empirical research data, tested the research tools, and drafted the initial version of the research results and conclusions.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Яницкий Михаил Сергеевич, доктор психологических наук, профессор, директор социально-психологического института
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»

ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
direktorspi@kemsu.ru

Утюганов Алексей Анатольевич, доктор психологических наук, доцент, заместитель начальника военного института по научной работе
Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Летчика Пилютова, 1, г. Санкт-Петербург, 198206, Российская Федерация
outiogonov@mail.ru

Иванов Михаил Сергеевич, кандидат психологических наук, доцент кафедры психологических наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
ivanov.mikail@gmail.com

Фролова Лариса Валерьевна, доцент кафедры философских и социально-экономических дисциплин
Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Летчика Пилютова, 1, г. Санкт-Петербург, 198206, Российская Федерация
FrolovaLora1@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Mikhail S. Yanitsky, Doctor of Psychological Sciences, Professor Director of the Socio-Psychological Institute
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
direktorspi@kemsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3049-8594>
SPIN-code: 9068-7399
Scopus Author ID: 57195203226

Alexey A. Utyuganov, Doctor of Psychological Sciences, Associate Professor,
Deputy Head of the Military Institute for Scientific Work
*Military Order of Zhukov Academy of the National Guard Troops of the
Russian Federation*
1, Pilyutova Pilot Str., St. Petersburg, 198206 Russian Federation
outioganol@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-7174>

Mihail S. Ivanov, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor at
the Department of Psychology
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
ivanov.mikhail@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5444-0069>
SPIN-code: 3006-0121
Scopus Author ID: 57196449787

Larisa V. Frolova, Associate Professor of the Department of Philosophical and
Socio-Economic Disciplines
*Military Order of Zhukov Academy of the National Guard Troops of the
Russian Federation*
1, Pilyutova Pilot Str., St. Petersburg, 198206 Russian Federation
FrolovaLora1@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0814-5808>
SPIN-code: 4333-2221

Поступила 10.03.2025

После рецензирования 17.04.2025

Принята 25.04.2025

Received 10.03.2025

Revised 17.04.2025

Accepted 25.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1648

EDN: MHNHYD

УДК 614.253:159.99



Научный обзор

ДОВЕРИЕ ПАЦИЕНТА ВРАЧУ КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ: ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

*П.А. Кисляков, Е.А. Шмелева,
Т.В. Карасева, Д.А. Прияткин*

Аннотация

Обоснование. Социальная практика и нормативные документы актуализируют необходимость проведения междисциплинарных исследований медико-социально-психологических проблем эффективности лечения и оказания медицинской помощи населению на основе выявления трудностей взаимоотношений между врачом и пациентом. Повышение доверия пациентов за счёт улучшения уровня их удовлетворённости является одной из важнейших целей систем здравоохранения во всем мире. За рубежом разработаны и используются инструменты для измерения доверия в сфере здравоохранения. Некоторые из них измеряют доверие пациентов к врачам и медицинским работникам, другие – к медицинским организациям и системе здравоохранения в целом.

Цель – изучение и обобщение исследований и методик оценки доверия пациента к врачу как условия эффективности лечения.

Методы. Был проведен поиск статей в российских и международных базах данных (Semantic Scholar, PubMed, elibrary.ru) с использованием ключевых слов «доверие врачу» и «patient trust» за период с 2010 по 2025 годы.

Результаты. Проанализированы исследования по двум направлениям доверие пациента врачу и особенности взаимодействия (общения) врача с пациентом и доверие населения системе здравоохранения и медицинским учреждениям. В качестве основных характеристик доверия к врачу выделены характер общения и взаимоотношений пациента с врачом, эмпатия врача, личный опыт и готовность обратиться к врачу. Представлен авторский перевод на русский язык методики «Шкала доверия к врачу Уэйк Форест – Wake Forest Physician Trust Scale – WFPTS», широко используемой во всем мире.

Закключение. Опыт зарубежных исследований показал, что используемые методики оценки доверия пациента к врачу являются валидными и надежными, что указывает на возможность их применения на российских выборках после проведения соответствующих психометрических процедур. Основываясь на объективных данных комплексных медико-социально-психологических исследований, система здравоохранения и отдельные медицинские организации может ставить задачу построение гармоничных отношений между врачом и пациентом и повышение доверия пациентов.

Ключевые слова: доверие пациента; межличностное доверие врачу; доверие здравоохранению; методики исследования доверия; социально-психологические характеристики

Для цитирования. Кисляков, П. А., Шмелева, Е. А., Карасева, Т. В., & Прияткин, Д. А. (2025). Доверие пациента врачу как условие эффективности лечения: характеристики и методики исследования. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 497-520. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1648>

Scientific review

PATIENT'S TRUST IN THE DOCTOR AS A CONDITION FOR THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT: CHARACTERISTICS AND RESEARCH METHODS

*P.A. Kislyakov, E.A. Shmeleva,
T.V. Karaseva, D.A. Prijatkin*

Abstract

Background. Social practice and regulatory documents actualize the need for interdisciplinary research on medical, socio-psychological problems of the effectiveness of treatment and medical care for the population based on the identification of difficulties in the relationship between a doctor and a patient. Increasing patient confidence by improving patient satisfaction is one of the most important goals of healthcare systems worldwide. Tools have been developed and are being used abroad to measure trust in the healthcare sector. Some of them measure patients' trust in doctors and medical professionals, while others measure trust in medical organizations and the healthcare system as a whole.

Purpose – study and summarize studies and methods for assessing patient’s trust in a doctor as a condition for effective treatment.

Methods. Articles were searched in Russian and international databases (Semantic Scholar, PubMed, elibrary.ru) using the keywords “doctor’s trust” and “patient trust” for the period from 2010 to 2025.

Results. The research is analyzed in two areas: patient’s trust in the doctor and the specifics of interaction (communication) between the doctor and the patient, and public trust in the healthcare system and medical institutions. The main characteristics of trust in a doctor are the nature of communication and relationship between a patient and a doctor, empathy of a doctor, personal experience and willingness to consult a doctor. The author’s translation into Russian of the method “Wake Forest Physician Trust Scale – WFPTS”, widely used worldwide, is presented.

Conclusion. The experience of foreign studies has shown that the methods used to assess the patient’s trust in the doctor are valid and reliable, which indicates the possibility of their application in Russian samples after appropriate psychometric procedures. Based on objective data from comprehensive medical, socio-psychological research, the healthcare system and individual medical organizations can set the task of building a harmonious relationship between doctor and patient and increasing patient confidence.

Keywords: patient’s trust; interpersonal trust in a doctor; trust in healthcare; trust scale; socio-psychological characteristics

For citation. Kislyakov, P. A., Shmeleva, E. A., Karaseva, T. V., & Prijatkin, D. A. (2025). Patient’s trust in the doctor as a condition for the effectiveness of treatment: characteristics and research methods. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 497-520. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1648>

Введение

Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы) в числе приоритетных направлений в области профилактической медицины выделяет необходимость мониторинга состояния здоровья населения и потребности в медицинской помощи; в области психологии – исследование благополучия россиян и психического здоровья. Сохранение населения, укрепление здоровья и повышение благополучия людей определены национальными целями развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. Интеграция данных направлений актуализирует необходимость проведения междисциплинарных исследований медико-социально-психологических проблем эффективности лечения и оказания

медицинской помощи населению на основе выявления трудностей взаимоотношений между врачом и пациентом.

Многочисленные исследования показали, что благополучие и психологическая безопасность человека обеспечивается на основе доверия как на институциональном уровне, так и на уровне межличностного взаимодействия. Доверие представляет существенный аспект межличностного общения, межгруппового и организационного взаимодействия, а также функционирования общества в целом [1]. Феномен доверия имеет отношение к различным видам деятельности человека, пронизывает его систему социальной ориентации в обществе – через доверие к другим людям, к институтам, к государственным и иным структурам [6]. Доверие является тем основанием, на котором человек без тревоги и опасений вступает во взаимодействие с другими людьми [7]. Отсутствие доверия провоцирует тревогу и чувство неопределённости, которые в свою очередь обостряют кризисные ситуации. Данные закономерности установлены в различных социальных сферах: в образовательных организациях (личностно-доверительное общение между субъектами образования) [2], в трудовых коллективах (чувство доверия членам коллектива) [11; 15], в области медицины [23].

Проблема доверия как условия эффективности лечения и сохранения здоровья важна как на институциональном уровне – доверие населения системе здравоохранения, так и на уровне межличностного взаимодействия – доверие пациента врачу. При этом исследователи отмечают, что в российском обществе наблюдается кризис доверия «медицине» на обоих уровнях: на институциональном уровне – низкий уровень доверия россиян системе здравоохранения особенно остро был зафиксирован в период пандемии COVID-19; на уровне межличностного общения в российском обществе в целом наблюдается низкий уровень доверия Другим [7; 21].

По данным ВЦИОМ, средний балл доверия россиян врачам в 2022 году составил 3,28 из 5 возможных (2020 г. – 3,8 балла) [3]. При этом среди причин недоверия врачам чаще всего назывались плохое отношение (равнодушие, нежелание помочь, хамство) (22%) и непрофессионализм (29%) [9].

Авторы из разных стран отмечают, что в последние годы доверие пациентов к своему врачу снижается [30]. Например, в США в период пандемии COVID-19 установлен низкий уровень доверия населения к врачам и системе здравоохранения [20; 28]. В Китае 70% медицинских работников считают отношения между врачом и пациентом натянутыми, и только 26% медицинских работников считают, что их пациенты доверяют им [19]. В связи с чем растёт осознание необходимости изучения доверия эмпи-

рическим путем и растет объем работ, измеряющих различные аспекты доверия.

При этом в России практически отсутствуют исследования данной проблемы с использованием валидных и надежных методик. За рубежом разработаны и используются инструменты для измерения доверия в сфере здравоохранения. Некоторые из них измеряют доверие пациентов к врачам и медицинским работникам, другие – к медицинским организациям и системе здравоохранения в целом. В связи с этим интерес представляет опыт исследования доверия пациента врачу и его характеристик, а также методик его оценки на институциональном и межличностном уровнях.

Цель настоящего исследования состоит в обобщении исследований и методик оценки доверия пациента врачу как условия эффективности лечения.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели проведен поиск статей в российских и международных базах данных (Semantic Scholar, PubMed, elibrary.ru) за период с 2010 по 2025 годы по ключевым словам «доверие врачу» и «patient trust». Найденные публикации были проанализированы по предмету исследования: доверие пациента врачу, особенности взаимодействия (общения) врача с пациентом, доверие населения системе здравоохранения и медицинским учреждениям.

Результаты исследования и их обсуждение

На практике между врачами и пациентами существует информационная асимметрия, которая является причиной конфликта между врачами и пациентами. По сути, общение врача и пациента – это процесс межличностного взаимодействия, а также обмен эмоциями и информацией, отражающий концепцию лечения. Эффективное общение между врачом и пациентом способствует улучшению понимания пациентов и сотрудничества при принятии клинических решений, а также укреплению доверия между врачами и пациентами, выполняющего в том числе психотерапевтическую функцию.

Доверие пациентов означает их веру в то, что врач обладает необходимыми навыками для диагностики и лечения заболеваний, в дополнение к приоритизации интересов своих пациентов; в то, что врач окажет пациенту необходимую помощь и предоставит достоверную информацию о его состоянии здоровья [13; 17; 35; 38; 39]. Доверие врачу способствует более строгому соблюдению пациентами режима лечения, более полному рас-

крытию пациентами информации о себе и конфиденциальных сведений, непрерывности лечения и повышению самоэффективности [34]. В свою очередь недоверчивые пациенты подозревают своих врачей в корыстных мотивах, безразличии и могут даже действовать агрессивно во время их взаимодействия [29].

В настоящее время большинство зарубежных исследователей при изучении доверия пациента врачу используют методику «Шкала доверия к врачу Уэйк Форест – Wake Forest Physician Trust Scale – WFPTS». Опросник включен в национальный реестр квалифицированных клинических данных (QCDR) для врачей общей практики США (PRIME Registry). Данная шкала разработана профессором университета Уэйк Форест (США) Марком Холлом с коллегами в 2002 году [18]. Концептуально опросник направлен на оценку межличностного доверия пациента к известному врачу (или другому медицинскому работнику).

При разработке опросника авторы выделили пять пересекающихся областей:

- верность, которая заключается в заботе и отстаивании интересов пациента или благополучия и избегании конфликта интересов;
- компетентность, которая подразумевает наличие хорошей практики и навыков межличностного общения, принятие правильных решений и избежание ошибок;
- честность, которая заключается в том, чтобы говорить правду и избегать преднамеренной лжи;
- конфиденциальность, которая заключается в надлежащем использовании конфиденциальной информации;
- глобальное доверие, которое является нерушимой основой доверия, или аспекты, которые объединяют элементы из некоторых или всех отдельных измерений.

WFPTS показала хорошую кросс-культурную согласованность и валидность как в США, так и за рубежом. При валидации WFPTS было установлено, что она сильнее коррелирует с удовлетворённостью, желанием продолжать сотрудничество с врачом, готовностью рекомендовать его друзьям и отказом от мнения второго врача. Проведенный нами обзор источников, показал, что данная методика в настоящее время широко используется в Китае при исследовании социальных факторов, влияющих на эффективность лечения [24; 33; 38; 41]. Данная шкала применяется в разных возрастных группах и среди разных социальных групп. Первоначальный вариант WFPTS содержит две шкалы (доброжелательность –

доверие к порядочности врача и техническая компетентность – доверие пациента к техническому опыту врача и знаниям) и включает 10 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта. В таблице 1 представлены пункты опросника.

Таблица 1.

**Пункты опросника «Шкала доверия к врачу Уэйк Форест»
(Wake Forest Physician Trust Scale – WFPTS)**

Утверждения	Полностью не согласен	Не согласен	Трудно сказать	Согласен	Полностью согласен
1. Ваш врач сделает все возможное, чтобы оказать вам всю необходимую помощь.					
2. Иногда ваш врач больше заботится о том, что удобно для него, чем о ваших медицинских потребностях.					
3. Медицинские навыки вашего врача не так хороши, как следовало бы.					
4. Ваш врач очень скрупулезен и внимателен.					
5. Вы полностью доверяете решениям своего врача о том, какое лечение лучше всего подходит для вас.					
6. Ваш врач абсолютно честен, рассказывая вам обо всех различных вариантах лечения, доступных в зависимости от вашего состояния.					
7. Ваш врач думает только о том, что лучше для вас.					
8. Иногда ваш врач не обращает должного внимания на то, что вы пытаетесь ему сказать.					
9. Вы не беспокоитесь о том, что доверяете свою жизнь вашему врачу.					
10 В целом, вы полностью доверяете вашему врачу.					

Несмотря на тот факт, что на доверие пациентов влияет множество факторов, включая медицинскую ситуацию и индивидуальные особенности пациентов и врачей, коммуникация между врачом и пациентом во время диагностики и лечения является одним из наиболее важных факторов [14; 16]. Устанавливая эффективную коммуникацию, врач может лучше понять потребности пациента и обеспечить более эффективное лечение [25]. Доказано, что пациенты с большей вероятностью будут удовлетворены и будут проявлять больше доверия, когда они получают исчерпывающую информацию посредством общения со врачом [12]. Эффективная коммуникация между врачом и пациентом облегчает обмен медицинской информацией, помогает регулировать эмоции пациентов [24].

При изучении особенностей взаимодействия врачей с пациентами во взаимосвязи с доверием используются следующие методики:

- «Общение между врачом и пациентом – Doctor-patient communication Evaluation scale» (X. Liu и др., 2024) [24], включает три шкалы: содержание, сопереживание, результат. Опросник содержит 15 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта (например, «Насколько хорошо врач интерпретировал результаты анализов?», «Насколько хорошо врач осмотрел вас?»);
- «Опросник взаимоотношений пациент-врач – Patient-Doctor Relationship Questionnaire – PDRQ (C.M. Van der Feltz-Cornelis, 2004) [36], включающий три шкалы: удовлетворенность лечением, доступность врача, медицинские симптомы пациента. Опросник содержит 9 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта (например, «Я доверяю своему врачу», «Мой лечащий врач стремится помочь мне», «Мой лечащий врач и я согласны относительно характера моих медицинских симптомов», «У моего лечащего врача достаточно времени для меня»). Опросник показал высокую надёжность и валидность в разных странах [37];
- «Шкала согласованности между пациентом и врачом – Patient-physician Consistency Scale» (C.H. Zhu, 2019) [42]. Опросник включает 15 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта (например, «Как вы думаете, в какой степени врач понимает, причину вашего обращения к нему?», «В какой степени вы согласны с рекомендуемым лечением, назначенным врачом?»).

Ряд исследователей подчеркивают важность веры пациентов в доброжелательность врача и ощущение его эмпатии при построении доверительных и гармоничных отношений между врачами и пациентами [38].

Эмпатия врача представляет собой способность понимать точку зрения и чувства пациента, а также делиться этим пониманием и действовать в соответствии с ним во время межличностных взаимодействий [26]. Сочувствие врача полезно для построения хороших отношений между врачом и пациентом и поддержания терапевтических отношений, оказывает положительное влияние на результаты лечения. В более ранних исследованиях Е. Крупат с коллегами установлено следующее: пациенты сообщали, что формирование доверия врачу основано на эмпатическом поведении врачей во время их взаимодействия, таком как уделение внимания их чувствам и эмоциям, понимание их точки зрения, предоставление им непринужденности и оказание помощи, соответствующей их потребностям [22].

При изучении эмпатии врачей во взаимосвязи с доверием используют следующие методики:

- «Шкала консультирования и реляционной эмпатии – Consultation and Relational Empathy Scale – CARE» (S.W. Mercer и др., 2004) [26], измеряющая когнитивный, эмотивный и поведенческий компоненты эмпатии. Опросник включает 10 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта (например, «Доктор полностью понимает ваши проблемы», «Доктор интересовался вами, как личностью», «Доктор помогал вам контролировать ситуацию»). Шкала имеет широкую применимость в Великобритании, а также используется исследователями в Европе, США, Канаде, Китае и Японии;
- «Шкала эмпатии» (S.W. Mercer и др., 2002) [27], содержит 8 пунктов, оценивающих по 5-балльной шкале Ликерта восприятие пациентом эмпатии врача (например, «Я почувствовал, что могу доверять врачу во время сегодняшней консультации», «Врач был дружелюбен и тепло настроен по отношению ко мне», «Доктор с пониманием отнесся к тому, что беспокоит меня», «Врач не всегда понимает, что я чувствую»).

Доверие связано с удовлетворенностью пациента, но отличается от нее. В отличие от удовлетворенности, которая является оценкой предыдущего опыта, доверие характеризует отношения или совокупность личностных качеств и поведенческих черт, и оно в первую очередь ориентировано на будущее [18]. Исследование, проведенное Ч. Чжао с коллегами в Китае, показало, что доверие к врачу оказали непосредственное положительное влияние на готовность обратиться к нему в дальнейшем. При этом непосредственный опыт общения с врачом оказывает прямое положительное влияние на доверие ему [41].

При изучении опыта лечения во взаимосвязи с доверием к врачу используются следующие методики:

- «Опросник амбулаторного опыта» (Outpatient Experience Questionnaire – OPEQ, Z. Zhang, 2016) [40], содержит 24 пункта, оценивающих по 5-балльной шкале Ликерта пять категорий: физическая среда и удобство медицинской организации (чистота помещений, тишина, качество медицинского оборудования), общение врача и пациента (отношение медицинского персонала к пациенту, учет его потребностей и уважение к нему, обеспечение неприкосновенности частной жизни пациентов), медицинские услуги (объяснение пациенту и его семье состояния его здоровья или плана лечения, разъяснение последствий и рисков предстоящих обследований или лечения, объяснение результатов обследований, информирование о лекарствах и мерах предосторожности при их приеме), медицинские расходы, диагностика и лечение (помощь пациентам в уменьшении проблем со здоровьем, популярность больницы в регионе, уровень медицинских технологий и медицинского персонала). Опросник используется в настоящее время применительно к различным медицинским организациям.
- «Шкала готовности обратиться к врачу» (Z. Zhao и др., 2024) [41], в основе которой лежит методология оценки качества оказания услуг. Опросник позволяет оценивать по 5-балльной шкале Ликерта четыре критерия: отношение к развитию больницы, желание и возможность прийти в эту больницу снова при необходимости, рекомендация больницы своим друзьям.

Формирование доверия пациентов за счёт повышения их уровня удовлетворённости является одной из важнейших целей системы здравоохранения [31]. Институциональное доверие к медицине является результатом опыта взаимодействия пациентов с медицинскими организациями [34]. В данном контексте доверие означает, что пациент оптимистично относится к медицинской организации, которая делает всё возможное для него [18]. Для оценки доверия здравоохранению на институциональном уровне как правило используют статистические анкеты. Вместе с тем, встречаются и комплексные опросники.

Например, иранские исследователи [31], опираясь на мнения экспертов в областях медицины, психологии, управления здравоохранением, эпидемиологии, санитарного просвещения и общественного здравоохранения, разработали «Опросник доверия первичной медико-санитарной помощи».

Опросник включает 30 пунктов с использованием 5-балльной шкалы Ликерта, оценивающих степень доверия как отдельной медицинской организации, так и в целом системе здравоохранения (например, «Я уверен, что врачи серьезно относятся к состоянию пациента», «Я уверен, что пациенты могут с легкостью обратиться к врачам в своих медицинских учреждениях», «Я уверен, что врачи уделяют достаточно времени тому, чтобы выслушать вопросы и озабоченности своих пациентов», «Я уверен, что поведение врача является уважительным и удовлетворительным», «Я уверен, что медицинские услуги, которые предоставляются в медицинских центрах, не представляют особого риска и не причинят мне вреда», «Я уверен, что правительство осуществляет приемлемый контроль за качеством услуг, предоставляемых в медицинских учреждениях», «Я уверен, что врачи обладают достаточными знаниями и навыками для удовлетворения потребностей пациентов»).

Другим примером является мониторинг общественного доверия к здравоохранению, проведенный Нидерландским научно-исследовательским институтом здравоохранения [32]. В качестве критериев в данном мониторинге выступили: ориентация на пациента, качество медицинской помощи, коммуникация и предоставление информации, качество сотрудничества, доверие к профессиональному опыту врача, доверие к политике здравоохранения на макроуровне.

В заключении обзора приведем опыт изучения доверия пациента к врачу на постсоветском пространстве. В качестве примера можно привести следующие методики:

- «Методика оценки доверия/недоверия в системе взаимоотношений «врач – пациент» (варианты для врачей и пациентов)» (Л.Ф. Шестопалова, В.А. Кожевникова, О.А. Бородавко, 2011), разработана сотрудниками Института неврологии, психиатрии и наркологии НАМН Украины [10]. Критериями диагностики уровня доверия выступают степень выраженности основных его структурных компонентов, уровень открытости врача и пациента в ходе общения, а также субъективная оценка пациентов необходимости оказания им медицинской помощи. Критериями диагностики типов доверия являются его уровень, особенности структуры, характер репрезентации партнера по взаимодействию, распределение ответственности между ними за результат лечения.
- «Индекс доверия к врачам» (А.А. Гаврилик, 2022) [4], разработан сотрудниками главного управления здравоохранения Гродненского

областного исполнительного комитета (Беларусь). Индекс оценивает доверие пациента к врачу по критериям опыта, профессионализма, этики.

- «Методика оценки степени доверия пациента к врачу» (Е.В. Дмитриева, 2010) [5]. Методика позволяет оценить доверие по следующим критериям: информация (полнота получаемой друг от друга информации как со стороны врача, так и со стороны пациента), самораскрытие пациента (вовлечение врача во внутренний мир больного, готовность пациента к самораскрытию), социальные представления о враче (рекомендации других людей, имеющаяся репутация врача), отсутствие возможных санкций (действие врача в рамках определенных норм и обязательств), контроль (возможность субъектов доверия ограничивать поведение друг друга в соответствии с действующими правилами и стандартами), включение (готовность врача включить пациента в совместные действия и решение проблем по вопросам, связанным с состоянием здоровья больного). Данная российская методика представляет интерес, но не прошла широкой апробации.

Заключение

Повышение доверия пациентов за счёт улучшения уровня их удовлетворённости является одной из важнейших целей систем здравоохранения во всем мире. Проведенный анализ показал, что за рубежом накоплен большой опыт исследования и оценки доверия пациента врачу как условия эффективности лечения. Доверие в контексте здравоохранения можно определить как межличностное или институциональное (общественное). Личное доверие пациентов к медицинским работникам, таким как врачи, медсёстры и т.д. является результатом межличностных отношений, а институциональное доверие является результатом опыта взаимодействия пациентов с отдельной медицинской организацией или системой здравоохранения в целом. Особую актуальность исследование доверия медицине, как социально-психологического феномена, приобретает в период возникновения эпидемий, пандемий и проводимых, в связи с этим, профилактических мероприятий. Опыт зарубежных исследований показал, что используемые методики оценки доверия пациента к врачу являются валидными и надежными, что указывает на возможность их применения на российских выборках после проведения соответствующих психометрических процедур.

В дальнейшем, основываясь на объективных данных комплексных медико-социально-психологических исследований, система здравоохранения и отдельные медицинские организации могут ставить задачу построение гармоничных отношений между врачом и пациентом и повышение доверия пациентов. За рубежом имеется опыт реализации в медицинских университетах специальных курсов, направленных на развитие у будущих врачей навыков установления доверительных отношений с пациентом [8]. Также отдельного внимания заслуживает проблема сверхвысокого доверия населения врачам и частным медицинским организациям, оказывающим медицинские услуги без необходимых квалификации и лицензии соответственно, и причиняющих вред жизни и здоровью, обратившимся к ним пациентам.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00678, <https://rscf.ru/project/22-18-00678/>, ИВГУ.

Список литературы

1. Антоненко, И. В. (2013). Социально-психологическое содержание доверия. В *Доверие и недоверие в условиях развития гражданского общества* (А. Б. Купрейченко, И. В. Мерсиянова, ред.; с. 111–135). Москва: НИУ ВШЭ.
2. Баева, И. А. (2024). Психологическая безопасность образовательной среды: становление направления и перспективы развития. *Экстремальная психология и безопасность личности*, 1(3), 5–19. <https://doi.org/10.17759/erps.2024010301>. EDN: <https://elibrary.ru/JUXFAJ>
3. Врачи: доверие, престиж, доходность профессии (20.06.2022). ВЦИОМ. Получено из <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/vrachi-doverie-prestizh-dokhodnost-professii> (дата обращения: 10.02.2025)
4. Гаврилик, А. А. (2022). Система показателей и индексов доверия иностранных граждан к профессиональной деятельности белорусских врачей (на примере Гродненской области). *Вестник Витебского государственного медицинского университета*, (21), 63–69. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2022.2.63>. EDN: <https://elibrary.ru/WLGECC>
5. Дмитриева, Е. В. (2010). Доверие к врачу как условие установления социально-психологического отношения и общения между врачом и пациентом.

- Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина*, 5(3), 55–64. EDN: <https://elibrary.ru/RQOMEV>
6. Зеленев, И. А., & Прохода, В. А. (2020). Субъективное благополучие и доверие в контексте психологической безопасности в современной России и других европейских странах. *Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены*, (1), 340–367. <https://doi.org/10.14515/monitoring.2020.1.14>. EDN: <https://elibrary.ru/RLCRDZ>
 7. Зотова, О. Ю. (2012). Технологии коммуникативного взаимодействия для обеспечения безопасности и доверия. *Национальный психологический журнал*, (1), 88–94. EDN: <https://elibrary.ru/OPPFХH>
 8. Межидова, М. Р. (2024). Методы укрепления доверия между пациентом и врачом в медицинских образовательных учреждениях США. *Вестник Медицинского института*, (2), 74–80. <https://doi.org/10.36684/med-2024-26-2-74-80>. EDN: <https://elibrary.ru/ISWTDC>
 9. Расширенная подборка данных ВЦИОМ. Получено из https://profi.wciom.ru/fileadmin/file/nauka/podborka/rasshirennaya_podborka_dannyh_wciom_022021.pdf (дата обращения: 10.02.2025)
 10. Шестопалова, Л. Ф., & Бородавко, О. А. (2014). Доверие в системе отношений врача и пациента и психологические факторы его формирования. *Обзорение психиатрии и медицинской психологии имени В. М. Бехтерева*, (3), 42–47. EDN: <https://elibrary.ru/TBZSKV>
 11. Шмелёва, Е. А., Кисляков, П. А., Карасева, Т. В., Силаева, О. А., & Прияткин, Д. А. (2023). Благополучие в профессиональной сфере и жизнестойкость врачей и медицинского персонала. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(5), 413–438. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>. EDN: <https://elibrary.ru/YWMPBX>
 12. Belasen, A., & Belasen, A. T. (2018). Doctor-patient communication: a review and a rationale for using an assessment framework. *J Health Organ Manag*, 32(7), 891–907. <https://doi.org/10.1108/jhom-10-2017-0262>
 13. Chaohui, Z. (2019). *The impact of perceived information asymmetry on patient-physician trust: the revision of scale and its application research* (Doctoral dissertation). Guangzhou: Southern Medical University.
 14. Du, L., Xu, J., Chen, X., Zhu, X., Zhang, Y., Wu, R., Ji, H., & Zhou, L. (2020). Rebuild doctor-patient trust in medical service delivery in China. *Sci Rep*, 10(1), art. 21956. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78921-y>. EDN: <https://elibrary.ru/CDXRСG>
 15. Edmondson, A. (2004). Psychological safety, trust and learning: a group-level lens. В *Trust and distrust in organizations: dilemmas and approaches*

- (R. M. Kramer, K. S. Cook, ред.; с. 239–272). New York: Russell Sage Foundation.
16. Fan, Q., Ong, A. S. E., Koh, M. S., & Doshi, K. (2021). The mediating role of trust in physician and self-efficacy in understanding medication adherence in severe asthma. *Respir Med*, 190, art. 106673. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106673>. EDN: <https://elibrary.ru/AWKPSL>
 17. Gu, L., Wang, X., & Tian, D. (2024). The association of family doctor contract service and patient trust in doctor: evidence from twenty-five village clinics of three counties in rural China. *BMC Prim Care*, 25, art. 58. <https://doi.org/10.1186/s12875-024-02298-4>. EDN: <https://elibrary.ru/DFFIQK>
 18. Hall, M. A., Zheng, B., Dugan, E., Camacho, F., Kidd, K. E., Mishra, A., & Balkrishnan, R. (2002). Measuring patients' trust in their primary care providers. *Med Care Res Rev*, 59(3), 293–318. <https://doi.org/10.1177/1077558702059003004>. EDN: <https://elibrary.ru/GNCVZR>
 19. Horton, R. (2016). Offline: a barometer for trust in China. *Lancet*, 388(10057), art. 2222. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32110-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32110-9)
 20. Khullar, D., Darien, G., & Ness, D. L. (2020). Patient consumerism, healing relationships, and rebuilding trust in health care. *JAMA*, 324(23), 2359–2360. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12938>. EDN: <https://elibrary.ru/AHVHXX>
 21. Kislyakov, P. A., & Shmeleva, E. A. (2021). Prosocial orientation of Russians during the COVID-19 pandemic: caring for others and yourself. *Frontiers in Psychology*, 12, art. 629467. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.629467>. EDN: <https://elibrary.ru/ADREGL>
 22. Krupat, E., Bell, R. A., Kravitz, R. L., Thom, D., & Azari, R. (2001). When physicians and patients think alike: patient-centered beliefs and their impact on satisfaction and trust. *J Fam Pract*, 50(12), 1057–1062.
 23. Lerch, S. P., Hänggi, R., Bussmann, Y., & Lörwald, A. (2024). A model of contributors to a trusting patient-physician relationship: a critical review using a systematic search strategy. *BMC Prim Care*, 25(1), art. 194. <https://doi.org/10.1186/s12875-024-02435-z>. EDN: <https://elibrary.ru/TZWAFI>
 24. Liu, X., Zeng, J., Li, L., Wang, Q., Chen, J., & Ding, L. (2024). The influence of doctor-patient communication on patients' trust: the role of patient-physician consistency and perceived threat of disease. *Psychol Res Behav Manag*, 17, 2727–2737. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S460689>. EDN: <https://elibrary.ru/ITQOYT>
 25. Matsuoka, K., Ishikawa, H., Nakayama, T., Honzawa, Y., Maemoto, A., Hirai, F., Ueno, F., Sato, N., Susuta, Y., & Hibi, T. (2021). Physician-patient communication affects patient satisfaction in treatment decision-making: a structural

- equation modelling analysis of a web-based survey in patients with ulcerative colitis. *J Gastroenterol*, 56(9), 843–855. <https://doi.org/10.1007/s00535-021-01811-1>. EDN: <https://elibrary.ru/BAZCLO>
26. Mercer, S. W., Maxwell, M., Heaney, D., & Watt, G. C. (2004). The consultation and relational empathy (CARE) measure: development and preliminary validation and reliability of an empathy-based consultation process measure. *Fam Pract*, 21(6), 699–705. <https://doi.org/10.1093/fampra/cmh621>. EDN: <https://elibrary.ru/IOHDVV>
27. Mercer, S. W., Reilly, D., & Watt, G. C. (2002). The importance of empathy in the enablement of patients attending the Glasgow Homoeopathic Hospital. *Br J Gen Pract*, 52(484), 901–905.
28. Montgomery, T., Berns, J. S., & Braddock, C. H. (2020). Transparency as a trust-building practice in physician relationships with patients. *JAMA*, 324(23), 2365–2366. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.18368>. EDN: <https://elibrary.ru/ZBJXHW>
29. Nie, J. B., Cheng, Y., Zou, X., Gong, N., Tucker, J. D., Wong, B., & Kleinman, A. (2018). The vicious circle of patient-physician mistrust in China: health professionals' perspectives, institutional conflict of interest, and building trust through medical professionalism. *Dev World Bioeth*, 18(1), 26–36. <https://doi.org/10.1111/dewb.12170>
30. Qiao, T., Fan, Y., Geater, A. F., Chongsuvivatwong, V., & McNeil, E. B. (2019). Factors associated with the doctor-patient relationship: doctor and patient perspectives in hospital outpatient clinics of Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Patient Prefer Adherence*, 13, 1125–1143. <https://doi.org/10.2147/PPA.S189345>
31. Sadeghi-Bazargani, H., Farahbakhsh, M., Tabrizi, J. S., Zare, Z., & Saadati, M. (2019). Psychometric properties of primary health care trust questionnaire. *BMC Health Serv Res*, 19(1), art. 502. <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4340-6>. EDN: <https://elibrary.ru/FVCNQL>
32. Schee, E. van der, Groenewegen, P. P., & Friele, R. D. (2006). Public trust in health care: a performance indicator? *J Health Organ Manag*, 20(5), 468–476. <https://doi.org/10.1108/14777260610701821>
33. Shi, Y., Chong, M. S., Wang, W., Li, X., Zhang, W., Lin, B., Zhang, Z., Mei, Y. (2025). Chain mediating effect of social support and trust in physician on stroke caregivers' decision self-efficacy and decision conflict. *Nurs Health Sci*, 27(1), art. 70040. <https://doi.org/10.1111/nhs.70040>. EDN: <https://elibrary.ru/BUJWQT>
34. Tabrizi, J. S., Saadati, M., Sadeghi-Bazargani, H., Abedi, L., & Alibabaye, R. (2017). Iranian public trust in health services: evidence from Tabriz, Is-

- lamic Republic of Iran. *East Mediterr Health J*, 22(10), 713–718. <https://doi.org/10.26719/2016.22.10.713>
35. Tang, X., Lu, J., Chen, Z., Liu, C., Jiang, X., & Ning, M. (2022). Influencing factors of patients' trust in nurses during the COVID-19 pandemic: a mixed-methods study. *Disaster Med Public Health Prep*, 17(3), art. 302. <https://doi.org/10.1017/dmp.2022.262>. EDN: <https://elibrary.ru/YBIDRD>
36. Van der Feltz-Cornelis, C. M., Van Oppen, P., Van Marwijk, H. W., De Beurs, E., & Van Dyck, R. (2004). A patient-doctor relationship questionnaire (PDRQ-9) in primary care: development and psychometric evaluation. *Gen Hosp Psychiatry*, 26(2), 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsy.2003.08.010>
37. Wang, Y., Wu, A., Jiang, Y., Duan, Y., Geng, W., Wan, L., Li, J., Du, J., Hu, J., Jiang, J., Shi, L., & Wei, J. (2023). The Chinese version of patient-doctor-relationship questionnaire (PDRQ-9): factor structure, validation, and IRT psychometric analysis. *Front Psychiatry*, (14), art. 1117174. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1117174>. EDN: <https://elibrary.ru/KYIQAT>
38. Wu, Q., Jin, Z., & Wang, P. (2022). The relationship between the physician-patient relationship, physician empathy, and patient trust. *J Gen Intern Med*, 37(6), 1388–1393. <https://doi.org/10.1007/s11606-021-07008-9>. EDN: <https://elibrary.ru/MNSLAR>
39. Yang, T., & Wu, Y. (2018). A study on the influence of patient participation on patient trust: based on sample survey in China. *Front Psychol*, (9), art. 2189. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02189>
40. Zhang, Z., Wang, G., & Hu, Y. (2016). Development of the scale for outpatients' experience of comprehensive public hospital. *Chin Hosp Manage*, 36(2), 43–45.
41. Zhao, Z., Zhang, Z., Yang, C., Li, Q., Chen, Z., & Yin, W. (2024). The influence of patient experience and patient trust on willingness to see a doctor based on SOR theory. *BMC Health Serv Res*, 24(1), art. 1278. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11775-6>. EDN: <https://elibrary.ru/OPPYPH>
42. Zhu, C. H. (2019). *The effect of patients' perceived information asymmetry on doctor-patient trust: a revision of the scale and its application* (Doctoral dissertation). Guangzhou: Southern Medical University.

References

1. Antonenko, I. V. (2013). Socio-psychological content of trust. In *Trust and distrust in the development of civil society* (A. B. Kupreichenko, I. V. Mersiyanova, Eds.; pp. 111–135). Moscow: HSE University.
2. Baeva, I. A. (2024). Psychological safety of the educational environment: formation of the direction and development prospects. *Extreme Psychology and*

- Personal Safety*, 1(3), 5–19. <https://doi.org/10.17759/epps.2024010301>. EDN: <https://elibrary.ru/JUXFAJ>
3. Doctors: trust, prestige, profitability of the profession (20.06.2022). *VCIOM*. Retrieved from: <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/vrachi-doverie-prestizh-dokhodnost-professii> (accessed: 10.02.2025)
 4. Gavrilik, A. A. (2022). System of indicators and indices of trust of foreign citizens in the professional activities of Belarusian doctors (on the example of the Grodno region). *Bulletin of Vitebsk State Medical University*, (21), 63–69. <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2022.2.63>. EDN: <https://elibrary.ru/WL-GECC>
 5. Dmitrieva, E. V. (2010). Trust in a doctor as a condition for establishing socio-psychological relations and communication between doctor and patient. *Bulletin of Leningrad State University named after A. S. Pushkin*, 5(3), 55–64. EDN: <https://elibrary.ru/RQOMEV>
 6. Zelenev, I. A., & Prokhoda, V. A. (2020). Subjective well-being and trust in the context of psychological safety in modern Russia and other European countries. *Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes*, (1), 340–367. <https://doi.org/10.14515/monitoring.2020.1.14>. EDN: <https://elibrary.ru/RL-CRDZ>
 7. Zotova, O. Yu. (2012). Technologies of communicative interaction for ensuring safety and trust. *National Psychological Journal*, (1), 88–94. EDN: <https://elibrary.ru/OPPFXH>
 8. Mezhidova, M. R. (2024). Methods of strengthening trust between patient and doctor in medical educational institutions in the USA. *Bulletin of the Medical Institute*, (2), 74–80. <https://doi.org/10.36684/med-2024-26-2-74-80>. EDN: <https://elibrary.ru/ISWTDC>
 9. Extended data set from VCIOM. Retrieved from: https://profi.wciom.ru/fileadmin/file/nauka/podborka/rasshirennaya_podborka_dannyh_wciom_022021.pdf (accessed: 10.02.2025)
 10. Shestopalova, L. F., & Borodavko, O. A. (2014). Trust in the system of doctor-patient relations and psychological factors of its formation. *Review of Psychiatry and Medical Psychology named after V. M. Bekhterev*, (3), 42–47. EDN: <https://elibrary.ru/TBZSKV>
 11. Shmeleva, E. A., Kislyakov, P. A., Karaseva, T. V., Silaeva, O. A., & Priyatin, D. A. (2023). Well-being in the professional sphere and resilience of doctors and medical staff. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 15(5), 413–438. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>. EDN: <https://elibrary.ru/YWMPBX>

12. Belasen, A., & Belasen, A. T. (2018). Doctor-patient communication: a review and a rationale for using an assessment framework. *J Health Organ Manag*, 32(7), 891–907. <https://doi.org/10.1108/jhom-10-2017-0262>
13. Chaohui, Z. (2019). *The impact of perceived information asymmetry on patient-physician trust: the revision of scale and its application research* (Doctoral dissertation). Guangzhou: Southern Medical University.
14. Du, L., Xu, J., Chen, X., Zhu, X., Zhang, Y., Wu, R., Ji, H., & Zhou, L. (2020). Rebuild doctor-patient trust in medical service delivery in China. *Sci Rep*, 10(1), art. 21956. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78921-y>. EDN: <https://elibrary.ru/CDXRCG>
15. Edmondson, A. (2004). Psychological safety, trust and learning: a group-level lens. B *Trust and distrust in organizations: dilemmas and approaches* (R. M. Kramer, K. S. Cook, ред.; с. 239–272). New York: Russell Sage Foundation.
16. Fan, Q., Ong, A. S. E., Koh, M. S., & Doshi, K. (2021). The mediating role of trust in physician and self-efficacy in understanding medication adherence in severe asthma. *Respir Med*, 190, art. 106673. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2021.106673>. EDN: <https://elibrary.ru/AWKPSL>
17. Gu, L., Wang, X., & Tian, D. (2024). The association of family doctor contract service and patient trust in doctor: evidence from twenty-five village clinics of three counties in rural China. *BMC Prim Care*, 25, art. 58. <https://doi.org/10.1186/s12875-024-02298-4>. EDN: <https://elibrary.ru/DFFIQK>
18. Hall, M. A., Zheng, B., Dugan, E., Camacho, F., Kidd, K. E., Mishra, A., & Balkrishnan, R. (2002). Measuring patients' trust in their primary care providers. *Med Care Res Rev*, 59(3), 293–318. <https://doi.org/10.1177/1077558702059003004>. EDN: <https://elibrary.ru/GNCVZR>
19. Horton, R. (2016). Offline: a barometer for trust in China. *Lancet*, 388(10057), art. 2222. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32110-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32110-9)
20. Khullar, D., Darien, G., & Ness, D. L. (2020). Patient consumerism, healing relationships, and rebuilding trust in health care. *JAMA*, 324(23), 2359–2360. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.12938>. EDN: <https://elibrary.ru/AHVHXX>
21. Kislyakov, P. A., & Shmeleva, E. A. (2021). Prosocial orientation of Russians during the COVID-19 pandemic: caring for others and yourself. *Frontiers in Psychology*, 12, art. 629467. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.629467>. EDN: <https://elibrary.ru/ADREGL>
22. Krupat, E., Bell, R. A., Kravitz, R. L., Thom, D., & Azari, R. (2001). When physicians and patients think alike: patient-centered beliefs and their impact on satisfaction and trust. *J Fam Pract*, 50(12), 1057–1062.

23. Lerch, S. P., Hänggi, R., Bussmann, Y., & Lörwald, A. (2024). A model of contributors to a trusting patient-physician relationship: a critical review using a systematic search strategy. *BMC Prim Care*, 25(1), art. 194. <https://doi.org/10.1186/s12875-024-02435-z>. EDN: <https://elibrary.ru/TZWAFI>
24. Liu, X., Zeng, J., Li, L., Wang, Q., Chen, J., & Ding, L. (2024). The influence of doctor-patient communication on patients' trust: the role of patient-physician consistency and perceived threat of disease. *Psychol Res Behav Manag*, 17, 2727–2737. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S460689>. EDN: <https://elibrary.ru/ITQOYT>
25. Matsuoka, K., Ishikawa, H., Nakayama, T., Honzawa, Y., Maemoto, A., Hirai, F., Ueno, F., Sato, N., Susuta, Y., & Hibi, T. (2021). Physician-patient communication affects patient satisfaction in treatment decision-making: a structural equation modelling analysis of a web-based survey in patients with ulcerative colitis. *J Gastroenterol*, 56(9), 843–855. <https://doi.org/10.1007/s00535-021-01811-1>. EDN: <https://elibrary.ru/BAZCLO>
26. Mercer, S. W., Maxwell, M., Heaney, D., & Watt, G. C. (2004). The consultation and relational empathy (CARE) measure: development and preliminary validation and reliability of an empathy-based consultation process measure. *Fam Pract*, 21(6), 699–705. <https://doi.org/10.1093/fampra/cmh621>. EDN: <https://elibrary.ru/IOHDVV>
27. Mercer, S. W., Reilly, D., & Watt, G. C. (2002). The importance of empathy in the enablement of patients attending the Glasgow Homoeopathic Hospital. *Br J Gen Pract*, 52(484), 901–905.
28. Montgomery, T., Berns, J. S., & Braddock, C. H. (2020). Transparency as a trust-building practice in physician relationships with patients. *JAMA*, 324(23), 2365–2366. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.18368>. EDN: <https://elibrary.ru/ZBJXHW>
29. Nie, J. B., Cheng, Y., Zou, X., Gong, N., Tucker, J. D., Wong, B., & Kleinman, A. (2018). The vicious circle of patient-physician mistrust in China: health professionals' perspectives, institutional conflict of interest, and building trust through medical professionalism. *Dev World Bioeth*, 18(1), 26–36. <https://doi.org/10.1111/dewb.12170>
30. Qiao, T., Fan, Y., Geater, A. F., Chongsuvivatwong, V., & McNeil, E. B. (2019). Factors associated with the doctor-patient relationship: doctor and patient perspectives in hospital outpatient clinics of Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Patient Prefer Adherence*, 13, 1125–1143. <https://doi.org/10.2147/PPA.S189345>
31. Sadeghi-Bazargani, H., Farahbakhsh, M., Tabrizi, J. S., Zare, Z., & Saadati, M. (2019). Psychometric properties of primary health care trust questionnaire. *BMC*

- Health Serv Res*, 19(1), art. 502. <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4340-6>. EDN: <https://elibrary.ru/FVCNQL>
32. Schee, E. van der, Groenewegen, P. P., & Friele, R. D. (2006). Public trust in health care: a performance indicator? *J Health Organ Manag*, 20(5), 468–476. <https://doi.org/10.1108/14777260610701821>
33. Shi, Y., Chong, M. S., Wang, W., Li, X., Zhang, W., Lin, B., Zhang, Z., Mei, Y. (2025). Chain mediating effect of social support and trust in physician on stroke caregivers' decision self-efficacy and decision conflict. *Nurs Health Sci*, 27(1), art. 70040. <https://doi.org/10.1111/nhs.70040>. EDN: <https://elibrary.ru/BUJWQT>
34. Tabrizi, J. S., Saadati, M., Sadeghi-Bazargani, H., Abedi, L., & Alibabaye, R. (2017). Iranian public trust in health services: evidence from Tabriz, Islamic Republic of Iran. *East Mediterr Health J*, 22(10), 713–718. <https://doi.org/10.26719/2016.22.10.713>
35. Tang, X., Lu, J., Chen, Z., Liu, C., Jiang, X., & Ning, M. (2022). Influencing factors of patients' trust in nurses during the COVID-19 pandemic: a mixed-methods study. *Disaster Med Public Health Prep*, 17(3), art. 302. <https://doi.org/10.1017/dmp.2022.262>. EDN: <https://elibrary.ru/YBIDRD>
36. Van der Feltz-Cornelis, C. M., Van Oppen, P., Van Marwijk, H. W., De Beurs, E., & Van Dyck, R. (2004). A patient-doctor relationship questionnaire (PDRQ-9) in primary care: development and psychometric evaluation. *Gen Hosp Psychiatry*, 26(2), 115–120. <https://doi.org/10.1016/j.genhosppsych.2003.08.010>
37. Wang, Y., Wu, A., Jiang, Y., Duan, Y., Geng, W., Wan, L., Li, J., Du, J., Hu, J., Jiang, J., Shi, L., & Wei, J. (2023). The Chinese version of patient-doctor-relationship questionnaire (PDRQ-9): factor structure, validation, and IRT psychometric analysis. *Front Psychiatry*, (14), art. 1117174. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1117174>. EDN: <https://elibrary.ru/KYIQAT>
38. Wu, Q., Jin, Z., & Wang, P. (2022). The relationship between the physician-patient relationship, physician empathy, and patient trust. *J Gen Intern Med*, 37(6), 1388–1393. <https://doi.org/10.1007/s11606-021-07008-9>. EDN: <https://elibrary.ru/MNSLAR>
39. Yang, T., & Wu, Y. (2018). A study on the influence of patient participation on patient trust: based on sample survey in China. *Front Psychol*, (9), art. 2189. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02189>
40. Zhang, Z., Wang, G., & Hu, Y. (2016). Development of the scale for outpatients' experience of comprehensive public hospital. *Chin Hosp Manage*, 36(2), 43–45.
41. Zhao, Z., Zhang, Z., Yang, C., Li, Q., Chen, Z., & Yin, W. (2024). The influence of patient experience and patient trust on willingness to see a doctor based on

- SOR theory. *BMC Health Serv Res*, 24(1), art. 1278. <https://doi.org/10.1186/s12913-024-11775-6>. EDN: <https://elibrary.ru/OPPYPH>
42. Zhu, C. H. (2019). *The effect of patients' perceived information asymmetry on doctor-patient trust: a revision of the scale and its application* (Doctoral dissertation). Guangzhou: Southern Medical University.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кисляков Павел Александрович, доктор психологических наук, доцент, профессор кафедры психологии, конфликтологии и бихевиористики; профессор кафедры русистики, этноориентированной педагогики и цифровой дидактики, главный научный сотрудник *Российский государственный социальный университет; Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы; ФКУ НИИ ФСИН России*

ул. В. Пика, 4, стр. 1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация; ул. Житная, 14, г. Москва, 119991, Российская Федерация
pack.81@mail.ru

Шмелева Елена Александровна, доктор психологических наук, профессор, профессор кафедры психологии и социальной педагогики; профессор кафедры русистики, этноориентированной педагогики и цифровой дидактики; профессор кафедры иностранных языков и профессиональных коммуникаций

Ивановский государственный университет; Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы; Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
ул. Кооперативная, 24, г. Шуя, 155508, Российская Федерация; ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация; просп. Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
pos_shmeleva@mail.ru

Карасева Татьяна Вячеславовна, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры физической культуры и безопасности жизнедеятельности

Ивановский государственный университет
ул. Ермака, 39, г. Иваново, 153025, Российская Федерация
aktmecentr@mail.ru

Прияткин Данила Андреевич, врач-ординатор; врач-стажер кардиологического отделения

Ивановская государственная медицинская академия; Областное бюджетное учреждение здравоохранения «Ивановская областная клиническая больница»

*Шереметевский просп., 8, г. Иваново, 153012, Российская Федерация; ул. Любимова, 1, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
danilapritkin@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Kislyakov, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology, Conflictology and Behavioral Sciences; Professor of the Department of Russian Studies, Ethnic-Oriented Pedagogy, and Digital Didactics at the Institute of the Russian Language; Chief Scientific Officer

*Russian State Social University; Peoples' Friendship University of Russia; FKU Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia
4, p.1, V.Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation; 14, Zhitnaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation*

pack.81@mail.ru

SPIN-code: 1375-5625

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1238-9183>

ResearcherID: E-4701-2016

Scopus Author ID: 56348736600

Elena A. Shmeleva, Dr. Sci. (Psychology), Professor; Professor of the Department of Psychology and Social Pedagogy; Professor of the Department of Russian Studies, Ethnic-Oriented Pedagogy, and Digital Didactics at the Institute of the Russian Language; Professor of the Department of Foreign Languages and Professional Communications

Ivanovo State University; Peoples' Friendship University of Russia; Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

24, Kooperativnaya Str., Shuya, 155508, Russian Federation; 6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation; 33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation

noc_shmeleva@mail.ru

SPIN-code: 3992-6436

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4698-5226>

ResearcherID: H-7821-2016

Scopus Author ID: 56375922700

Tatiana V. Karaseva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Culture and Life Safety

Ivanovo State University

39, Ermak Str., Ivanovo, 153025, Russian Federation

akmecentr@mail.ru

SPIN-code: 6817-9156,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0708-7423>

Scopus Author ID: 7003527902

Danila A. Prijatkin, Resident Doctor; Cardiology Trainee

Ivanovo State Medical Academy; Regional Budgetary Health Care Institution 'Ivanovo Regional Clinical Hospital'

8, Sheremetyevo Ave., Ivanovo, 153012, Russian Federation; 1, Lyubimova Str., Ivanovo, 153040, Russian Federation

danilapritkin@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3084-6384>

Поступила 10.02.2025

После рецензирования 07.03.2025

Принята 15.03.2025

Received 10.02.2025

Revised 07.03.2025

Accepted 15.03.2025

ОПЫТ РЕГИОНОВ

EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1649

EDN: MQHNBY

УДК 619:616.24-002.15



Научная статья

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ БРОНХОПНЕВМОНИИ ПОРОСЯТ В НЕКОТОРЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

*Э.А. Никогосян, А.В. Варданян, Л.Г. Григорян, В.В. Григорян,
С.В. Ерибекян, В.В. Абраамян, Ж.С. Мелконян*

Аннотация

Обоснование. В последнее время в некоторых регионах Республики Армения наблюдается рост заболеваемости поросят неспецифической бронхопневмонией, которая сопровождается нарушением их роста и развития, ухудшением общего состояния, значительным изменением клинических, гематологических и биохимических показателей крови.

Цель. Цель исследования заключалась в выявлении влияния климатических условий на заболеваемость поросят бронхопневмонией в различных по климатическим условиям регионах Республики Армения.

Материал и методы. Были исследованы поросята в возрасте от одного до пяти месяцев в свиноводческих хозяйствах Ширакской, Лорийской, Гехаркуникской, Сюникской, Араратской и Армавирской областей Республики Армения. Выявление бронхопневмонии проводилось клиническим обследованием животных, исследованием гематологических и биохимических показателей крови.

Результаты. Наибольшая заболеваемость поросят бронхопневмонией наблюдалась в Ширакской, Лорийской и Гехаркуникской областях Республики Армения, где климатические условия являются наиболее суровыми.

Заключение. Высокая заболеваемость поросят бронхопневмонией в вышеуказанных областях связана как с их географическим расположением и климатическими условиями, так и с нарушениями норм содержания и кормления животных.

Ключевые слова: поросяток; бронхопневмония; заболеваемость; гематологические показатели; область

Для цитирования. Никогосян, Э. А., Варданыан, А. В., Григорян, Л. Г., Григорян, В. В., Ерибемян, С. В., Абрамян, В. В., & Мелконян, Ж. С. (2025). Влияние климатических факторов на распространение неспецифической бронхопневмонии поросят в некоторых регионах Республики Армения. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 521-539. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1649>

Original article

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE SPREAD OF NON-SPECIFIC BRONCHOPNEUMONIA OF PIGLETS IN SOME REGIONS OF THE REPUBLIC OF ARMENIA

*E.A. Nikogosyan, A.V. Vardanyan, L.G. Grigoryan, V.V. Grigoryan,
S.V. Yeribekyan, V.V. Abrahamyan, Zh.S. Melkonyan*

Abstract

Background. Recently, in some regions of the Republic of Armenia, there has been an increase in the incidence of non-specific bronchopneumonia in piglets, which is accompanied by impaired growth and development, deterioration of the general condition, and significant changes in clinical, hematological and biochemical blood parameters.

Purpose. The objective of the study was to identify the influence of climatic conditions on the incidence of bronchopneumonia in piglets in regions of the Republic of Armenia with different climatic conditions.

Material and methods. Piglets aged from one to five months were examined in pig farms of Shirak, Lori, Gegharkunik, Syunik, Ararat and Armavir regions of the Republic of Armenia. Bronchopneumonia was detected by clinical examination of animals, and by studying hematological and biochemical blood parameters.

Results. The highest incidence of bronchopneumonia in piglets was observed in the Shirak, Lori and Gegharkunik regions of the Republic of Armenia, where climatic conditions are the most severe.

Conclusion. The high incidence of bronchopneumonia in piglets in the above-mentioned regions is associated with both their geographical location and climatic conditions, as well as with violations of animal husbandry and feeding standards.

Keywords: piglet; bronchopneumonia; morbidity; hematological parameters; region

For citation. Nikogosyan, E. A., Vardanyan, A. V., Grigoryan, L. G., Grigoryan, V. V., Yeribekyan, S. V., Abrahamyan, V. V., & Melkonyan, Zh. S. (2025). Influence of climatic factors on the spread of non-specific bronchopneumonia of piglets in some regions of the Republic of Armenia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 521-539. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1649>

Введение

В последние годы заболевания органов дыхательной системы молодняка свиней, в особенности бронхопневмония, получила широкое распространение в свиноводческих хозяйствах Республики Армения. На долю бронхопневмонии приходится 40-60 % от общей заболеваемости молодняка незаразными болезнями.

Бронхопневмония – воспаление слизистых оболочек бронхов и отдельных долек легких. Бронхопневмонией чаще всего болевают молодые животные, а именно поросята в возрасте от одного до пяти месяцев. Бронхопневмонию вызывают нарушения содержания животных – содержание в неотапливаемых свинарниках, наличие в свинарниках сквозняков, купание животных в холодной воде, длительное нахождение под дождем или на холодном воздухе, резкие перепады температур, вследствие чего животные простуживаются. При отсутствии вентиляции, животные вдыхают пары раздражающих веществ, что так же может вызвать бронхопневмонию.

Возникновению бронхопневмонии способствуют так же скученность животных, высокая влажность воздуха, дефицитное кормление, стресс, загрязнение воздуха патогенной микрофлорой, наличие у животных бактериальных, вирусных и смешанных инфекций [1; 2; 4; 6; 8; 12; 14; 16; 20; 23; 25; 26; 28; 29].

Бронхопневмония наносит огромный экономический ущерб свиноводческим хозяйствам Республики вследствие значительного падежа поголовья поросят, потери продуктивности переболевших животных, затрат на проведение лечебно-профилактических мероприятий, выбраковки боль-

ных животных, снижения привесов из-за развития хронической гипоксии, выбраковки внутренних органов при послеубойной ветеринарно-санитарной экспертизе. Решающим фактором в возникновении и развитии бронхопневмонии является снижение резистентности организма животных к неблагоприятным воздействиям внешней среды. Вследствие ослабления сопротивляемости организма создаются благоприятные условия для роста и развития патогенной микрофлоры в органах дыхательной системы и для возникновения различных форм их воспаления [2; 4-8; 10; 11; 13; 15-17; 19; 21; 23; 28; 30].

Заболеваемость свиней неспецифической бронхопневмонией может достигать до 80%, а отход - до 12 %. Бронхопневмония сопровождается снижением аппетита, общим угнетением, повышением температуры тела, кашлем, нарастанием явлений сердечно-сосудистой и дыхательной недостаточности, наличием крупнопузырчатых или мелкопузырчатых хрипов и очагов притупления в пораженных участках легких, иногда и гибелью животных. Вследствие бронхопневмонии происходит значительное нарушение гематологических показателей, показателей лейкопрофиля и биохимических показателей крови больных животных [1; 3; 6; 8; 9; 13; 15; 18; 21-24; 27].

Климатические условия также могут способствовать возникновению бронхопневмонии свиней. Бронхопневмония свиней имеет широкое распространение в свиноводческих хозяйствах, расположенных в регионах с низкой среднегодовой температурой окружающей среды, особенно в условиях высокой влажности, а так же в регионах с высокой загрязненностью атмосферы промышленными газами. Наряду с неблагоприятными климатическими условиями, нарушение норм содержания животных, способствуют развитию этого заболевания.

Цель исследования – изучение влияния климатических условий на заболеваемость поросят бронхопневмонией в свиноводческих хозяйствах различных регионов Республики Армения, выявление больных поросят, сравнение их клинических, гематологических и биохимических показателей крови с аналогичными показателями здоровых животных.

Материал и методы исследования

Исследования проводились в течение 2023-2024 гг. в свиноводческих хозяйствах Ширакской, Лорийской, Гегаркуникской, Сюникской, Араратской и Армавирской областей Республики Армения на поросятах породы крупная белая, ландрас и дюрок . Исследовался молодняк свиней в воз-

расте от 1-до 5 месяцев. Характеристика климатических условий в выше-перечисленных областях следующая.

Ширакская область выделяется обильностью осадков (700мм), прохладным летом, суровыми и продолжительными зимами.

Лорийская область выделяется относительно влажным климатом. В средних и высокогорных поясах климат умеренно горный с продолжительными и холодными зимами.

Гегаркуникская область определяется продолжительной и суровой зимой, поскольку она находится на высоте 2000-3000 м над уровнем моря. Гегаркуникская область характеризуется большим количеством солнечных часов, за год они достигают 2700-2800 часов. Климат летом умеренный, а зимой холодный. Характерен стабильный снежный покров.

В Сюникской области присутствуют все типы климата, характерные для Армении: субтропический сухой, умеренный, горный.

Арагатская область отличается исключительной продолжительностью солнечного сияния. В Арагатской области климат сухой континентальный с жарким летом, умеренно-холодной малоснежной зимой и малым количеством осадков.

В Армавирской области лето жаркое, сухое и ясное, а зимы короткие, морозные, снежные и местами облачные.

Выявление бронхопневмонии проводились методом клинического обследования животных, исследования гематологических и биохимических показателей крови, показателей лейкопрофиля. Исследование гематологических показателей (количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, СОЭ) и показателей лейкопрофиля проводилось при помощи анализатора крови MicroCC -20 Plus. Из биохимических показателей крови исследовались содержание общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, кальция, фосфора, глюкозы, активность лактатдегидрогеназы, аспаратаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы. Определение содержания общего белка проводили рефрактометрическим методом, содержание белковых фракций – методом электрофореза сыворотки крови, определение активности лактатдегидрогеназы – калориметрическим методом Савела-Товарека, содержание мочевины – с использованием реакции Неслера, определение активности щелочной фосфатазы – по кинетической калориметрической методике, содержание глюкозы – методом глюкоксидазы, содержание кальция – флюоресцентным методом, фосфора – калориметрическим методом, щелочного резерва – титрометрическим методом Неводова, активность аланинаминотрансферазы и аспаргатаминотрансферазы – методом Райтмана-Френкеля.

В общей сложности нами были исследованы 700 голов животных. В Ширакской области были исследованы 160 голов поросят, в Лорийской области – 140 голов, в Гегаркуникской области – 150 голов, в Сюникской области – 89 голов, в Араратской области – 76 голов, в Армавирской области – 85 голов.

Были проведены также микробиологические исследования носовых выделений у больных бронхопневмонией поросят с целью определения видового состава патогенной микрофлоры бронхиального содержимого. С этой целью делали забор носовых истечений и посев на питательные среды. Палочки, обернутые ватой на одном конце вводили в носовые отверстия животных и брали патологический материал, затем палочки с патологическим материалом помещали в пробирки, содержащие 1 мл физиологического раствора. Заранее подготовили 4 пробирки, содержащие мясопептонный бульон. С помощью шприца делали забор 1 мл физиологического раствора, содержащего воспалительный экссудат и переливали в первую пробирку, получив разведение 1:10, из первой пробирки брали 1 мл раствора и получали разведение 1:100, аналогичным методом получали разведения 1:1000 и 1:10000. Из разведения 1:10000 брали 0,2 мл раствора и делали посеvy с помощью шпателя на чашки Петри с мясопептонным агаром, пробирки с посевами поместили в термостат на 24 часа в условиях температуры 37° С. Через 24 часа чашки Петри поместили на черную бумагу, перевернули их, осматривая и изучая образовавшиеся колонии. Для сравнения клинических, гематологических и биохимических показателей крови больных бронхопневмонией (опытная группа) и здоровых поросят (контрольная группа) по принципу аналогов нами были созданы две группы по 11 голов в каждой.

Результаты

Таблица 1.

Распространение бронхопневмонии поросят в областях Армении

Области	Исследованное поголовье	Количество заболевших животных и % заболеваемости
Ширакская	160	75(46.8 %)
Лорийская	140	64(45.7%)
Гегаркуникская	150	65(43.3%)
Сюникская	89	23(25.8%)
Араратская	76	5(6.5%)
Армавирская	85	6(7.0%)
Всего	700	238(34%)

Таблица 2.

**Клинические показатели здоровых
и больных бронхопневмонией поросят, n=11**

Показатели	Контрольная группа (здоровые животные)	Опытная группа (больные бронхопневмонией животные)	Норма
Температура, С	39.1±0.4	41.3±1.6	38.0-40.0
Пульс, уд/мин	70±0.6	120±1.4	60-90
Дыхание, дв/ мин	19±0.4	45±1.1	15-20

P< 0.05

Таблица 3.

**Гематологические показатели здоровых
и больных бронхопневмонией поросят, n=11**

Показатели	Контрольная группа (здоровые животные)	Опытная группа (больные бронхопневмонией животные)	Норма
Эритроциты, 10 ¹² л	9.4±1.2	3.2±1.6	8.0-12.0
Лейкоциты, 10 ⁹ л	11.3±0.9	22.7±2.3	6.0-14.0
Гемоглобин, г/л	123.5± 0.4	63,9±1.9	92-136
СОЭ, мм/ч	3.2±0.3	40.1±1.3	2.0-9.0

P< 0.05

Таблица 4.

**Показатели лейкопрофиля здоровых
и больных бронхопневмонией поросят, n=11**

Показатели	Контрольная группа (здоровые животные)	Опытная группа (больные пневмонией животные)	Норма
Эозинофилы, %	5.1±0.7	6.3±0.7	4-12
Базофилы, %	0.7±1.2	0.4±1.1	0.3-0.8
Лимфоциты, %	42.6±0.9	32.6±0.9	40-50
Моноциты, %	3.4±1.2	0.5±1.2	2-5
Нейтрофилы			
Юные, %	0	9.2±1.1	0
Палочкоядерные, %	4.2±0.4	12.3±0.9	3-6
Сегментоядерные, %	27.3±1.1	21.2±1.5	25-35

P< 0.05

Таблица 5.

**Биохимические показатели крови здоровых
и больных бронхопневмонией поросят, n=11**

Показатели	Контрольная группа (здоровые животные)	Опытная группа (больные пневмонией животные)	Норма
Общий белок, г/л	73.2±1.4	44.2±1.8	58.3-83.2

Альбумины, г/л	32.4±1.1	15.3±1.5	22.6-40.4
Глобулины, г/л	45.6±0.8	82.4±1.7	39.5-60.0
Глюкоза, ммоль/л	5.8±0.7	1.4±2.6	3.7-6.4
Мочевина, ммоль/л	4.3±0.7	19.5±0.9	2.9-8.8
Аланин-аминотрансфераза, ед/л	35.2±1.5	74.6±2.3	21.7-46.5
Аспаратат-аминотрансфераза, д/л	36.4±1.1	71.5±1.6	15.3-55.3
Лактат-дегидрогеназа, ед/л	202.5±0.8	514.3±1.3	159.6-424.7
Щелочная фосфатаза, ед/л	82.6±1.7	32.4±2.3	41.0-176.1
Кальций, ммоль/л	3.2±0.6	1.0±0.9	2.3-2.9
Фосфор, ммоль/л	4.0±0.8	0.6±1.2	1.8-3.0
Щелочной резерв об. %CO ₂	69.4±1.2	43.2±1.6	68-72

P < 0.05

Обсуждение

Как видно из таблицы 1, из 700 исследованных поросят бронхопневмония наблюдалась у 238 голов, что составляет 34% от общего поголовья исследованных животных. В Ширавской области из 160 обследованных поросят бронхопневмония наблюдается у 75 голов, что составляет 46.8 %, в Лорийской области из 140 обследованных животных – у 64 голов(45.7%), в Гегаркуникской области из 150 обследованных животных – у 65 голов(43.3%), в Сюникской области из 89 обследованных животных – у 23 голов(25.8%), в Араратской области из 76 обследованных животных – у 5 голов(6.5%), в Армавирской области из 85 обследованных животных – у 6 голов(7.0%).

Наибольшая заболеваемость бронхопневмонией наблюдается в Ширавской области 46.8 %, в Лорийской области 45.7%, в Гегаркуникской области (43.3%), что связано с низкими среднегодовыми температурами в этих регионах, в Сюникской области заболеваемость бронхопневмонией значительно снижается(25.8%), что связано с тем, что Сюникская область является областью с мягкими и теплыми климатическими условиями. Наименьшая заболеваемость бронхопневмонией наблюдается в Араратской (7.0%) и Армавирской областях (6.5%), так как эти области находятся в теплых климатических поясах и среднегодовые температуры здесь более высокие.

У больных бронхопневмонией поросят наблюдали слабость, вялость, отказ от корма, серозно- катаральное носовое истечение, одышку смешанного типа, поверхностное и затрудненное дыхание, влажный кашель, наличие крупнопузырчатых и мелкопузырчатых хрипов, очагов притупления в пораженных участках легких, приглушение тонов сердца, пульс слабого наполнения, наличие признаков тахикардии и аритмии, повышение общей температуры тела.

Как видно из таблицы 2, где отображены результаты исследования клинических показателей здоровых и больных бронхопневмонией поросят, у больных животных наблюдалось повышение общей температуры тела ($41.3 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$), учащение пульса (120 ± 1.4 уд/мин) и дыхания (45 ± 1.1 дв/мин).

Как видно из таблицы 3, где отражены гематологические показатели крови здоровых и больных бронхопневмонией поросят, у больных животных бронхопневмония протекает на фоне анемии, у них по сравнению с референсными показателями и аналогичными показателями здоровых поросят, в крови резко снижено количество эритроцитов ($3.2 \pm 1.6 \times 10^{12}$ л) и гемоглобина (63.9 ± 1.9 г/л), в то же время резко повышено количество лейкоцитов ($22.7 \pm 2.3 \times 10^9$ л), что свидетельствует о наличии воспалительной реакции и мобилизации защитных сил организма на борьбу с заболеванием. Показатель СОЭ у больных животных ускорен по сравнению с нормой (40.1 ± 1.3 мм/ч), что так же свидетельствует о наличии воспалительного процесса в организме. Данные таблицы 4, где отражены показатели лейкопрофиля здоровых и больных бронхопневмонией животных, свидетельствуют о том, что бронхопневмония протекает на фоне повышения количества юных ($9.2 \pm 1.1\%$) и палочкоядерных ($12.3 \pm 0.9\%$) нейтрофилов и резкого снижения количества сегментоядерных нейтрофилов ($21.2 \pm 1.5\%$), лимфоцитов ($32.6 \pm 0.9\%$) и моноцитов ($0.5 \pm 1.2\%$).

Как видно из таблицы 5, где отражены результаты биохимических исследований крови здоровых и больных бронхопневмонией поросят, у больных бронхопневмонией поросят по сравнению с референсными значениями и с аналогичными показателями здоровых поросят в крови резко снижено содержание общего белка (44.2 ± 1.8 г/л), альбуминов (15.3 ± 1.5 г/л), глюкозы (1.4 ± 2.6 ммоль/л), кальция (1.0 ± 0.9 ммоль/л), фосфора (0.6 ± 1.2 ммоль/л), щелочного резерва (43.2 ± 1.6 об.% CO_2), активность щелочной фосфатазы (32.4 ± 2.3 ед/л). Значительно повышено содержание глобулинов (82.4 ± 1.7 г/л), мочевины (19.5 ± 0.9 ммоль/л), активность аланинаминотрансферазы (74.6 ± 2.3 ед/л), аспартатаминотрансферазы (71.5 ± 1.6 ед/л), лактатдегидрогеназы (514.3 ± 1.3 ед/л).

Микробиологическими исследованиями в бронхиальном содержимом больных бронхопневмонией животных были идентифицированы представители видов *Staphylococcus*, *Pasteurella*, *Streptococcus*, *Escherichia*, *Klebsiella*. По нашим наблюдениям возникновению бронхопневмонии у поросят наряду с холодными климатическими условиями способствовали их редкий волосяной покров, малый объем легких, ранний отъем от мате-

рей, недостаточное кормление, содержание в неотапливаемых помещениях, наличие сквозняков, содержание на цементных полах без подстилки, отсутствие вентиляции, наличие высокая влажность животноводческих помещений и скопление в них вредных газов, нарушение санитарно-гигиенических норм животноводческих помещений.

Заключение

1. Проведенными исследованиями установлено, что высокая заболеваемость поросят неспецифической бронхопневмонией в свиноводческих хозяйствах Ширакской, Лорийской и Гехаркуникской областей Республики Армения связана с географическим расположением этих областей, с холодными климатическими условиями, а также с нарушениями норм содержания и кормления животных.
2. У больных бронхопневмонией поросят происходит резкое ухудшение общего состояния, нарушение клинических, гематологических и биохимических показателей крови, а иногда и летальный исход животных.
3. Во избежание перечисленных последствий первостепенной задачей ветеринарных специалистов свиноводческих хозяйств является изучение условий содержания поросят, при которых возникает бронхопневмония у животных.
4. В случае, когда к сведению не принимаются экологические условия данной местности, понижается сопротивляемость организмов поросят, увеличивается процент их заболеваемости, что может снизить в дальнейшем эффективность продуктивности животных.
5. Во избежание вышесказанного необходимо строго соблюдать нормы температурного режима, влажности вентиляции, скученности животных. При соблюдении всех этих условий можно значительно снизить процент заболеваемости поросят бронхопневмонией, одновременно повышая их выживаемость.
6. Поросята наделены определенными физиологическими особенностями – это отсутствие потовых желез, из-за чего влага из организма не выделяется. Они имеют еще и малую площадь легких, вследствие чего для охлаждения тела органы дыхания животными не используются.
7. Если к этим особенностям поросят добавляются еще и не соответствующие им экологические факторы, в таком случае, из-за ухудшения здоровья животных повышается уровень заболеваемости бронхопневмонией снижаются показатели роста и развития поросят.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki by the World Medical Association).

Информация о конфликте интересов. У всех авторов статьи нет конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена по решению правительства Республики Армения по базовому финансированию научных тем в Армении.

Список литературы

1. Абрамов, С. С., Арестов, И. Г., & Карпуть, И. М. (1990). *Профилактика незаразных болезней молодняка*. Москва: Агропромиздат. 175 с. ISBN: 5-10-000641-2. EDN: <https://elibrary.ru/SDAZET>
2. Андреева, А. В., & Ильясова, З. З. (2023). Опыт лечения бронхопневмонии у поросят. В *Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 60-летию юбилею факультета ветеринарной медицины Алтайского государственного аграрного университета* (с. 6–10). Барнаул.
3. Андросик, Н. Н. (1989). *Профилактика пневмоний свиней*. Минск: Ураджай. 160 с.
4. Анохин, Б. М. (1996). *Болезни молодняка сельскохозяйственных животных*. Воронеж. 213 с.
5. Данилевский, В. М. (1967). Профилактика и лечебные мероприятия при незаразной бронхопневмонии поросят. *Ветеринария*, (2), 66–68.
6. Дорош, М. В. (2017). *Болезни свиней*. Москва: Вече. 160 с.
7. Душук, Р. В. (1982). *Респираторные болезни свиней*. Москва: Колос. 272 с.
8. Енгашев, С. В., Савинков, А. В., & Садов, К. М. (2023). Эффективность 5-дневной терапии комплексным антибиотиком Тилдокс АВ3 при бронхопневмонии поросят. *Сборник научных трудов КНЦЗВ*, 12(1), 187–192. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2023-1-45>. EDN: <https://elibrary.ru/HYUPAM>
9. Ильясова, З. З., & Андреева, В. В. (2022). Клинический анализ крови поросят при бронхопневмонии. В *Актуальные проблемы лечения и профилактики болезней молодняка: материалы Международной научно-практической конференции* (с. 153–157). Витебск: Учреждение образования «Витебская ордена „Знак Почёта“ государственная академия ветеринарной медицины».

10. Крячко, О. В. (1999). *Иммунобиологические и структурно-функциональные аспекты патогенеза неспецифической бронхопневмонии поросят* (Докторская диссертация на соискание учёной степени доктора ветеринарных наук по специальности 16.00.02). Санкт-Петербург. 371 с.
11. Крячко, О. В., Шафиев, А. П., & Лукоянова, Л. А. (2020). Состояние гуморальных защитных механизмов у поросят разных возрастных групп при неспецифической бронхопневмонии. *Международный вестник ветеринарии*, (3), 149–153.
12. Крячко, О. В., Шафиев, А. П., & Лукоянова, Л. А. (2020). Особенности развития патологического процесса при неспецифической бронхопневмонии свиней. *Международный вестник ветеринарии*, (4), 150–153. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.150>. EDN: <https://elibrary.ru/NUOSWY>
13. Крячко, О. В. (2016). Роль различных звеньев врождённого иммунитета в патогенезе бронхопневмонии у свиней. *Международный вестник ветеринарии*, (3), 149–154. EDN: <https://elibrary.ru/WNEAUZ>
14. Крячко, О. В. (2017). Несколько фактов о патогенезе бронхопневмонии поросят (на английском языке). *Clujul Medical*, 90(5), 38.
15. Курдеко, А. П., Ковалёв, С. П., & Алешкевич, В. Н. (2018). *Методы диагностики болезней сельскохозяйственных животных*. Москва: Лань. 208 с.
16. Петрова, О. Г. (2012). *Респираторные заболевания животных и птиц с учётом экологических особенностей территории*. Екатеринбург. 228 с. ISBN: 978-5-93667-166-1. EDN: <https://elibrary.ru/VFJRCP>
17. Петрянкин, Ф. П., & Петрова, О. Ю. (2014). *Болезни молодняка животных*. Санкт-Петербург: Лань. 353 с.
18. Полозюк, О. Н. (2020). Морфологические изменения крови при катаральной бронхопневмонии. В *Актуальные проблемы и методические подходы к диагностике, лечению и профилактике болезней животных: Международный научно-исследовательский журнал № 1 (151): материалы Международной научно-практической конференции* (с. 74–79). Персиановский: Донской государственный аграрный университет.
19. Романов, А. В. (2014). *Лечение катаральной бронхопневмонии поросят в условиях хозяйств*. LAP Lambert Academic Publishing. 228 с.
20. Савинков, А. В., Ермаков, В. В., Лямин, А. В., и др. (2020). Сравнительный анализ микрофлоры верхних дыхательных путей поросят-отъёмышей и подсвинков при неспецифической бронхопневмонии. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, (84), 217–221. EDN: <https://elibrary.ru/RQXMJU>

21. Сазыкина, К. И. (2015). *Оценка безопасности и эффективности применения препарата «Доксициклин-комплекс» при бронхопневмониях и гастронтеритах поросят* (Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата ветеринарных наук по специальности 06.02.01 – «Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных»). Саратов. 21 с.
22. Шахов, А. Г. (2002). Этиология и профилактика желудочно-кишечных и респираторных болезней телят и поросят. В *Актуальные проблемы болезней молодняка в современных условиях: материалы Международной научно-практической конференции* (Воронеж, 23–25 сентября 2002 г.; с. 3–8). Воронеж: Воронежский ГУ.
23. Шубина, Т. П., & Чопорова, Н. В. (2023). Динамика показателей крови поросят при различных схемах лечения бронхопневмонии. *Международный научно-исследовательский журнал*, (137). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.142>
24. Шубина, Т. П., & Чопорова, Н. В. (2025). Эффективность лечения бронхопневмонии поросят с использованием биопрепарата «Гамавит». *Международный научно-исследовательский журнал*, (151). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.111>
25. Щербаков, Г. Г., & Коробов, А. В. (2002). *Внутренние болезни животных*. Санкт-Петербург: Лань. 730 с. ISBN: 5-9511-0012-7. EDN: <https://elibrary.ru/XDKWGF>
26. Щербаков, Г. Г. (2022). *Внутренние болезни животных*. Санкт-Петербург: Лань. 716 с.
27. Bojkovski, J., Zdravkovic, N., & Zutic, J. (2022). Bronchopneumonia as a health problem on pig farms (research review). *Ucari stinifice medicina veterinara*, LV(3), 15 p. Timisoara.
28. Ferraz, M., Almeida, H., Storino, G. Y., et al. (2020). Lung consolidation caused by *Mycoplasma hyopneumoniae* has a negative effect on productive performance and economic revenue in finishing pigs. *Preventive Veterinary Medicine*, 182, art. 105091. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105091>. EDN: <https://elibrary.ru/KYMVTI>
29. Karabasil, N., Čobanović, N., Vučićević, I., Stajković, S., Becskei, Z., Forgách, P., & Aleksić-Kovačević, S. (2017). Association of the severity of lung lesions with carcass and meat quality in slaughter pigs. *Acta Veterinariae Veterinae Hungaricae*, 65(3), 354–365. <https://doi.org/10.1556/004.2017.034>
30. Maes, D., Sibila, M., Kuhnert, P., et al. (2018). Update on *Mycoplasma hyopneumoniae* infections in pigs: Knowledge gaps for improved disease control. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65, 110–124.

References

1. Abramov, S. S., Arestov, I. G., & Karput, I. M. (1990). *Prevention of non-communicable diseases in young animals*. Moscow: Agropromizdat. 175 p. ISBN: 5-10-000641-2. EDN: <https://elibrary.ru/SDAZET>
2. Andreeva, A. V., & Ilyasova, Z. Z. (2023). Experience in treating bronchopneumonia in piglets. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of the Faculty of Veterinary Medicine of the Altai State Agrarian University* (pp. 6–10). Barnaul.
3. Androsik, N. N. (1989). *Prevention of swine pneumonias*. Minsk: Uradzhay. 160 p.
4. Anokhin, B. M. (1996). *Diseases of young farm animals*. Voronezh. 213 p.
5. Danilevsky, V. M. (1967). Prevention and treatment measures for non-infectious bronchopneumonia in piglets. *Veterinariya*, (2), 66–68.
6. Dorosh, M. V. (2017). *Diseases of pigs*. Moscow: Veche. 160 p.
7. Dushuk, R. V. (1982). *Respiratory diseases of pigs*. Moscow: Kolos. 272 p.
8. Engashev, S. V., Savinkov, A. V., & Sadov, K. M. (2023). Efficacy of 5-day therapy with the combined antibiotic Tildox AB3 in piglet bronchopneumonia. *Collection of Scientific Works of KSCZV*, 12(1), 187–192. <https://doi.org/10.48612/sbornik-2023-1-45>. EDN: <https://elibrary.ru/HYUPAM>
9. Ilyasova, Z. Z., & Andreeva, V. V. (2022). Clinical blood analysis of piglets with bronchopneumonia. In *Current problems of treatment and prevention of diseases in young animals: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 153–157). Vitebsk: Vitebsk Order “Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine.
10. Kryachko, O. V. (1999). *Immunobiological and structural-functional aspects of the pathogenesis of non-specific bronchopneumonia in piglets* (Doctoral dissertation for the degree of Doctor of Veterinary Sciences, specialty 16.00.02). Saint Petersburg. 371 p.
11. Kryachko, O. V., Shafiev, A. P., & Lukyanova, L. A. (2020). Status of humoral defense mechanisms in piglets of different age groups with non-specific bronchopneumonia. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (3), 149–153.
12. Kryachko, O. V., Shafiev, A. P., & Lukyanova, L. A. (2020). Features of pathological process development in non-specific swine bronchopneumonia. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (4), 150–153. <https://doi.org/10.17238/issn2072-2419.2020.4.150>. EDN: <https://elibrary.ru/NUOSWY>
13. Kryachko, O. V. (2016). The role of various components of innate immunity in the pathogenesis of bronchopneumonia in pigs. *International Bulletin of Veterinary Medicine*, (3), 149–154. EDN: <https://elibrary.ru/WNEAUZ>

14. Kryachko, O. V. (2017). Some facts about the pathogenesis of piglet bronchopneumonia (in English). *Clujul Medical*, 90(5), 38.
15. Kurdeko, A. P., Kovalev, S. P., & Aleshkevich, V. N. (2018). *Methods for diagnosing diseases of farm animals*. Moscow: Lan. 208 p.
16. Petrova, O. G. (2012). *Respiratory diseases of animals and birds considering ecological characteristics of the territory*. Yekaterinburg. 228 p. ISBN: 978-5-93667-166-1. EDN: <https://elibrary.ru/VFJRCP>
17. Petryanin, F. P., & Petrova, O. Yu. (2014). *Diseases of young animals*. Saint Petersburg: Lan. 353 p.
18. Polozyuk, O. N. (2020). Morphological changes in blood in catarrhal bronchopneumonia. In *Current problems and methodological approaches to diagnosis, treatment and prevention of animal diseases: International Research Journal No. 1 (151): Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 74–79). Persianovsky: Don State Agrarian University.
19. Romanov, A. V. (2014). *Treatment of catarrhal bronchopneumonia in piglets under farm conditions*. LAP Lambert Academic Publishing. 228 p.
20. Savinkov, A. V., Ermakov, V. V., Lyamin, A. V., et al. (2020). Comparative analysis of upper respiratory tract microflora in weaned piglets and fattening pigs with non-specific bronchopneumonia. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, (84), 217–221. EDN: <https://elibrary.ru/RQXMJU>
21. Sazykina, K. I. (2015). *Assessment of safety and efficacy of the drug “Doxycycline Complex” in bronchopneumonias and gastroenteritis in piglets* (Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Veterinary Sciences, specialty 06.02.01 – “Diagnosis of diseases and therapy of animals, pathology, oncology and morphology of animals”). Saratov. 21 p.
22. Shakhov, A. G. (2002). Etiology and prevention of gastrointestinal and respiratory diseases in calves and piglets. In *Current problems of diseases in young animals in modern conditions: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Voronezh, September 23–25, 2002; pp. 3–8)*. Voronezh: Voronezh State University.
23. Shubina, T. P., & Choporova, N. V. (2023). Dynamics of blood parameters in piglets under different treatment regimens for bronchopneumonia. *International Research Journal*, (137). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.142>
24. Shubina, T. P., & Choporova, N. V. (2025). Efficacy of treating piglet bronchopneumonia using the biopreparation “Gamavit”. *International Research Journal*, (151). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.111>
25. Shcherbakov, G. G., & Korobov, A. V. (2002). *Internal diseases of animals*. Saint Petersburg: Lan. 730 p. ISBN: 5-9511-0012-7. EDN: <https://elibrary.ru/XDKWGF>
26. Shcherbakov, G. G. (2022). *Internal diseases of animals*. Saint Petersburg: Lan. 716 p.

27. Bojkovski, J., Zdravkovic, N., & Zutic, J. (2022). Bronchopneumonia as a health problem on pig farms (research review). *Ucari stinifice medicina veterinara*, LV(3), 15 p. Timisoara.
28. Ferraz, M., Almeida, H., Storino, G. Y., et al. (2020). Lung consolidation caused by *Mycoplasma hyopneumoniae* has a negative effect on productive performance and economic revenue in finishing pigs. *Preventive Veterinary Medicine*, 182, art. 105091. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105091>. EDN: <https://elibrary.ru/KYMVTI>
29. Karabasil, N., Čobanović, N., Vučićević, I., Stajković, S., Becskei, Z., Forgách, P., & Aleksić-Kovačević, S. (2017). Association of the severity of lung lesions with carcass and meat quality in slaughter pigs. *Acta Veterinariae Veterinae Hungaricae*, 65(3), 354–365. <https://doi.org/10.1556/004.2017.034>
30. Maes, D., Sibila, M., Kuhnert, P., et al. (2018). Update on *Mycoplasma hyopneumoniae* infections in pigs: Knowledge gaps for improved disease control. *Transboundary and Emerging Diseases*, 65, 110–124.

ВКЛАД АВТОРОВ

Никогосян Э.А.: составление статьи.

Варданян А.В.: сбор и обработка научных данных.

Григорян Л.Г.: общее руководство темой статьи.

Григорян В.В.: сбор и обработка научных данных.

Ерибекия С.В.: сбор и обработка научных данных.

Абраамян В.В.: сбор и обработка научных данных, координирует переписку с редакцией журнала.

Мелконян Ж.С.: редактирование статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Erik A. Nikoghosyan: compilation of the article.

Albert V. Vardanyan: collection and processing of scientific data.

Liana G. Grigoryan: general supervision of the article.

Valery V. Grigoryan: collection and processing of scientific data.

Spartak V. Eribekyan: collection and processing of scientific data.

Viktor V. Abrahamyan: collection and processing of scientific data; coordinates correspondence with the journal's editorial board.

Zhanna S. Melkonyan: editing of the article.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Никогосян Эрик Альбертович, канд. вет. наук, доцент, научный сотрудник
*Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной
экспертизы Национального аграрного университета Армении*

ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
erik-nik69@yandex.ru

Варданын Альберт Виравович, д-р вет. наук, профессор, научный сотрудник

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
albert.vardanyan.52@mail.ru

Григорян Лиана Гайковна, канд. вет. наук, доцент, директор центра

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
lianagrigoryan7878@mail.ru

Григорян Валерий Володяевич, канд. биол. наук, доцент, научный сотрудник

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
grigoryanvgv@mail.ru

Ерибемян Спартак Ваганович, ветеринарный врач, научный сотрудник

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
vivarium2016@mail.ru

Абрамян Виктор Ваганович, д-р вет. наук, профессор, ведущий научный сотрудник

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
viktoraabrahamyanv@gmail.com

Мелконян Жанна Сергеевна, канд. биол. наук, научный сотрудник

Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении

*ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
zhanna.smelkonyan1@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Erik A. Nikoghosyan, Researcher

*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
erik-nik69@yandex.ru*

Albert V. Vardanyan, Dr. Sc. (Veterinary), Researcher

*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
albert.vardanyan.52@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7633-7978>*

Liana G. Grigoryan, Head of Center

*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
lianagrigoryan7878@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8799-4568>*

Valery V. Grigoryan, Researcher

*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
grigoryanvgv@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0840-3961>*

Spartak V. Eribekyan, DVM, Researcher at the Research Center of Veterinary
and Veterinary Sanitary Expertise

*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
vivarium2016@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9340-7894>*

Viktor V. Abrahamyan, Dr. Sc. (Veterinary), Leading Researcher
*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
viktorabrahamyanv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2399-011X>*

Zhanna S. Melkonyan, Researcher
*Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary and Sanitary
Expertise of the National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
zhanna.smelkonyan1@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7976-0151>*

Поступила 05.02.2025

После рецензирования 07.03.2025

Принята 14.03.2025

Received 05.02.2025

Revised 07.03.2025

Accepted 14.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1266

EDN: MYBWKI

УДК 634.8:338.4:330.322



Научная статья

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА В РАЗВИТИИ ВИНODEЛЬЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

*М.В. Намханова, Н.В. Алесина, Е.Л. Гринько,
А.В. Кузьмин, Н.А. Шалковская*

Аннотация

Обоснование. Актуальность исследований финансово-экономического эффекта кластеризации бизнеса в сфере виноградарства и виноделия обусловлена объективной необходимостью развития данной отрасли в режиме импортозамещения с соответствующим увеличением представленности отечественной продукции на внутреннем рынке. Вплоть до настоящего времени ни в отечественной, ни в зарубежной научной литературе теме экономики виноделия и применения кластеров в сельском хозяйстве, особенно в части деятельности малых частных предприятий, не уделяется достаточного внимания.

Проблема настоящего исследования состоит в определении оптимальной для специфических условий сельскохозяйственной зоны Севастополя организационной формы взаимодействия и функционирования малых винодельческих хозяйств. **Объектом исследования** выступила совокупность 5 малых винодельческих предприятий города Севастополя.

Цель исследования состоит в оценке целесообразности применения кластерного подхода в развитии винодельческой отрасли города Севастополя.

Материалы и методы. Информационной базой настоящего исследования явились законодательные и нормативные акты, официальные статистические данные, а также материалы, характеризующие зарубежный опыт в данной сфере. Консультативную поддержку в определении количественных и качественных показателей оказало ООО «Агентство виноградарства и энологии Клер». Методология исследования базируется на совокупности методов системно-деятельностного анализа хозяйствующих субъектов.

Результаты. Исследование проводилось на основе разработанных сценариев периода инвестирования и периода окупаемости виноградника от начала его закладки на 10 последующих лет. Общим результатом исследования является выявление возможностей финансовой оптимизации деятельности виноградарских и винодельческих хозяйств путем их кооперации в производственном кластере с резидентами, предоставляющими услуги аренды сельскохозяйственной техники, бригад виноградарей, кооперативной винодельни. Такое объединение предприятий малого виноградарско-винодельческого бизнеса может способствовать сокращению капитальных и текущих расходов и успешному развитию этих предприятий.

Ключевые слова: виноградарство; виноделие; кластер; финансовый план; экономика; инвестиции

Для цитирования. Намханова, М. В., Алесина, Н. В., Гринько, Е. Л., Кузьмин, А. В., & Шалковская, Н. А. (2025). Оценка целесообразности использования кластерного подхода в развитии винодельческой отрасли региона на примере города Севастополя. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 540-561. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1266>

Original article

ASSESSING THE FEASIBILITY OF USING THE CLUSTER APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF THE WINE INDUSTRY IN THE REGION ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF SEVASTOPOL

*M.V. Namkhanova, N.V. Alesina, E.L. Grinko,
A.V. Kuzmin, N.A. Shalkovskaya*

Abstract

Background. The relevance of research into the financial and economic effects of business clustering in viticulture and winemaking is driven by the objective need to develop this industry, with a corresponding increase in the presence of domestic products on the domestic market. Until now, neither domestic nor foreign scientific literature has not received sufficient attention to the topic of the economics of winemaking and the use of clusters in agriculture, especially in the part of small private enterprises. The **problem** of this research lies in determining the optimal for

the specific conditions of the agricultural zone of Sevastopol organizational form of interaction and functioning of small wineries. The **object** of the study was a *group* of 5 small wineries in the city of Sevastopol.

The **purpose** of the study is to assess the feasibility of using the cluster approach in the development of the wine industry in the city of Sevastopol.

Materials and methods. The information base for this research consisted of legislative and regulatory acts, official statistical data, as well as materials characterizing international experience in this field. Consultative support in determining quantitative and qualitative indicators was provided by LLC “Agency of Viticulture and Enology Claire”. The research methodology is based on a combination of methods of system-activity analysis of economic entities.

Results. The research was conducted based on developed scenarios of the investment period and payback period of the vineyard, starting from its establishment over the following 10 years. The overall result of the study is the identification of opportunities for financial optimization of viticulture and winemaking enterprises through their cooperation in a production cluster with residents providing services such as agricultural equipment rental, teams of viticulturists, and a cooperative winery. Such association of small grape-growing and winemaking businesses can contribute to the reduction of capital and current expenditures and successful development of these enterprises.

Keywords: viticulture; winemaking; cluster; financial plan; economics; investments

For citation. Namkhanova, M. V., Alesina, N. V., Grinko, E. L., Kuzmin, A. V., & Shalkovskaya, N. A. (2025). Assessing the feasibility of using the cluster approach in the development of the wine industry in the region on the example of the city of Sevastopol. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 540-561. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1266>

Введение

Отечественная отрасль виноделия последние 10 лет развивается одновременно как экстенсивным путем (рост площадей виноградников технических сортов, объема производства вина, количества производителей), так и интенсивно (улучшение государственной поддержки отрасли и представленности отечественного вина на внутреннем рынке) [23]: площадь виноградников выросла с 90 тыс. гектар в 2014 году до 101 тыс. в 2022 [27]. Однако первоначальный всплеск интереса к виноделию у инвесторов, готовых создать малое виноградарско-винодельческое хозяйство и производить вино в рамках лицензии крестьянско-фермерского хозяйства (до 200 тысяч бутылок с виноградника площадью не более 40-50 гектар),

оказался ограниченным невозможностью обеспечить все этапы производственного процесса «от земли до бокала» не только в короткие, но и в прогнозируемые сроки [1]. Формально-ограничивающими факторами можно назвать высокую сложность или невозможность в настоящее время получить разрешение на строительство винодельни на сельскохозяйственной земле, а также снижение поступлений от экотуризма в регионах, временно утративших с 2022 года регулярное авиасообщение, в особенности – в Краснодарском крае, Крыму и городе федерального значения Севастополь, в состав которого входит обширная сельскохозяйственная зона [10; 20]. Не менее сдерживающим фактором, по мнению авторов, является крайне высокая финансовая нагрузка, особенно для собственников малых предприятий, желающих не только вырастить виноград, но и создать собственное вино.

В работе использованы параметры винодельческих кластеров и кластерной политики, приведенные в трудах М. Портера, Ю. Л. Владимирова, М. Ю. Шерешевой [5; 30]. Общие вопросы кластеризации, кластеризация различных отраслей и условия применения в регионах поднимаются в работах Ю.Н. Лапыгина, Д.В. Тулинова, О.Д. Гайша, Л.Г. Батраковой, Т.А. Андреевой, В.Г. Закшевского и др. [3; 4; 6-8; 13]. Однако проблематика кластерного развития виноградарско-винодельческих деятельности в отечественной науке поднимается недостаточно, специалисты, как правило, либо рассматривают функционирование отрасли в целом, либо акцентируются на деятельности отдельных хозяйств [11; 15; 17; 21], при этом упуская из виду мягкие формы интеграции независимых предприятий, к числу которых относятся и кластеры [13; 14; 25].

Базис для финансового планирования создания и деятельности виноградарско-винодельческих хозяйств США представлен в работе Дж. Л. Лами [26]. Аналогичных исследований по выбранной теме с количественными показателями и качественным обоснованием недостаточно. Отечественные научные изыскания по теме экономики виноделия и применения кластеров в сельском хозяйстве велись, в основном, в масштабах макро-экономических факторов, формирования государственной политики и хозяйственно-экономической деятельности крупных хозяйств [21]. Конкретные управленческие и финансовые проблемы малых частных предприятий, возможности их решения путем кластеризации рассматривались недостаточно, в силу чего исследование финансово-экономических аспектов деятельности малых винодельческих хозяйств с целью обоснования необходимости их кластеризации является актуальным.

Цель исследования. В настоящем исследовании авторы преследовали цель показать, что создание и эффективное функционирование малых винодельческих хозяйств в сельской зоне Севастополя во многом зависит от применения принципа кластеризации, который обеспечит сокращение капитальных и текущих расходов для этой сферы бизнеса в данных условиях. Для достижения этой цели были поставлены две задачи. Во-первых, необходимо детализировать по финансовым затратам операции по закладке типового виноградарско-винодельческого хозяйства, чтобы определить объем средств и сроки инвестирования, требуемые для получения вина из собственного винограда, а также срок возврата инвестиций. Во-вторых – на основе сформированного финансового плана количественно обосновать целесообразность кластеризации винодельческого бизнеса для снижения затрат и срока окупаемости инвестиций.

Материалы и методы

Рассмотрен сценарий инвестирования и возврата инвестиций при создании малого типового винодельческого хозяйства полного цикла в Севастополе и Крыму от начала закладки виноградника (год 0) на 10 последующих лет. Базовыми характеристиками малого винодельческого хозяйства являются следующие параметры: объем производства, в соответствии с ограничением лицензии крестьянско-фермерского хозяйства (КФХ), до 200 тыс. бутылок вина в год, произведенных из собственного винограда; площадь виноградника, обеспечивающая данный объем, не более 40-50 гектар; количество работников хозяйства 5-15 человек. Объектом исследования выступила совокупность 5 малых винодельческих предприятий города Севастополя, отнесенных к данному типу по критерию выручки и численности работников. Консультативную поддержку в определении количественных и качественных показателей оказало ООО «Агентство виноградарства и энологии Клер». Охарактеризуем методику и последовательность используемых процедур.

В сценарии приняты довольно высокие для отечественной винодельческой отрасли показатели производительности бутылок с гектара виноградника и отпускной стоимости вина (Приложение, таблица 1). Это связано с тем, что по мере развития отрасли в России новые малые винные хозяйства должны закладывать высокую производственную и финансовую эффективность, чтобы обеспечить рыночную устойчивость в условиях высокой конкуренции как с зарубежным импортом, так и с крупными отечественными производителями [23]. В этой связи виноградник должен обладать

характеристиками известных премиальных хозяйств таких регионов, как Бордо и Бургундия (Франция), Бароло (Италия), Долина реки Напа (Калифорния, США) и другие: 1) высокая плотность расположения кустов винограда на единицу площади, 2) умеренная (контролируемая) урожайность кустов, 3) высокая отпускная цена производителей.

Цены на материалы, услуги и оборудование представлены по данным за 2023 год на основе анализа рыночных предложений и в обобщенном виде приведены в Приложении, таблица 2. Финансовый план сценария представлен в Приложении, таблица 3.

Отдельно выделена категория непредвиденных расходов, в которую входят всевозможные риски от природных и геополитических до человеческого фактора, включая деятельность подрядчиков и исполнителей. В индустрии виноградарства и виноделия число сложно- или неконтролируемых случайностей и потенциальный негативный эффект от их реализации настолько велико, что спрогнозировать и объективно оценить их, по мнению Дж. Л. Лами, не представляется возможным [26]. Поэтому авторами принята норма потерь, равная фиксированному % от сальдо за каждый год. Для Крыма и Севастополя эта норма потерь при традиционной форме хозяйствования принята равной 20%.

Авторы не ставили целью показать точный и достоверный финансовый план, это выходит за рамки данного исследования. Многие значения и показатели приведены со значительным округлением. При этом достоверно (в соответствии с текущими рыночными условиями и предложениями) учтены самые крупные и рискованные затраты, определяющие рентабельность предприятия, срок его окупаемости, размер капитала: инвестиции в землю и производственные активы – категория расходов И.2, а также операционные расходы на уход за виноградом и производство вина – категория О.1 (Приложение, таблица 3).

По столбцам (Приложение, таблица 3) по годам отложены ключевые типовые этапы создания малого виноградарско-винодельческого хозяйства, начиная с подготовки участка к закладке виноградника, заказа саженцев винограда, их посадки, затем устройства шпалеры и системы орошения, получения первого, так называемого «сигнального» урожая (составляет приблизительно 20% от получаемого с взрослых кустов, вышедших в полноценное плодоношение). На 6-й год качество реализуемого вина объективно повышается способностью лоз производить более сбалансированный и концентрированный урожай, а также благодаря широким технологическим возможностям, например, наступлению

срока выдержки вина в бочке. Немаловажным также является работа по продвижению будущего вина, формирующая его ценность и востребованность у потенциальных потребителей задолго до реализации: к 6-му году с момента закладки хозяйства винный бренд получает вещественное выражение в бутылке.

По строкам (Приложение, таблица 3) сгруппированы основные статьи расходов и доходов, участвующих в создании и функционировании малого виноградарско-винодельческого предприятия. Расходы разделены на инвестиционные и операционные, которые в свою очередь разделены на две группы. Как будет показано далее, в первую группу расходов – И.1 и О.1 – включены те расходы, которые не могут быть снижены за счет кооперативной аренды в винодельческом кластере. Так, шпалерные конструкции, система орошения и расходные материалы для виноделия (включая такие группы, как дрожжи, препараты, пробка, этикетка, бутылка, дубовая бочка и др.) требуют индивидуальных затрат участника кластера. Операционные затраты на уход за виноградом, уборку, переработку и получение готового вина также не могут быть существенно снижены внутри кластера, поскольку оцениваются в затраченных материалах и рабочем времени собственного или наемного персонала и оборудования.

Методология исследования базируется на совокупности методов системно-деятельностного анализа хозяйствующих субъектов. Оценки соответствия основаны на метрологическом принципе сопоставления полученных в исследовании показателей с «нормативами», в качестве которых используются пороговые значения, установленные методом экспертных оценок либо по средним значениям отраслевых показателей.

Результаты

Сгруппированные и агрегированные данные (Приложение, таблица 3) позволяют сделать ряд выводов относительно финансовой производительности малого типового виноградарско-винодельческого хозяйства полного цикла в 2023 году.

Рентабельность (положительный нарастающий итог) хозяйства в рассматриваемом сценарии наступает на 10-й год с начала закладки виноградника. Расходы на проектирование и строительство винодельни суммарно занимают первое место по абсолютному значению инвестиционных расходов. Вместе с расходами на покупку сельскохозяйственной техники, агрегатов и земельного участка под виноградник доля данных инвести-

ций (группа расходов И.2 в таблице) составляет 35% в общих расходах за 10 лет. Из этого следует, что чуть более трети срока выхода предприятия на возмещение первоначального капитала отводятся на средства производства, срок жизни которых может составлять десятилетия (срок продуктивной жизни технического виноградника – 35-45 лет). Оптимизация данных расходов, очевидно, позволит сократить срок окупаемости и снизить объем первоначального капитала.

Второе и третье место по оценочной капиталоемкости делят расходы на уход за виноградом и кооперативную винификацию урожая (группа О.1) и непредвиденные расходы. Как отмечено ранее, расходы О.1 не могут быть оптимизированы путем кластеризации. Непредвиденные расходы, напротив, могут и должны быть снижены.

В таблице 1 приведен потенциальный результат финансовой оптимизации от кооперации рассматриваемого хозяйства в производственном кластере с резидентами, предоставляющими услуги в виде сформированных бригад виноградарей, аренды сельскохозяйственной техники, кооперативной винодельни [24]. Таким образом определено, что в случае использования кластерной формы организации виноградарско-винодельческого бизнеса теоретически возможны следующие пути его экономико-управленческой оптимизации:

1. Финансовая экономия от кластеризации винодельческого хозяйства с виноградником площадью 20 гектар составляет, оценочно, 239 524 тыс. руб. в первые 10 лет хозяйствования.

2. Расходы на строительство собственной винодельни для переработки винограда с 20 гектар и его винификацию примерно соответствуют расходам на аренду кооперативной винодельни в течение 7 лет. В первом случае добавляются также расходы на управление винодельней и ее персоналом, получение лицензии, организацией производственного процесса.

3. Норма непредвиденных расходов снижается с 20% до 5% благодаря эффекту объема и концентрации сил всех резидентов кластера, заинтересованных и направляющих усилия на предотвращение и снижение всевозможных рисков, а также смягчение последствий их наступления.

4. Объем ответственности инвестора снижается многократно. Фактически, единственной зоной ответственности инвестора-винодела как резидента кластера становятся маркетинг и управление рекреационно-туристской деятельностью хозяйства, которые также целесообразно включить в сферу ответственности функциональных подразделений кластера [29].

Таблица 1.

**Группировка категорий расходов в контексте кластеризации
малых винодельческих хозяйств**

Категории расходов	Вариант оптимизации в рамках кластера	Потенциальный результат оптимизации в рамках кластера, тыс. руб.	
		Σ экономии после оптимизации ¹	Σ дополнительных затрат
Земельный участок, с/х техника и агрегаты, уход за виноградом	Аренда, в т.ч. долгосрочная, вместо покупки ² . Уход за виноградом оптимизируется только в части качества и эффективности (затраты не оптимизируются)	143 000	90 000
Проектирование и строительство винодельни	Долгосрочная аренда вместо строительства	292 000	–
Кооперативная переработка и виноделие	Коллективное использование. Добавляется стоимость аренды с 6-го года	–	285 600
Шпалера, орошение, индивидуальный маркетинг	Оптимизация ограничена или невозможна	–	–
Закладка виноградника, групповой маркетинг, привлечение консультантов, непредвиденные расходы	Скидки от кооперации, коллективного заказа и риск-менеджмента: 1) 5 млн. руб. на коллективную подготовку почвы и уход за саженцами; 2) 50% на консалтинг; 3) непредвиденные расходы 5% вместо 20% благодаря сниженному риску	180 124	–
Итого		615 124	375 600
Разность между экономией и дополнительными затратами в кластере		239 524	

Источник: составлено авторами.

Примечания:

¹ Вычисляется как сумма строк по столбцу «Итого» в таблице 3, взятой с обратным знаком, при наличии возможности оптимизации и за вычетом применяемых скидок.

² Стоимость аренды земли под виноградник не учитывается, т.к., по мнению авторов, может быть значительно оптимизирована благодаря крупным совокупным инвестициям, налоговым поступлениям, социальному эффекту и т.д.

Обсуждение

Кластеризация винодельческих хозяйств открывает для резидентов кластера спектр разных возможностей для предприятий разных размеров. Так, В.И. Кружалин, Е.А. Лукьяненко и А.Д. Шабалин [9] обозначили преимущества кластерного подхода в развитии винного туризма при участии

крупных винодельческих хозяйств Севастополя, отметив перспективы увеличения туристского потока благодаря такой форме кооперации. Однако среди винодельческих хозяйств и брендов США малые предприятия, производящие не более 10% валового объема вина в стране, составляют 99,5% всех хозяйств и брендов в количественном выражении [28].

Выводы данной исследовательской работы подчеркивают финансово-экономический аспект, специфичный именно для хозяйств малого размера с лицензией КФХ, которые, в силу специфики технологии производства вина строго из собственного винограда, вынуждены делать сложный выбор между инвестированием капитала в средства производства и их арендой. Преимущества от применения кластерной модели производства, внутри которой осуществляется аренда основных средств и трудовых ресурсов, включают, с одной стороны, значительную финансовую экономию за счет отказа от крупных инвестиций в начальный период становления предприятия, а, следовательно, и снижения расходов на поиск и найм высококвалифицированных работников, задействованных в данных средствах производства. С другой стороны, появляется возможность использовать ресурсы резидентов кластера для развития маркетинга и туристской деятельности с целью повышения экономической производительности кластера [29]. В свете перспектив развития винного туризма в Севастополе данные возможности носят, очевидно, стратегический характер независимо от присутствия в кластере крупных хозяйств [19]

Среди фундаментальных недостатков применения кластерной модели можно выделить трудность обеспечения условий для формирования кластера в отрасли виноградарства и виноделия. Как показали Ю. Н. Лапыгин, Д. В. Тулинова и В. А. Курпатова [12; 13], требуется создание правовых связей, обеспечивающих кооперацию государственной инфраструктуры, государственных учреждений подготовки кадров, с частными предприятиями, осуществляющими производственный процесс и его сопровождение. Внутри кластера требуется проработка правового механизма государственно-частного партнерства, обеспечивающего производство вина несколькими участниками кластера в рамках единой государственной системы отслеживания оборота алкогольной продукции (ЕГАИС). Помимо этого, требуется формализация юридической, финансовой, технической, организационной, кадровой и прочих основ объединения малых хозяйств в кластер виноградарства и виноделия. Данную работу еще предстоит выполнить.

Отдельного рассмотрения заслуживает оценка расходов на маркетинг вне кластера и в его составе. Расходы на маркетинг могут сильно

варьироваться между производителями в зависимости от индивидуальной ценовой политики, целевой группы потребителей, региона продаж и т.д., однако и здесь возможна существенная оптимизация в случае общего организованного продвижения продукции всего кластера, в том числе в масс-маркете (сетевые магазины), благодаря синергии усилий и товарного объема [5, 30]. Во многом именно успешный маркетинг диктует высокую цену, с которой соглашается потребитель, приобретая вино определенного производителя. Это характерно в первую очередь для производителей из традиционных европейских и ставших модными мировых винных терруаров [24]. Касательно ситуации в России оценка Роскачества за 2022 год показала, что 60% потребителей выбирают вина стоимостью 300–700 рублей и лишь 6% отдают предпочтения винам стоимостью дороже 1500 рублей за бутылку [16]. Н. В. Алесина, Е. А. Понская и А. В. Кузьмин, проанализировав структуру цены бутылки вина в розничной сети, определили, что себестоимость составляет лишь 32,1% этой цены, прибыль производителя – 6,6%, остальная доля приходится на наценку торговых посредников и НДС [2]. Для сравнения, известное в Севастополе вино хозяйства UPPA Winery с собственных виноградников площадью 12 гектар продается по цене от 3 800 до 16 200 рублей/бутылка без торговых посредников, эксклюзивно через винодельню, фирменный магазин в Москве и избранных представителей в регионах (сайт UPPA Winery, без указания даты [31]). Хозяйство обосновывает высокую цену тем, что применяет уникальный для России биодинамический метод земледелия, уделяет большое внимание качеству производства и представлено харизматичным виноделом-собственником. Из этого примера следует, что вопрос повышения маржинальности винодельческого бизнеса может быть решен с помощью эффективного маркетинга. Экономико-управленческая оптимизация в рамках кластера позволяет, как было показано в исследовании, добиться переориентирования сил и средств инвестора в первую очередь на маркетинг.

Выводы

Проведенное на фактических данных исследование подтвердило гипотезу о том, что организация малого виноградарско-винодельческого бизнеса в Севастополе в составе бизнес-кластера может способствовать сокращению капитальных и текущих расходов этого предприятия. Количественно было показано, что как минимум на промежутке 10 лет с момента закладки виноградника выгода от аренды земельного участка площадью

20 гектар, винодельни для винификации винограда с этого участка, сельскохозяйственной техники и рабочих для ухода за виноградом состоит в том, что позволяет на 35% ускорить возврат вложенных инвестиций: с 10 лет до 6-7. Было отмечено, что, поскольку винодельческий бизнес – это долгосрочный бизнес со сроком продуктивной жизни плодоносящих лоз 35-45 лет (после чего возможно их обновление путем пересадки молодыми саженцами), то при кластерной организации самые крупные расходы в средства производства целесообразно исключить или отодвинуть на более поздний срок, чтобы сконцентрировать силы и средства инвестора на продвижении своей продукции. В данном исследовании, однако, не была подробно рассмотрена маркетинговая составляющая бизнеса малых винодельческих хозяйств, особенно в более долгосрочной перспективе, это требует отдельного исследования.

Были даны количественные значения получаемой выгоды от кооперации с резидентами кластера, предоставляющими услуги аренды кооперативной винодельни, сельскохозяйственной техники, бригад виноградарей. Знание об этом позволяет инвесторам заранее спланировать объем первоначального капитала и его движение по годам в зависимости от объемов и стоимости реализуемого вина. У инвестора возникает выбор: либо создавать собственную винодельню, либо арендовать кооперативную в течение 7 лет. В первом случае помимо финансовых трат потребуются учесть расходы на управление винодельней и ее персоналом, получение лицензии и организацией производственного процесса.

Поскольку винодельческих бизнес имеет множество слабо- и неконтролируемых рисков производства (климат, погода, болезни и вредители и т.д.) авторы предполагают, что норма средств, резервируемых на непредвиденные расходы, будет снижена в 4 раза при переходе на кластерную форму организации благодаря концентрации сил всех резидентов кластера, которые, согласно постулатам кластерной модели Портера [30], заинтересованы в снижении негативных факторов от наступления рискованных событий. Эта гипотеза требует отдельного изучения и количественного обоснования.

Таким образом, показаны перспективы кооперации малых винодельческих хозяйств, что особенно актуально для Севастополя и Республики Крым, где виноградарство и виноделие исторически являлись ключевыми отраслями сельского хозяйства и пищевой промышленности. Переход к новым формам снижения затрат и повышения эффективности может стать драйвером развития инвестиционных процессов региона.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности. Консультативную поддержку в части определения количественных и качественных показателей для исследования оказало ООО «Агентство виноградарства и энологии Клер», занимающееся с 2016 года закладкой и сопровождением малых виноградарско-винодельческих хозяйств.

Приложения

Таблица 1.

Параметры производительности винодельческого хозяйства
(в данном исследовании приняты неизменными, соответствуют целевым значениям отечественных хозяйств схожего объема производства).

Оценочная урожайность, кг/га (бутылок/га)	6 000
Отпускная цена на вино до 5-го года, руб./бут.	500
Отпускная цена на вино с 6-го года, руб./бут.	1 500

Источник: составлено авторами.

Таблица 2.

Стоимость и тарифы 2023 года на расходы по закладке винодельческого хозяйства полного цикла

№	Позиция	Что входит	Цена (стоимость или тариф)
1	Земельный участок	20 га	1 млн. руб./гектар
2	Подготовка почвы, закупка саженцев, посадка и первоначальный уход	–	1,5 млн. руб./га в течение 2 лет (включая саженцы по 2,5 Евро/шт. DDP ¹)
3	Шпалера	закупка и установка	1,2 млн. руб./га
4	Система орошения	закупка и установка	300 тыс. руб./га
5	Уход, включая агрохимию, обработки, уборку винограда	ФОТ ² на ручной и механизированный труд, ГСМ ³ , агрохимия	500 тыс. руб./га агрохимия составляет прибл. 13% от общих расходов на уход
6	Тракторы	1 общехозяйственный и 3 виноградных	общехозяйственный ~ 2 млн. руб./шт.; виноградный ~ 5 млн. руб./шт.
7	Прицепное и навесное тракторное оборудование	опрыскиватели, культиваторы, диски, сеялка, межкустовое оборуд. и др.	примерно соответствует стоимости тракторов
8	Контрактное виноделие	инфраструктура, оборудование и рабочее пространство, персонал, лицензия	350 руб./бутылка
9	Расходные материалы виноделия	дрожжи, препараты, пробка, этикетка, бутылка, дубовая бочка и др.	75 руб./бутылка

№	Позиция	Что входит	Цена (стоимость или тариф)
10	Проект винодельни	концепция, изыскания, документация для разрешения на строительство, рабочая документация	прибл. 6 млн. руб.
11	Строительство винодельни	—	прибл. 250 млн. руб.
12	ФОТ штата собственной винодельни	—	60 руб./бутылка
13	Маркетинг	—	не учитывался
14	Стоимость услуг консультанта	—	5% от всех проектных затрат в 0 год и 2,5% во все последующие

Источник: составлено авторами.

Примечания:

¹ условия доставки «Delivered, Duty Paid», что означает «доставлено, пошлина оплачена», т.е. с учетом всех накладных расходов при доставке товара до получателя

² фонд оплаты труда

³ горюче-смазочные материалы

Таблица 3.

Финансовый план закладки винодельческого хозяйства (при площади виноградника 20 гектар) в Севастополе и Крыму в ценах 2023 года

Категории расходов и доходов / График закладки хозяйства по годам		Сумма доходов и расходов на каждый год от начала закладки винодельческого хозяйства, тыс. руб.										Итого	Удельный вес расходов
		0 год	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7-9 год	10 год			
		Покупка участка и подготовка к посадке	Посадка винограда	Устройство шпалеры и орошения	Сигнальный урожай	2/3 промышленного плодоношения	Первый полноценный урожай	Повышение качества вина	-	-			
Инвестиции	И.1 закладка виноградника, шпалера, система орошения	-10 000	-20 000	-30 000	0	0	0	0	0	0	-60 000	7%	
	И.2 земельный участок, с/х техника и агрегаты, винодельня	-20 000	-11 000	-12 000	-66 000	-130 000	-40 000	-30 000	0	0	-309 000	35%	
Операционные расходы	О.1: уход за виноградом (вкл. агрохимию, обработку, уборку), кооперативная переработка и виноделие (в т.ч. расходные материалы)	0	0	-10 000	-20 200	-40 600	-61 000	-19 000	-57 000	-19 000	-226 800	26%	
	О.2: ФОТ штата собственной винодельни, маркетинг, привлечение консультанта	-1 500	-775	-1 300	-2 155	-4 265	-2 525	-8 605	-23 565	-7 855	-52 545	6%	

Категории расходов и доходов / График закладки хозяйства по годам		Сумма доходов и расходов на каждый год от начала закладки винодельческого хозяйства, тыс. руб.									
		0 год	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7-9 год	10 год	Итого
		Покупка участка и подготовка к посадке	Посадка винограда	Устройство шпалеры и орошения	Сигнальный урожай	2/3 промышленного плодоношения	Первый полноценный урожай	Повышение качества вина	–	–	Удельный вес расходов
Доходы	реализация вина, туризм ¹	0	0	250	12 300	36 300	60 500	180 500	541 900	181 000	1 012 750
Непредвиденные расходы 20%		-6 300	-6 355	-10 610	-15 211	-27 713	-8 605	-24 579	-92 267	-30 829	-222 469
Итого расходов		-37 800	-38 130	-63 910	-103 566	-202 578	-112 130	-82 184	-172 832	-57 684	-870 814
Сальдо		-37 800	-38 130	-63 660	-91 266	-166 278	-51 630	98 316	369 068	123 316	141 936
Сальдо с учетом инфляции 7,2%/год ²		-40 522	-40 875	-68 244	-97 837	-178 250	-55 347	91 237	342 495	114 437	
Нарастающий итог		-40 522	-81 397	-149 640	-247 478	-425 728	-481 075	-389 838	-47 343	67 095	

Источник: составлено авторами.

Примечание:

¹ План по туризму обозначен условным значением в связи с тем, что в Севастополе и Крыму туристский потенциал в настоящее время крайне ограничен и на ближайшие годы сложно-предсказуем. Более высокие доходы от туризма подразумевают соответствующие расходы на туристскую инфраструктуру и маркетинг, которые не рассматриваются в данном исследовании.

² Уровень инфляции взят по предварительной оценке годовой инфляции в России за 2023 год. Авторами принят грубый метод расчета и неизменный уровень инфляции на весь период планирования ввиду ее высокой волатильности за последние 10 лет.

Список литературы

1. Агентство Клер. (2024). URL: <https://cler.pro/> (дата обращения: 04.01.2025).

2. Алесина, Н. В., Посная, Е. А., & Кузьмин, А. В. (2021). Финансовые аспекты повышения эффективности производства винодельческой продукции в севастопольском регионе. *Финансовые исследования*, (2), 90–102. EDN: <https://elibrary.ru/RYRYWY>

3. Андреева, Т. А. (2023). Оценка роли институциональных механизмов в формировании и функционировании мезоэкономических систем на примере кластерных образований. *Журнал СВУ. Гуманитарные науки*, (10), 1743–1750. EDN: <https://elibrary.ru/GCJZFW>

4. Батракова, Л. Г. (2019). Формирование кластерно-сетевой экономики регионов. *Социально-политические исследования*, (4), 69–92. <https://doi.org/10.24411/2658-428X-2019-10549>. EDN: <https://elibrary.ru/SMEMRB>

5. Владимиров, Ю. Л., & Шерешева, М. Ю. (2012). Кластеры как основа роста конкурентоспособности на мировых рынках: пример винодельческой отрасли. *Журнал социологии и социальной антропологии*, (5), 211–226. EDN: <https://elibrary.ru/RCLUTZ>
6. Гайша, О. Д. (2020). Интеграция кластера и особой экономической зоны как инструмент повышения эффективности развития региональных экономических систем. *Вестник ГУУ*, (7), 96–102. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-96-102>. EDN: <https://elibrary.ru/TUSSCW>
7. Головин, В. А. (2017). Анализ факторов и потенциала развития экономических кластеров в Республике Марий Эл по видам экономической деятельности. *Экономика региона*, (4), 1068–1079. <https://doi.org/10.17059/2017-4-8>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXQKBJ>
8. Закшевский, В. Г., Меренкова, И. Н., Новикова, И. И., & Пархомов, Е. А. (2023). Устойчивое развитие сельских территорий: новый взгляд на оценку в контексте пространственной локализации. *Экономика региона*, (3), 1068–1079. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-3-6>. EDN: <https://elibrary.ru/VTDNJ>
9. Кружалин, В. И., Лукьяненко, Е. А., & Шабалин, А. Д. (2021). Кластерный подход в развитии винного туризма в России. *Современные проблемы сервиса и туризма*, 15(1), 61–69. <https://doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-61-69>. EDN: <https://elibrary.ru/WHGLYW> (дата обращения: 04.01.2025)
10. Кузьмин, А. В., & Алесина, Н. В. (2021). Энотуризм как драйвер развития винодельческой отрасли Севастополя. *Бизнес. Образование. Право*, (1), 124–129. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2021.54.129>. EDN: <https://elibrary.ru/YRJSA>
11. Курков, А. Д., & Степовенко, В. В. (2022). Тенденции развития виноградарства и виноделия в Российской Федерации. *Экономика и управление: теория и практика*, 8(4), 30–39. EDN: <https://elibrary.ru/WVQMTW> (дата обращения: 04.01.2025)
12. Курпатова, В. А. (2021). Инновационные системы агропромышленного комплекса на основе кластерного подхода. *Региональная и отраслевая экономика*, (3), 65–68. EDN: <https://elibrary.ru/YWBRY>
13. Лапыгин, Ю. Н., & Тулинова, Д. В. (2020). Условия формирования кластера. *Вестник ГУУ*, (7), 114–119. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-114-119>. EDN: <https://elibrary.ru/IQDMGR>
14. Петрушина, О. В., & Соловьева, Т. Н. (2014). Потенциал развития зернопроизводящих регионов на основе кластерного подхода. *Экономика и управление: научно-практический журнал*, (4), 34–37. EDN: <https://elibrary.ru/SJMVDL>
15. Ревун, И. В., & Пискун, Е. И. (2023). Организационно-экономические процессы развития виноградарства и виноделия Республики Крым и города

- Севастополя. *Экономика и управление: теория и практика*, 9(2), 57–64. EDN: <https://elibrary.ru/NBAGIT>
16. Российская система качества (Роскачество). (2023). *Рост продаж российского вина в категории «премиум»*. URL: <https://rskrf.ru/news/rost-prodazh-rossiyskogo-vina-v-kategorii-premium/> (дата обращения: 04.01.2025)
 17. Узун, Е. В., & Аблаев, Р. Р. (2022). Виноградарство и виноделие как развивающаяся отрасль агропромышленного комплекса Российской Федерации. *Экономика и управление: теория и практика*, 8(1), 80–87. EDN: <https://elibrary.ru/SQWINW>
 18. Федеральная служба по контролю за алкогольным и табачным рынками. (1995). *О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции* (№ 171-ФЗ). Москва, Россия. (дата обращения: 04.01.2025)
 19. Черемисинова, Д. В., & Воблая, Е. В. (2023). Основные факторы экономического роста предприятий винодельческой отрасли. *Актуальные вопросы учета и управления в условиях информационной экономики*, (5), 391–397. EDN: <https://elibrary.ru/NMWTIK>
 20. Шабалина, Н. В., & Пискун, Е. И. (2023). Эногастрономический туризм в экономике России. *Экономика и управление: теория и практика*, 9(4), 25–33. EDN: <https://elibrary.ru/EGDPJM>
 21. Alesina, N., Posnaya, E., & Kuzmin, A. (2021). Innovative wine products quality management system on Sevastopol region example. *E3S Web of Conferences*, 295, 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129501027>. EDN: <https://elibrary.ru/EAUOMQ>
 22. Ashenfelter, O., Gergaud, O., Storchmann, K., & Ziemba, W. (2018). *Handbook of the economics of wine. In Prices, Finance, and Expert Opinion*. World Scientific Publishing Co. Pte Ltd. <https://doi.org/10.1142/9834>
 23. Grinko, E., Alesina, N., & Kuzmin, A. (2022). Conditions, opportunities, and issues of actualizing the potential for developing viticulture and winemaking in current realities: the regional aspect of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(4), 297–334. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-297-334>. EDN: <https://elibrary.ru/OMZMIZ>
 24. Flint, D. J., Signori, P., & Golcic, S. L. (2016). *Contemporary Wine Marketing and Supply Chain Management*. Palgrave Macmillan Books, Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137492432>
 25. Kotliarov, I. D. (2022). Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia. *Russian Peasant Studies*, 7(4),

- 20–32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>. EDN: <https://elibrary.ru/LJKEEN>
26. Lamy, J. L. (2015). *The Business of Winemaking*. San Francisco, CA: Board and Bench.
27. International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2024). *Statistics Database*. URL: <https://www.oiv.int/what-we-do/statistics> (дата обращения: 04.01.2025)
28. Peyrefitte, J. (2020). Small California wine producers in 2019: an industry note. *Wine Business Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.26813/001c.22302>. EDN: <https://elibrary.ru/NZRABB>
29. Pirogova, O., Zasenkov, V., Semenenko, D., & Tihomirova, M. (2024). Analysis of ecotourism development prospects in the Northwest region. *BIO Web of Conferences*, 113, 06020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411306020>. EDN: <https://elibrary.ru/BFKRQH>
30. Porter, M. E. (1998). *On Competition*. Boston: Harvard Business School Press.
31. UPPA Winery. *Наша история, ценности, вина*. URL: <https://uppawinery.ru/> (дата обращения: 04.01.2025)

References

1. Kler Agency. (2024). Retrieved from: <https://cler.pro/> (accessed: 04.01.2025).
2. Alesina, N. V., Posnaya, E. A., & Kuzmin, A. V. (2021). Financial aspects of improving the efficiency of wine production in the Sevastopol region. *Financial Research*, (2), 90–102. EDN: <https://elibrary.ru/RYRYWY>
3. Andreeva, T. A. (2023). Assessing the role of institutional mechanisms in the formation and functioning of mesoeconomic systems: a case study of cluster formations. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences*, (10), 1743–1750. EDN: <https://elibrary.ru/GCJZFW>
4. Batrakova, L. G. (2019). Formation of cluster-network economy in regions. *Socio-Political Research*, (4), 69–92. <https://doi.org/10.24411/2658-428X-2019-10549>. EDN: <https://elibrary.ru/SMEMRB>
5. Vladimirov, Yu. L., & Sheresheva, M. Yu. (2012). Clusters as a basis for competitiveness growth in global markets: the case of the wine industry. *Journal of Sociology and Social Anthropology*, (5), 211–226. EDN: <https://elibrary.ru/RCLUTZ>
6. Gaisha, O. D. (2020). Integration of a cluster and a special economic zone as a tool for enhancing the efficiency of regional economic systems development. *Vestnik GUU*, (7), 96–102. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-96-102>. EDN: <https://elibrary.ru/TUSSCW>
7. Golovin, V. A. (2017). Analysis of factors and potential for developing economic clusters in the Republic of Mari El by economic activity type. *Economy*

- of Region, (4), 1068–1079. <https://doi.org/10.17059/2017-4-8>. EDN: <https://elibrary.ru/ZXQKBJ>
8. Zakshevsky, V. G., Merenkova, I. N., Novikova, I. I., & Parkhomov, E. A. (2023). Sustainable development of rural areas: a new approach to assessment in the context of spatial localization. *Economy of Region*, (3), 1068–1079. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-3-6>. EDN: <https://elibrary.ru/VTDNII>
 9. Kruzhalin, V. I., Lukyanenko, E. A., & Shabalin, A. D. (2021). Cluster approach in the development of wine tourism in Russia. *Modern Problems of Service and Tourism*, 15(1), 61–69. <https://doi.org/10.24412/1995-0411-2021-1-61-69>. EDN: <https://elibrary.ru/WHGLYW> (accessed: 04.01.2025)
 10. Kuzmin, A. V., & Alesina, N. V. (2021). Enotourism as a driver for the development of the wine industry in Sevastopol. *Business. Education. Law*, (1), 124–129. <https://doi.org/10.25683/VOLBI.2021.54.129>. EDN: <https://elibrary.ru/YJRJSA>
 11. Kurkov, A. D., & Stepovenko, V. V. (2022). Trends in the development of viticulture and winemaking in the Russian Federation. *Economics and Management: Theory and Practice*, 8(4), 30–39. EDN: <https://elibrary.ru/WVQMTW> (accessed: 04.01.2025)
 12. Kurpatova, V. A. (2021). Innovative systems of the agro-industrial complex based on the cluster approach. *Regional and Sectoral Economics*, (3), 65–68. EDN: <https://elibrary.ru/YWBRY>
 13. Lapygin, Yu. N., & Tulinova, D. V. (2020). Conditions for cluster formation. *Vestnik GUU*, (7), 114–119. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2020-7-114-119>. EDN: <https://elibrary.ru/IQDMGR>
 14. Petrushina, O. V., & Solovyova, T. N. (2014). Development potential of grain-producing regions based on the cluster approach. *Economics and Management: Scientific and Practical Journal*, (4), 34–37. EDN: <https://elibrary.ru/SJMVDL>
 15. Revun, I. V., & Piskun, E. I. (2023). Organizational and economic processes in the development of viticulture and winemaking in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol. *Economics and Management: Theory and Practice*, 9(2), 57–64. EDN: <https://elibrary.ru/NBAGIT>
 16. Russian Quality System (Roskachestvo). (2023). Growth in sales of Russian wine in the “premium” category. Retrieved from: <https://rskrf.ru/news/rost-prodazh-rossiyskogo-vina-v-kategorii-premium/> (accessed: 04.01.2025)
 17. Uzun, E. V., & Ablaev, R. R. (2022). Viticulture and winemaking as a developing sector of the agro-industrial complex of the Russian Federation. *Economics and Management: Theory and Practice*, 8(1), 80–87. EDN: <https://elibrary.ru/SQWINW>
 18. Federal Service for Alcohol and Tobacco Market Regulation. (1995). *On state regulation of the production and circulation of ethyl alcohol, alcoholic and al-*

- cohol-containing products and on limiting the consumption (drinking) of alcoholic products (No. 171-FZ). Moscow, Russia. (accessed: 04.01.2025)*
19. Cheremisinova, D. V., & Voblaya, E. V. (2023). Main factors of economic growth for enterprises in the wine industry. *Topical Issues of Accounting and Management in the Information Economy*, (5), 391–397. EDN: <https://elibrary.ru/NMWTIK>
 20. Shabalina, N. V., & Piskun, E. I. (2023). Eno-gastronomic tourism in the Russian economy. *Economics and Management: Theory and Practice*, 9(4), 25–33. EDN: <https://elibrary.ru/EGDPJM>
 21. Alesina, N., Posnaya, E., & Kuzmin, A. (2021). Innovative wine products quality management system on Sevastopol region example. *E3S Web of Conferences*, 295, 01027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129501027>. EDN: <https://elibrary.ru/EAUOMQ>
 22. Ashenfelter, O., Gergaud, O., Storchmann, K., & Ziemba, W. (2018). *Handbook of the economics of wine. In Prices, Finance, and Expert Opinion*. World Scientific Publishing Co. Pte Ltd. <https://doi.org/10.1142/9834>
 23. Grinko, E., Alesina, N., & Kuzmin, A. (2022). Conditions, opportunities, and issues of actualizing the potential for developing viticulture and winemaking in current realities: the regional aspect of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(4), 297–334. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-297-334>. EDN: <https://elibrary.ru/OMZMIZ>
 24. Flint, D. J., Signori, P., & Golcic, S. L. (2016). *Contemporary wine marketing and supply chain management*. Palgrave Macmillan Books, Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137492432>
 25. Kotliarov, I. D. (2022). Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia. *Russian Peasant Studies*, 7(4), 20–32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>. EDN: <https://elibrary.ru/LJKEEN>
 26. Lamy, J. L. (2015). *The business of winemaking*. San Francisco, CA: Board and Bench.
 27. International Organisation of Vine and Wine (OIV). (2024). *Statistics Database*. Retrieved from: <https://www.oiv.int/what-we-do/statistics> (accessed: 04.01.2025)
 28. Peyrefitte, J. (2020). Small California wine producers in 2019: an industry note. *Wine Business Journal*, 4(1). <https://doi.org/10.26813/001c.22302>. EDN: <https://elibrary.ru/NZRABB>
 29. Pirogova, O., Zasenkov, V., Semenenko, D., & Tihomirova, M. (2024). Analysis of ecotourism development prospects in the Northwest region. *BIO Web of Conferences*, 113, 06020. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411306020>. EDN: <https://elibrary.ru/BFKRQH>

30. Porter, M. E. (1998). *On competition*. Boston: Harvard Business School Press.
31. UPPA Winery. *Our history, values, wines*. Retrieved from: <https://up pawinery.ru/> (accessed: 04.01.2025)

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Намханова Маргарита Валентиновна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры «Государственное и муниципальное управление», Институт развития города
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
mv_namhanova@bk.ru

Алесина Наталья Валентиновна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Финансы и кредит»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
alesina_nv@mail.ru

Гринько Елена Леонидовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Финансы и кредит»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
grnk.elena@gmail.com

Кузьмин Андрей Валерьевич, аспирант кафедры «Финансы и кредит»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
ak7556699@gmail.com

Шалковская Наталия Алексеевна, аспирант кафедры «Туризма, сервиса и гостиничного бизнеса»
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
nataliashalk@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Margarita V. Namkhanova, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

mv_namkhanova@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2273-9036>

Scopus Author ID: 57208556218

Natalia V. Alesina, Ph.D. in Economics (Cand. of Ec. Sc.), Associate Professor

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

alesina_nv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5822-9877>

Scopus Author ID: 57208546728

Elena L. Grinko, Ph.D. in Economics (Cand. of Ec. Sc.), Associate Professor

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

grnk.elena@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4646-1334>

Scopus Author ID: 57210746260

Andrey V. Kuzmin, Postgraduate Student of the Department of Finance and Credit

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

ak7556699@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6933-0196>

Scopus Author ID: 57221330033

Natalia A. Shalkovskaya, Postgraduate Student of the Department of Tourism,

Service and Hotel Business

Sevastopol State University

33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation

nataliashalk@yandex.ru

Поступила 30.01.2025

После рецензирования 05.03.2025

Принята 14.04.2025

Received 30.01.2025

Revised 05.03.2025

Accepted 14.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1163

EDN: OUHYJK

UDC 631.9:631.17:338.43



Original article

LONG-TERM PLANS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN JAPAN

O.N. Emelyanova, D.A. Shcherbakov

Abstract

The paper is focused on the agricultural problems in Japan, precisely on the issue of sustainable agriculture. The sector contributes less than 1% to Japan's GDP (27% comes from the industry and 73% from the service sector), which is a small share like in other developed countries, however the role of agriculture in Japan is very high in terms of the national security aspects. The analyzed data is collected from the Japanese databases and original documents produced by the Japanese government. The research comes to the conclusion that the ideas of sustainable agriculture had started to germinate in Japan earlier than the SDGs appeared. The goals targeted in the official documents are ambitious, but the achievements are not as good. The programs are mainly focused on food supply security aspects, but the environmental problems are left aside. Finally, pesticides and chemical fertilizers are still highly used in the country.

Keywords: Japan; agriculture; sustainable development; Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries; Sustainable Development Goals; SDGs

For citation. Emelyanova, O. N., & Shcherbakov, D. A. (2025). Long-term plans for sustainable agricultural development in Japan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 562-580. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1163>

Научная статья

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЛАНЫ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В ЯПОНИИ

О.Н. Емельянова, Д.А. Щербakov

Аннотация

Статья посвящена проблемам сельского хозяйства в Японии, в частности, вопросу устойчивого развития. Доля этого сектора в ВВП Японии незначи-

тельна и составляет менее 1% (27% приходится на промышленность, 73% – на сферу услуг), что характерно и для других развитых странах. Однако с точки зрения национальной безопасности роль сельского хозяйства в Японии крайне высока. Информация, которая анализируется в статье, была собрана из японских статистических баз и исходных документов, подготовленных японским правительством. На основании исследования сделаны выводы о том, что идеи устойчивого сельского хозяйства начали зарождаться в Японии раньше, чем были сформированы ЦУР. В целом, цели, поставленные в официальных документах, амбициозны, но степень их реализации не соответствует ожиданиям. Программы в основном сосредоточены на продовольственной безопасности, но экологические проблемы остаются без должного внимания. Пестициды и химические удобрения продолжают по-прежнему широко применяться.

Ключевые слова: Япония; сельское хозяйство; устойчивое развитие; Министерство сельского хозяйства, лесных угодий и рыбного промысла Японии; цели устойчивого развития; ЦУР

Для цитирования. Емельянова, О. Н., & Щербаков, Д. А. (2025). Долгосрочные планы по устойчивому развитию сельского хозяйства в Японии. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 562-580. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1163>

Introduction

Agriculture development in Japan is being under observation of analytics both from Japan and abroad as it is one of the most important issues of national security. Most of the research documents in Japan are produced by the government institutions, mainly by Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), and there are much less materials published by the domestic academic scientists. Among the leading researchers there are Nobuhiro Suzuki, Toshiko Takeya and Ryoichi Yamamoto. They are mainly taking the social format topics, and less cover the actual problems of Japanese national security in agriculture [33]. Similar questions are raised by Hiroda Oguchi. The researcher also represents the variety of new farmers and organic farming case in order “to narrow the physical and psychological gap between food and agriculture spheres”. One more attractive topic discussed in the book covers “off-market distribution” opportunities [24].

But the most contemporary and detailed materials, which take into consideration fundamental questions, are presented in the Journal “Agricultural Development in Japan” prepared by the Japanese Agricultural Journalists Association. Some of the authors are Japanese officials, like Hiroyuki Suematsu, who was a Vice-Minister of Agriculture, Forestry and Fisheries, and Toru Nakaya, who

was a Chairman of Central Union of Agricultural cooperatives. This journal presents the most essential materials on the present Japanese agricultural sector development. The issue covered one of the most core problems – “The increasing food shortage in Japan” [39].

Among the Russian researchers the most prolific on the topic is S.B. Markar'yan. The scientist researched the central issue, which is the role of the government support in the development of agriculture, e.g. subsidies and import tariffs measures, and gave the historical overview of the agricultural development in Japan [1-3]. Since the neoliberal agenda has been introduced in Japan, the problem of regulation measures relief has been well analyzed [4]. The topic was also under the discussion of the scientists V.A. Popov, N.M. Bragina, S.B. Markar'yan during the Soviet period.

In the English language literature, the topic has been analyzed even deeper. There is a variety of papers starting from traditional rice and agricultural policies problems [11], ending up with the more fundamental works on food security [16, 17, 10]. There are also articles, which demonstrate the efforts of the Japanese government to provide Green Transformation. On the base of the targets fixed by the government the researchers come to the conclusion that “the insights gathered from Japan’s experience... can provide valuable furnishing guidance for developing nations aspiring to establish their own sustainability programs and goals” [6]. But the conclusions have to be more accurate as the targeted goals are too far from being achieved within the fixed period, and the problem of highly used fertilizes still remains big.

Although there are many publications covering this topic, the facts are changing more rapidly than information flows across the border. It means that the most actual and up-to-date resources for analysis of the present food security policy are still the documents of the Japanese official institutions. That is why the bases for this research became the materials and documents of Japanese Ministries and Agencies.

Purpose. The goal of the research is to identify the prospects of development of agriculture in Japan from the point of view of sustainable development goals.

Methods and materials

The paper is based on academic literature, official policy documents and statistical data on Japanese agriculture available from open sources. Methods of statistical analysis were applied to these data.

Findings. The research demonstrates that the ideas of sustainable agriculture had started to germinate in Japan earlier than the SDGs were formulated. The goals of sustainable agriculture development in Japan targeted in the offi-

cial documents are ambitious, but the results are not as good. The government programs are mainly focused on food supply security aspect, which is an important issue for the Japanese social security, but the environmental problems are left aside. They are under discussion, but the implemented measures are not enough. Moreover, pesticides and chemical fertilizers are still remained highly in use in Japan, as the newly introduced productivity increased methods are not effective enough to allow local farmers to abandon their traditional methods of increasing the productivity of their farms.

The institutional foundation of sustainable agriculture in Japan

The transformation of socio-economic paradigm reflected in strategy “Society 5.0” is unable to avoid the agricultural sector. It is evident that the new standards should be implemented in all spheres in order to avoid structural imbalances and to achieve sustainable economic development of the country. The principles of circular economy (in jap. “Sound material-cycle society” term is used) are the integral part of the new approach in order to reduce the burden on the environment and to achieve sustainable agriculture.

Since the United Nations adopted “Sustainable Development Goals (SDGs)” at the Summit 2015, as a part of the 2030 Agenda for Sustainable Development, the domestic efforts for the SDGs in Japan have steadily expanded with a high level of government initiative.

In May 2016, the “SDGs Promotion Headquarters” was established, headed by Prime Minister and accompanied with the Chief Cabinet Secretary and Minister of Foreign Affairs as the deputies, and all other ministers as the members. The organization takes a leading role in implementing the SDGs in Japan. To guide Japan’s efforts the Headquarters developed the “SDGs Implementation Guiding Principles”, which were based on the decisions made at the “SDGs Promotion Roundtable Meeting” organized in December 2016, where a wide range of stakeholders (the government, NGO/NPOs, experts, private sector international organizations and etc.) participated [13].

The principles of circular agriculture and environment protection agriculture can be found in Japan even earlier. In the “Basic Concept of Sustainable Agriculture”, published in April 1994 by the Department of Sustainable Agriculture Development of MAFF, environment-friendly agriculture is formulated as “sustainable agriculture that takes advantage of the material cycle function of agriculture, pays attention to harmony with productivity, and considers reducing the burden on the environmental due to the use of chemical fertilizers and pesticides through soil preparation” [26].

Today the department, which implements measures of sustainable agriculture is the Sustainable Agriculture Division of the Agricultural Production Bureau at the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries [21]. The activities of the division can be divided into 4 main groups: (1) direct payments for environmentally friendly agriculture, (2) organic agriculture promotion (3) activities against Global Warming, (4) Promotion of “good agricultural practices” (GAP).

Challenges and sustainable agriculture measures promotion

One of the central documents which is targeted to regulate sustainable agriculture in Japan is “MIDORI Strategy for sustainable food systems” [40], sometimes it is also called “Measures for achievement of Decarbonization and Resilience with Innovation (MeaDRI), (in English language literature). It was developed by MAFF in 2021. The Japan Crop Protection Association (JCPA) views MeaDRI as an innovation-driven and mid- to long-term strategy.

If we put together the main targets set in the document, there is the following list:

- zero CO₂ emissions from fossil fuel combustion in the agriculture, forestry and fisheries (by 2050)
- 50% reduction in risk-weighted use of chemical pesticides by dissemination of the Integrated Pest Management and newly developed alternatives (by 2050)
- 30% reduction in chemical fertilizer use (by 2050)
- increase in organic farming to 1Mha (equivalent to 25% of farmland) (by 2050)
- at least 30% enhancement in the productivity of the food manufacturers (by 2030)
- sustainable sourcing for import materials (by 2030)
- above 90% usage of superior variety of alternatives and F1 plus trees in forestry seedling (by 2050)
- 100% usage of artificial seedling rates in aquaculture of Japanese eel, Pacific bluefin tuna, and etc. (by 2050)

Direct payments for environment-friendly agriculture

In order to promote sustainable agriculture, the government started to create special budgets since 2011. In combination with efforts to reduce chemical fertilizers and synthetic pesticides by 50% or more these special budgets are highly effective in preventing global warming and preserving biodiversity [27]. Since 2015 the direct payments to the farmers started, based on the “Act on Multi-functional Promotion of Agriculture” (Act No. 78, 2014) [27]. There is also a tendency for the amount of the environment reserve agriculture budget to grow.

Table 1.

Environmental conservation-type agriculture direct payment subsidies in Japan

	Number of cases	Area (ha)	Subsidy amount (million yen)
2023	3 245	86 545	4 826
2022	3 163	82 803	4 605
2021	3 144	81 743	4 502
2019	3 479	79 839	4 543
2017	3 822	89 082	4 587
2015	4 081	74 180	4 213
2013	15 240	51 114	3 082
2012	12 985	41 439	2 996
2011	6 622	17 009	1 331

The area covered by the direct payment subsidy for environment friendly agriculture in 2023 provided by the MAFF was approximately 87,000 ha (Table 1 [28]). Starting from the initial 2011 year the territory has increased significantly. The amount of payment has also increased and achieved the amount almost up to 5000 million yen. Although the general structure of current subsidies is stabilized from around 2015 that was the year when the number of projects was extremely reduced.

The direct payments for farmers are classified by their effectiveness in two objectives: in “preventing global warming” (applying compost, planting cover crops, interplant living mulch) and “preserving biodiversity” (organic farming, biotope, which is providing habitats for aquatic organisms by filling some parts of the paddy field with water, filling a paddy field with water in winter, that secures a watering period of more than 2 months) (Table 2 [9]).

Table 2.

Granted amounts of payments for common national activities in Japan

Subject of activities		Granted amounts of payments
Organic farming	Farm products except coarse cereals (e.g., buckwheat) and forage crops	12,000 yen/10a
	When you do organic farming with effective soil carbon sequestration ¹ , 2,00 yen/10a is added.	
	Coarse cereals (e.g., buckwheat) and forage crops	3,000 yen/10a

¹ Organic farmers shall introduce one of the following options and conduct soil tests: 1) applying compost, 2) planting cover crops, 3) living mulch, 4) sod culture.

Applying compost	4,400 yen/10a
Planting cover crops	6,000 yen/10a
Living mulch (wheat, barley, and Italian ryegrass)	5,400 yen/10a (3200 yen/10a)
Sod culture	5,000 yen/10a
No-tillage farming ²	3,000 yen/10a
Extending midseason drainage ³	800 yen/10a
Autumn plowing ⁴	800 yen/10a

According to the survey of effects on the prevention of global warming provided by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF), published in 2023 [41], the result of the activities provided for the period 2020-2023 greenhouse gases emissions have been cut by 170,048 tons of CO₂ equivalent per year. It is approximately 0,016% of the total emission in Japan in 2022 (1 085 000 kt) [22].

Survey of the results of the activities on the biodiversity preservation were also found effective. In case of the organic farming, winter flood control and Integrated Pest management (IPM) fields indicator organism score was found about 4.0. In case of conventional cultivation fields indicator organism score is lower, it is slightly higher than 2.5 [9].

Measures to prevent Global Warming

Concerning Greenhouse gas emission, Japan has quite a low level which has a tendency to decrease. It was about 1150 million tons of carbon dioxide equivalent (Mt CO₂ eq.) in 2020, that is 5.1% down compared to 2019 [15]. At the same time most of the emissions come from energy production, rather than agriculture. According to the information provided by Japan Center for Climate Change Actions, Japan produced only 3.2% of the world total in 2018 [34]. The share of agriculture and forestry industry was only 4% of the Japanese CO₂ emissions while the world average number is 24% [29]. However, Japan is ranked fifth among the countries that emit the most CO₂ in the world, following China, the U.S., India and Russia [5].

² No-tillage farming refers to the activity in which the ridge lows of the previous crop are used and the seeds are sown by a non-tillage seeder that cultivates only the part of the ridge lows to sow.

³ Extending midseason drainage is the activity to dry the surface of a paddy field by draining water for more than 14 days in the middle of growing rice.

⁴ Autumn plowing is the activity of plowing a paddy field after harvest. Flooding the paddy field shall be done four months after plowing.

Table 3.

Emission of Greenhouse Gases (in million tons of CO₂ equivalent)

Greenhouse Gases	2010	2015	2018	2019	2020	2021
Total	1 303	1 321	1 247	1 212	1 147	1 170
Carbon dioxide	1 217	1 226	1 146	1 108	1 042	1 064
Methane	31.9	29.2	28.6	28.4	27.4	27.4
Nitrous oxide	22.2	20.7	20.1	19.8	19.7	10.5
Hydro fluorocarbons	12.3	39.3	47.0	49.7	52.2	53.6
Per fluorocarbons	4.3	3.3	3.5	3.4	3.5	3.2
Sulphur hexafluoride	2.4	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
Nitrogen trifluoride	1.5	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4

In 2021 the Prime Minister Cabinet approved the Plan for Global Warming Countermeasures and introduced a new target of reducing the greenhouse gas emissions by 46% (compared to fiscal 2013) by fiscal 2030. However, it seems that efforts are insufficient to achieve the goal (Table 3 [7-8]). According to the Green Food System Strategy guidelines, developed by MAFF, carbon dioxide (CO₂) emissions in the agriculture and fisheries sectors should be reduced virtually to zero by 2050 [25], but this goal is not achievable either.

One more ambitious initiative is the development of renewable energy, which is being actively introduced in agricultural industry. The initiative solves a variety of challenges, it reduces the burden both on the farmers' electricity bills and on the environment, making the shift from traditional energy sources to "green" ones.

The initiative is provided on the base of the "Act on Promoting the Generation of Electricity from Renewable Energy Sources Harmonized with Sound Development of Agriculture, Forestry and Fisheries" (Act No. 81, 2015) [35], which was enacted by the Diet in December 2013. The trigger for the Law turned to be the Fukushima nuclear plant incident caused by the 2011 Great East Japan Earthquake. The energy crisis emphasized the importance of decentralized power generation, and renewable energy introduction seemed to be the way out. The document was last time revised in July 2019.

The Basic Energy Plan, renewed in October 2021, indicates a target of boosting renewable energy's share of total power generation to 22-24% by FY2030. The share in FY2019 rose by 1.2 percentage points from the previous year to the level of 18% [23]. The government also sets the target to double the economic scale of the districts that make efforts to develop local agriculture, forestry and fisheries by utilizing renewable energy from 2018 (30 billion yen) till 2023 (60 billion yen). The registered one-year growth was 7.5 billion yen, reaching 37 billion yen in 2019 [36].

The number of renewable energy power generation facilities in agricultural and rural development projects is also steadily growing (Figure 1 [32]). The increase happens both in farm-type solar power generation, in which a pillar is set up on the farmland and a solar power generation facility is installed in the upper space to generate power while continue farming (in 2019 increased to 560ha, by 147ha from the previous year), and in the number of agricultural land conversion for installing equipment (in FY2019 increased to 1,992 items, by 481 items from the previous year) [32].

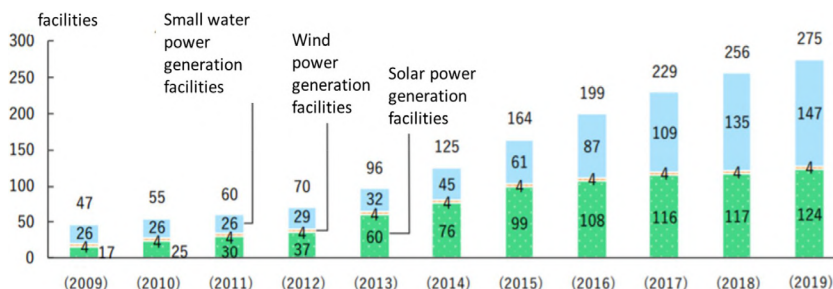


Fig. 1. The number of renewable energy power generation facilities in agricultural and rural development projects (2009-2019)

Organic agriculture promotion

Another important issue is chemical fertilizers, as Japan is heavily dependent on them. The amount used in Japan in 2008 was 259 kg/ha, which was higher than across most of the developed countries. The UK uses 20% less, Germany – 39% less, France – 47% less. Only South Korea consumes by 64% more chemical fertilizers per hectare than Japan [38]. Concerning the amount of chemical fertilizers used as a whole, Japan is ranked 5th worldwide (0.5%), following India (16.2%), Brazil (10.2%), the U.S. (9.9%) and Indonesia (3.3%) [37]. The amount of chemical fertilizers used in 2016 was 900,000 tons and it is expected to be reduced to 720,000 and 630,000 tons in 2030 and 2050 respectively [25].

Government realizes that heavy dependency on the chemical fertilizers prevents industry from long-term land productivity and potentially negatively affects both soil itself and nature in general through pollution of the nature. In order to reduce the burden on the environment, especially in terms of pesticides and chemical fertilizers usage, MAFF encourages farmers to follow the requirement for receiving subsidies from April 2024. From 2027 onwards, the government is considering expanding these efforts to all subsidies and checking

whether the information, filled in by the farmers, corresponds to the actual state of things. The official government target is to reduce the use of pesticides by 50% and chemical fertilizers by 30% by 2050. In 2022, the program's funding grew to 2.9 billion yen (USD 25.4 million) [31].

Japanese Agricultural Standards (JAS) for organically grown plants and organic processed foods of plant origin were first established in 2000, along with the Codex Alimentarius Commission's adoption of the Guidelines for the Production, Processing, Labeling, and Marketing of Organically Produced Foods [14]. In the case of organic agriculture, they have a guideline called "Japanese Agricultural Standard for Organic Plants" [19].

Another initiative introduced by MAFF is the promotion of organic agriculture hubs by creating examples. One of them is the hub in Izumi City, Chiba Prefecture, where experienced organic farmers have been educating students and developing a supply chain for organic rice and vegetables for school lunches since 2018. Nevertheless the results are quite poor with the organic cultivation area increase of 0.1% of the total cultivated land during the period from 2018 to 2021 (from 24,000 ha to 26,600 ha out of 4.3 million hectares) [12].

Water conservation is another challenge for sustainable agriculture in Japan, connected with fertilizers problem. As most of the Japanese agricultural production consist of irrigated paddy fields, it is responsible for consuming approximately 65% of the country's water resources [12]. In the study released in 2000 agriculture was responsible for around 11–17% of pollution in four major lakes in Japan (Lake Biwa, Lake Kasumigaura, Lake Inbanuma, and Lake Suwa) [12]. The usage of slow-release fertilizers brought positive results in an approximately 19.6% decrease in the nitrogen load running off into water bodies, such as Lake Biwa.

Promotion of good agriculture practices

"GAP is a set of management activities of agricultural production process to ensure sustainability in agriculture by five components": food safety, environmental conservation, worker safety, protection of human rights, and farm management [20].

The specific approach of developing simple steps in order to provide institutional changes is reflected in the development of GAP. Dissemination of GAP is provided in two steps: "implementation" and "acquisition of certification". The first one is expected to contribute to better farm management. The second one means that the farmers are audited and proved with a certificate by third party institutions (namely certification bodies complying with the ISO/IEC 17065

standard). “Acquisition of GAP certification” is a step to expand sales channel by ensuring the credibility of the products through visualizing their farm practices.

The GAP certification in Japan has a growing trend. It increased from 4581 farmers in 2017 to 7979 farmers in 2022 [20]. Though the trend is a growing one, the result seems to be quite poor (0.6%), if we take into consideration the number of farmers (1,23 million farmers in 2022) [18].

One more challenge for the country is a reduction of food waste. The amount of food loss and waste generated by businesses and households has been reducing in Japan over the last decade, but the rates are quite low. The estimated amount of food waste generated in 2018 was approximately 25.31 million tons, of which 6 million tons were thrown away despite being edible (Table 4 [42]).

Table 4.

The estimated amount of Food Loss and Waste (million tons)

	FLW excluding inedible portion			FLW including inedible portion		
	Total	Business	Households	Total	Business	Households
2022	4,72	2,36	2,36	-	-	-
2021	5,23	2,79	2,44	-	-	-
2020	5,22	2,75	2,47	-	-	-
2019	5,70	3,09	2,61	-	-	-
2018	6,00	3,24	2,76	25,31	17,65	7,66
2017	6,12	3,28	2,84	25,50	17,67	7,83
2016	6,43	3,52	2,91	27,59	19,70	7,89
2015	6,46	3,57	2,89	28,42	20,10	8,32
2014	6,21	3,39	2,82	27,75	19,53	8,22
2013	6,32	3,30	3,02	27,97	19,27	8,70
2012	6,42	3,31	3,12	28,01	19,16	8,85

Waste reduction activities are regulated on the base of the “Act on Promotion of Food Loss and Waste Reduction”, introduced in October 2018. It sets the goal to reduce food loss based on the SDGs by 2030 in two times compare to 2000. Some of the efforts of this initiative are prolongation of delivery deadline, expiration date extension, improvement of demand forecast accuracy.

But as we could see in the paper the results are not up to the plans.

Conclusion

The latest tendency of the policies provided by the Japanese government is targeted at the introduction of sustainable development principles, and agriculture is not an exception, as all the spheres of socio-economic system should be balanced to each other. But sustainable agriculture in Japan is not strictly based

on SDGs, developed by the United Nations in 2015. The ideas have a strong Japanese background, and some of the approaches have started to be adopted even earlier. The policy targeted at sustainable agriculture is mainly developed by MAFF and fixed in a range of documents, published by the Ministry.

The turning point in the sustainable agriculture strategy development happened in 2021, when “MIDORI Strategy for sustainable food systems” was published. The document puts together all the elements of the environment protection policy and sets the targets for 2030 and 2050 in all the fields of sustainable agriculture.

Though the government keeps an eye on the problems and there are evident positive shifts, the measures provided are not enough to achieve the goals within a targeted period. The main focus is made on social and food supply security aspects, but the environmental problems are left at the backyard. The most complicated issue is high-level reliance on pesticides and chemical fertilizers.

References

1. Markaryan, S. B. (2017). Import substitution in Japan's agricultural sector. *Japanese Studies*, (1), 46–59. Retrieved from: <https://www.japanjournal.ru/jour/article/view/151/145> (accessed: 26.05.2022)
2. Markaryan, S. B. (2009). The issue of food security in new economic conditions. In *World crisis and Japan* (I. P. Lebedev & S. B. Markaryan, Eds.). Moscow: AIRO XXI, 99–121
3. Markaryan, S. B. (2007). Agricultural cooperation in Japan: challenges and prospects. *Yearbook Japan*, 36, 131–147. Retrieved from: <https://www.yearbookjapan.ru/jour/article/view/84/85> (accessed: 25.03.2022)
4. Milovidov, V. D., & Asker Zade, N. V. (2020). Protectionism 2.0: the new reality of the globalization era. *World Economy and International Relations*, 64(8), 37–45. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-8-37-45>
5. Blokhin, A. (2024). *The 5 countries that produce the most carbon dioxide (CO₂)*. Investopedia. Retrieved from: <https://www.investopedia.com/articles/investing/092915/5-countries-produce-most-carbon-dioxide-co2.asp> (accessed: 06.09.2024)
6. Bosquerolli, M. (2025). Evolution of sustainable development in Japan: from historical foundations to green transformation. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 43(3), 54–65
7. Statistics Bureau of Japan. (2022). Chapter 17, Environment. In *Japan Statistical Yearbook 2022*. Retrieved from: <https://www.stat.go.jp/english/data/nenk-an/71nenkan/index.html> (accessed: 02.09.2024)
8. Statistics Bureau of Japan. (2024). Chapter 17, Environment. In *Japan Statistical Yearbook 2024*. Retrieved from: <https://www.stat.go.jp/english/data/nenk-an/73nenkan/index.html> (accessed: 02.09.2024)

9. MAFF. *Direct payments for environmentally friendly agriculture*. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/directpay.html> (accessed: 02.09.2024)
10. Emelyanova, O. N. (2024). Japan's agricultural policy towards food security improvement: key strategies, initiatives and outcomes. *Vostok. Afro-Aziatskie obshchestva: istoriia i sovremennost [Oriens. African-Asian societies: history and modernity]*, (1), 153–164. <https://doi.org/10.31857/S086919080029514-2>
11. Freiner, N. L. (2019). *Rice and agricultural policies in Japan: the loss of traditional lifestyle*. London: Palgrave Macmillan, 197 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91430-5>
12. Fuhrmann Aoyagi, M., Miura, K., & Watanabe, K. (2024). Sustainability in Japan's agriculture: an analysis of current approaches. *Sustainability*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020596>
13. MOFA. *Government's efforts*. Retrieved from: <https://www.mofa.go.jp/policy/oda/sdgs/effort/index.html> (accessed: 25.03.2022)
14. FAO. (1999). *Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods*. Retrieved from: https://www.fao.org/input/download/standards/360/cxg_032e.pdf (accessed: 28.08.2024)
15. Ministry of Environment. (2022). *Japan's national greenhouse gas emissions in fiscal year 2020 (final figures)*. Retrieved from: <https://www.env.go.jp/en/headline/2599.html> (accessed: 03.09.2024)
16. Lama, P. (2017). Japan's food security problem: increasing self-sufficiency in traditional food. *IndraStra Global*, 3(7). Retrieved from: <http://www.indras-tra.com/2017/07/Japan-s-Food-Security-Problem-Increasing-Self-Sufficiency-in-Traditional-Food-003-07-2017-0029.html> (accessed: 15.02.2022)
17. Niehaus, A., & Walravens, T. (2017). *Feeding Japan: the cultural and political issues of dependency and risk*. London: Palgrave Macmillan, 551 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50553-4>
18. Statista. (2024). *Number of core persons engaged in the farming industry in Japan from 2005 to 2023*. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/1289069/japan-number-person-engaged-farming/> (accessed: 09.09.2024)
19. MAFF. *Organic JAS*. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/e/policies/standard/specific/organic_JAS.html (accessed: 28.08.2024)
20. MAFF. (2023). *Promotion of GAP in Japan*. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/attach/pdf/promogap-6.pdf> (accessed: 09.09.2024)
21. MAFF. *Sustainable agriculture*. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/> (accessed: 09.09.2024)
22. Ministry of Environment. (2024). *2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について [Publication of the Japan's greenhouse gas emissions and ab-*

- sorption in FY2022]. Retrieved from: https://www.env.go.jp/press/press_03046.html (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
23. METI. (2021). エネルギー基本計画 [The basic plan of energy development]. Retrieved from: <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> (accessed: 28.05.2022). (In Japanese)
24. Oguchi, H. (2021). 日本の食と農の未来 「持続可能な食卓」を考える [Thinking about the future of Japanese food and agriculture: sustainable dining table]. Kōbunsha, 248 p. (In Japanese)
25. Nikkei. (2022, June 21). 化学肥料20%削減、政府が30年目標 農業の脱炭素促す [20 % reduction in chemical fertilizer: government targets 30-year agricultural decarbonization]. Retrieved from: <https://www.nikkei.com/article/DGX-ZQOUA20AV10Q2A620C2000000/> (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
26. MAFF. (2016). 環境保全型農業の推進について [Promoting environmentally friendly agriculture]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/pdf/suisin_280401_part1.pdf (accessed: 24.05.2022). (In Japanese)
27. MAFF. 環境保全型農業直接支払交付金 [Direct payment subsidy for environmental conservation agriculture]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/mainp.html (accessed: 24.05.2022). (In Japanese)
28. MAFF. (2023). 環境保全型農業直接支払交付金について [Direct payment subsidy for environmental conservation agriculture]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-166.pdf (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
29. MAFF. (2020). 気候変動に対する農林水産省の取組 [Efforts by the MAFF to address climate change]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/GR/attach/pdf/s_win_abs-71.pdf (accessed: 30.03.2022). (In Japanese)
30. MAFF. 国内総生産に関する統計 [GDP statistics]. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/01.html> (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
31. NHK. (2024, January 11). 持続可能な農業に向けて 環境負荷低減の取り組み促進へ 農水省 [MAFF promoting efforts to reduce environmental impact for sustainable agriculture]. Retrieved from: <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240111/k10014316861000.html> (accessed: 28.08.2024). (In Japanese)
32. MAFF. (2021). 食料・農業・農村の動向 [Trends in food, agriculture and rural areas]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r2/pdf/zentaiban.pdf (accessed: 30.03.2022). (In Japanese)
33. Chikasada, M. (2011). 日本の食卓を守る食料安全保障政策: 食料自給と農業再生 [Food security policy to protect Japan's dining table: food self-sufficiency and agricultural regeneration]. Yūyama sha, 101 p. (In Japanese)

34. Japan Center for Climate Change Actions. (n.d.). データで見る温室効果ガス排出量 [*Greenhouse gas emissions in data*]. Retrieved from: <https://www.jccca.org/global-warming/knowledge04> (accessed: 30.03.2022). (In Japanese)
35. MAFF. (2021). 農山漁村再生可能エネルギー法 [*Agriculture, forestry and fisheries renewable energy act*]. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/houritu.html> (accessed: 24.03.2022). (In Japanese)
36. MAFF. (2018). 農山漁村再生可能エネルギー法の施行状況と検討の方向性について. 農林水産省 [*Status of the rural renewable energy law and its further review*]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/bukai_28/attach/pdf/index-9.pdf (accessed: 20.05.2022). (In Japanese)
37. MAFF. (2023). 肥料をめぐる情勢 [*The overview of fertilizers*]. Retrieved from: https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryō/attach/pdf/HiryōMegujiR5-5b.pdf (accessed: 26.04.2023). (In Japanese)
38. MAFF. (2014). 平成25年度 食料・農業・農村白書 全文 [*White paper on food, agriculture and rural areas, FY2013*]. Retrieved from: https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12232574/www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h25/zenbun.html (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
39. 農政ジャーナリストの会 [Agricultural Journalists' Association]. (2022). 広がる「食の格差」とどう向き合うか 日本農業の動き No. 213 [*How do we deal with the increasing food gap? Japanese agricultural movement, No. 213*]. 123 p. (In Japanese)
40. MAFF. みどりの食料システム戦略トップページ [*MIDORI strategy for sustainable food systems*]. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kanbo/seisaku/midori/> (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
41. MAFF. (2023). 令和4年 地球温暖化影響調査レポート [*Global warming impact survey report 2022*]. Retrieved from: <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/ondanka/attach/pdf/report-64.pdf> (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)
42. Ministry of Environment. (2024). 我が国の食品ロスの発生量の推計値 (令和4年度) の公表について [*Publication of the estimated amount of food loss in Japan (FY2022)*]. Retrieved from: https://www.env.go.jp/press/press_03332.html (accessed: 02.09.2024). (In Japanese)

Список литературы

1. Маркарян, С. Б. (2017). Импортзамещение в аграрном секторе Японии. *Японские исследования*, (1), 46–59. URL: <https://www.japanjournal.ru/jour/article/view/151/145> (дата обращения: 26.05.2022).
2. Маркарян, С. Б. (2009). Проблема продовольственной безопасности в новых экономических условиях. В *Мировой кризис и Япония* (под ред. И. П. Лебедева, С. Б. Маркарян). М.: АЙРО-XXI, 99–121.

3. Маркарьян, С. Б. (2007). Сельскохозяйственная кооперация Японии (проблемы и перспективы). *Ежегодник Японии*, 36, 131–147. URL: <https://www.yearbookjapan.ru/jour/article/view/84/85> (дата обращения: 25.03.2022).
4. Миловидов, В. Д., & Аскер-Заде, Н. В. (2020). Протекционизм 2.0: новая реальность эпохи глобализации. *Мировая экономика и международные отношения*, 64(8), 37–45. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-8-37-45>
5. Blokhin, A. (2024). The 5 countries that produce the most carbon dioxide (CO₂). *Investopedia*. URL: <https://www.investopedia.com/articles/investing/092915/5-countries-produce-most-carbon-dioxide-co2.asp> (accessed: 06.09.2024).
6. Bosquerolli, M. (2025). Evolution of sustainable development in Japan: from historical foundations to green transformation. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, 43(3), 54–65.
7. Statistics Bureau of Japan. (2022). Chapter 17, Environment. In *Japan Statistical Yearbook 2022*. URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/nenkan/71nenkan/index.html> (accessed: 02.09.2024).
8. Statistics Bureau of Japan. (2024). Chapter 17, Environment. In *Japan Statistical Yearbook 2024*. URL: <https://www.stat.go.jp/english/data/nenkan/73nenkan/index.html> (accessed: 02.09.2024).
9. MAFF. Direct payments for environmentally friendly agriculture. URL: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/directpay.html> (accessed: 02.09.2024).
10. Emelyanova, O. N. (2024). Japan's agricultural policy towards food security improvement: key strategies, initiatives and outcomes. *Vostok. Afro-Aziatskie obshchestva: istoriia i sovremennost* [Oriens. African-Asian societies: history and modernity], (1), 153–164. <https://doi.org/10.31857/S086919080029514-2>
11. Freiner, N. L. (2019). *Rice and agricultural policies in Japan: the loss of traditional lifestyle*. London: Palgrave Macmillan, 197 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91430-5>
12. Fuhrmann-Aoyagi, M., Miura, K., & Watanabe, K. (2024). Sustainability in Japan's agriculture: an analysis of current approaches. *Sustainability*, 16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020596>
13. MOFA. Government's efforts. URL: <https://www.mofa.go.jp/policy/oda/sdgs/effort/index.html> (accessed: 25.03.2022).
14. FAO. (1999). *Guidelines for the production, processing, labelling and marketing of organically produced foods*. URL: https://www.fao.org/input/download/standards/360/cxg_032e.pdf (accessed: 28.08.2024).
15. Ministry of Environment. (2022). *Japan's national greenhouse gas emissions in fiscal year 2020 (final figures)*. URL: <https://www.env.go.jp/en/headline/2599.html> (accessed: 03.09.2024).

16. Lama, P. (2017). Japan's food security problem: increasing self-sufficiency in traditional food. *IndraStra Global*, 3(7). URL: <http://www.indrastra.com/2017/07/Japan-s-Food-Security-Problem-Increasing-Self-Sufficiency-in-Traditional-Food-003-07-2017-0029.html> (accessed: 15.02.2022).
17. Niehaus, A., & Walravens, T. (2017). *Feeding Japan: the cultural and political issues of dependency and risk*. London: Palgrave Macmillan, 551 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50553-4>
18. Statista. (2024). *Number of core persons engaged in the farming industry in Japan from 2005 to 2023*. URL: <https://www.statista.com/statistics/1289069/japan-number-person-engaged-farming/> (accessed: 09.09.2024).
19. MAFF. Organic JAS. URL: https://www.maff.go.jp/e/policies/standard/specific/organic_JAS.html (accessed: 28.08.2024).
20. MAFF. (2023). *Promotion of GAP in Japan*. URL: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/attach/pdf/promogap-6.pdf> (accessed: 09.09.2024).
21. MAFF. *Sustainable agriculture*. URL: <https://www.maff.go.jp/e/policies/env/sustainagri/> (accessed: 09.09.2024).
22. Ministry of Environment. (2024). 2022年度の我が国の温室効果ガス排出・吸収量について [Publication of the Japan's greenhouse gas emissions and absorption in FY2022]. URL: https://www.env.go.jp/press/press_03046.html (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
23. METI. (2021). エネルギー基本計画 [The basic plan of energy development]. URL: <https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf> (accessed: 28.05.2022). (In Jap.)
24. Oguchi, H. (2021). 日本の食と農の未来 「持続可能な食卓」を考える [Thinking about the future of Japanese food and agriculture: sustainable dining table]. 光文社, 248 p. (In Jap.)
25. Nikkei. (2022, June 21). 化学肥料20%削減、政府が30年目標 農業の脱炭素促す [20 % reduction in chemical fertilizer: government targets 30-year agricultural decarbonization]. URL: <https://www.nikkei.com/article/DGX-ZQOUA20AV10Q2A620C2000000/> (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
26. MAFF. (2016). 環境保全型農業の推進について [Promoting environmentally friendly agriculture]. URL: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/pdf/suisin_280401_part1.pdf (accessed: 24.05.2022). (In Jap.)
27. MAFF. 環境保全型農業直接支払交付金 [Direct payment subsidy for environmental conservation agriculture]. URL: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/mainp.html (accessed: 24.05.2022). (In Jap.)
28. MAFF. (2023). 環境保全型農業直接支払交付金について [Direct payment subsidy for environmental conservation agriculture]. URL: https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/mainp.html

- go.jp/j/seisan/kankyo/kakyou_chokubarai/attach/pdf/mainp-166.pdf (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
29. MAFF. (2020). 気候変動に対する農林水産省の取組 [*Efforts by the MAFF to address climate change*]. URL: https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/GR/attach/pdf/s_win_abs-71.pdf (accessed: 30.03.2022). (In Jap.)
30. MAFF. 国内総生産に関する統計 [*GDP statistics*]. URL: <https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/01.html> (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
31. NHK. (2024, January 11). 持続可能な農業に向けて 環境負荷低減の取り組み促進へ 農水省 [*MAFF promoting efforts to reduce environmental impact for sustainable agriculture*]. URL: <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240111/k10014316861000.html> (accessed: 28.08.2024). (In Jap.)
32. MAFF. (2021). 食料・農業・農村の動向 [*Trends in food, agriculture and rural areas*]. URL: https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r2/pdf/zentaiban.pdf (accessed: 30.03.2022). (In Jap.)
33. Chikasada, M. (2011). 日本の食卓を守る食料安全保障政策: 食料自給と農業再生 [*Food security policy to protect Japan's dining table: food self-sufficiency and agricultural regeneration*]. 雄山社, 101 p. (In Jap.)
34. Japan Center for Climate Change Actions. (n.d.). データで見る温室効果ガス排出量 [*Greenhouse gas emissions in data*]. URL: <https://www.jccca.org/global-warming/knowledge04> (accessed: 30.03.2022). (In Jap.)
35. MAFF. (2021). 農山漁村再生可能エネルギー法 [*Agriculture, forestry and fisheries renewable energy act*]. URL: <https://www.maff.go.jp/j/shokusan/renewable/energy/houritu.html> (accessed: 24.03.2022). (In Jap.)
36. MAFF. (2018). 農山漁村再生可能エネルギー法の施行状況と検討の方向性について. 農林水産省 [*Status of the rural renewable energy law and its further review*]. URL: https://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/syokusan/bukai_28/attach/pdf/index-9.pdf (accessed: 20.05.2022). (In Jap.)
37. MAFF. (2023). 肥料をめぐる情勢 [*The overview of fertilizers*]. URL: https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryo/attach/pdf/HiryouMegujiR5-5b.pdf (accessed: 26.04.2023). (In Jap.)
38. MAFF. (2014). 平成25年度 食料・農業・農村白書 全文 [*White paper on food, agriculture and rural areas, FY2013*]. URL: https://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/12232574/www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h25/zenbun.html (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
39. 農政ジャーナリストの会 [*Agricultural Journalists' Association*]. (2022). 広がる「食の格差」とどう向き合うか 日本農業の動き No. 213 [*How do we deal with the increasing food gap? Japanese agricultural movement, No. 213*]. 123 p. (In Jap.)

40. MAFF. みどりの食料システム戦略トップページ [*MIDORI strategy for sustainable food systems*]. URL: <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/> (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
41. MAFF. (2023). 令和4年 地球温暖化影響調査レポート [*Global warming impact survey report 2022*]. URL: <https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/on-danka/attach/pdf/report-64.pdf> (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)
42. Ministry of Environment. (2024). 我が国の食品ロスの発生量の推計値 (令和4年度) の公表について [*Publication of the estimated amount of food loss in Japan (FY2022)*]. URL: https://www.env.go.jp/press/press_03332.html (accessed: 02.09.2024). (In Jap.)

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olesya N. Emelyanova, PhD in Economics, Research Fellow, Faculty of Economics
Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation
emelianovalesia@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6137-9734>

Denis A. Shcherbakov, PhD in Economics, Associate Professor, Faculty of
World Economy and International Affairs
HSE University
20, Myasnitskaya Str., Moscow, 101000, Russian Federation
dshcherbakov@hse.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8607-6265>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Емельянова Олеся Николаевна, к.э.н., н.с., экономический факультет
МГУ имени М.В. Ломоносова
Ленинские горы, 1, г. Москва, 119991, Российская Федерация
emelianovalesia@hotmail.com

Щербаков Денис Аркадьевич, к.э.н., доцент, факультет мировой эконо-
мики и мировой политики
*Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики»*
ул. Мясницкая, 20, г. Москва, 101000, Российская Федерация
dshcherbakov@hse.ru

Поступила 02.12.2024

После рецензирования 10.04.2025

Принята 18.04.2025

Received 02.12.2024

Revised 10.04.2025

Accepted 18.04.2025

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1281

EDN: JYKQKG

УДК 339



Научный обзор

**АНАЛИЗ МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА СОИ:
ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ**

*И.А. Аксенов, Г.А. Трунин, М.С. Фабриков,
М.С. Лисятников, Е.С. Прусов, С.И. Рощина*

Аннотация

Обоснование. В исследовании проводится аналитический обзор мирового производства сои в динамике с 1961 по 2022 годы по статистическим данным Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций.

Цель – выявление тенденций развития мирового рынка производства сои и понимание роли Российской Федерации на этом рынке.

Материалы и методы. Эмпирической основой исследования послужили статистические сведения Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединённых Наций. Теоретической основой исследования послужили труды известных российских и зарубежных ученых, непосредственно затрагивающие различные стороны мирового производства сои.

Методологическую основу исследования составили методы: сравнение, временной анализ, систематизация данных.

Результаты. Увеличение объемов производства соевых бобов на мировом рынке за рассматриваемый период увеличилось в 13 раз. Посевная площадь под соевые бобы увеличилась более чем на 462% за последние 60 лет. Странами-лидерами по производству сои на сегодняшний день являются: Бразилия, США, Аргентина, Китай, Индия.

Заключение. За последние 60 лет структура мирового производства соевых бобов стала более дифференцированной, но с присутствием явных доминирующих зон выращивания.

Ключевые слова: соевые бобы; мировое производство; ключевые производители; сельское хозяйство; ФАО ООН; посевная площадь

Для цитирования. Аксенов, И. А., Трунин, Г. А., Фабриков, М. С., Лисятников, М. С., Прусов, Е. С., & Рощина, С. И. (2025). Анализ мирового производства сои: обзор современного состояния и тенденции развития. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 581-608. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1281>

Original article

ANALYSIS OF GLOBAL SOYBEAN PRODUCTION: A REVIEW OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS

*I.A. Aksenov, G.A. Trunin, M.S. Fabrikov,
M.S. Lisyatnikov, E.S. Prusov, S.I. Roshchina*

Abstract

Background. The study provides an analytical review of global soybean production dynamics from 1961 to 2022 based on statistics from the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Purpose – identifying development trends in the global soybean production market and understanding the role of the Russian Federation in this market.

Materials and methods. The empirical basis of the study was statistical data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations. The theoretical basis of the study was the works of famous Russian and foreign scientists directly affecting various aspects of global soybean production. The methodological basis of the study was the following methods: comparison, time analysis, systematization of data.

Results. The increase in soybean production volumes on the world market for the period under review has increased 13 times. The area under soybeans has increased by more than 462% over the past 60 years. The leading barley producing countries today are: Brazil, the USA, Argentina, China, India.

Conclusion. Over the past 60 years, the structure of world soybean production has become more differentiated, but with clear dominant growing areas.

Keywords: soybeans; world production; key producers; agriculture; FAO UN; sown area

For citation. Aksenov, I. A., Trunin, G. A., Fabrikov, M. S., Lisyatnikov, M. S., Prusov, E. S., & Roshchina, S. I. (2025). Analysis of global soybean production: A

review of the current state and development trends. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 581-608. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1281>

Введение

Соя представляет собой бобовую культуру, получившую большое распространение на Востоке на территориях современных Китая, Кореи и Японии. По разным оценкам соя была «одомашнена» еще 4,5-6 тысяч лет назад из своего дикого предшественника *Glycine soja* [13]. Высокая популярность сои обусловлена самым высоким содержанием белка (более 40%) среди всех овощных культур и одним из самых высоких валовых выходов масла, а также содержанием легкоусвояемых аминокислот. Кроме того, благодаря генетическим модификациям и трансгенетике в мире существует множество видов сортов сои, как устойчивых к погодным условиям, так и обеспечивающих высокие показатели урожайности для отдельных территорий [12]. В целом системы выращивания сои можно разделить на три типа: генетически модифицированная, не генетически модифицированная и органическая соя [11]. Переработанные соевые бобы могут использоваться для производства таких пищевых продуктов как соевое молоко, тофу, соевый творог, соевый соус, мороженое, пищевое масло, соевая мука и многое другое [9].

Отдельно следует выделить использование сои в качестве кормовых компонентов в животноводстве. В настоящее время соя используется как добавка в виде соевого жмыха и соевого шрота, а также других компонентов, которые используются как добавки [18]. Однако на качество кормовых добавок из сои особое влияние оказывают факторы, вызванные инфраструктурой переработки культуры (технологии переработки, качество измельчения и прочие факторы) [20]. На содержание белка и полезных веществ в соевых бобах также оказывает влияние и территория выращивания культуры (содержание белка в сое, выраженной в Персидском заливе выше, чем некоторых других регионах) [19]. Однако, следует с осторожностью относиться к привязке к теплым регионам мира, т.к. некоторые исследования указывают, что высокие ночные температуры негативно влияют на образование белка в сое [20].

Одним из продуктов переработки соевых бобов является получение соевого масла, которое является вторым после пальмового масла потребляемым растительным маслом в мире. С учетом роста популярности различных видов фаст-фуда растет и спрос на соответствующее дешевое соевое масло [8].

Однако, цепочки поставок сои отличаются сложной структурой, состоящей не только из сельскохозяйственных производителей, но и сопутствующей инфраструктуры ее переработки. При этом на эффективность деятельности сказываются экономические факторы такие как понижение ставки налогов на сою и продукцию из них, льготная и субсидиарная политика государств [5].

Цель исследования – выявление тенденций развития мирового рынка производства сои и понимание роли Российской Федерации на этом рынке.

Материалы и методы

В основе исследования лежит база данных ФАО по продуктам животноводства и сельского хозяйства. В основе исследования лежат материалы, опубликованные на сайте по адресу: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL> в виде общедоступной базы данных [2]. В рамках исследования из базы данных были исключены сведения о производстве соевых бобов таких территорий как Социалистическая Федеративная Республика Югославия, Чехословакия, Сербия и Черногория, Народно-Демократическая Республика Эфиопия, Материковая часть Китая, Макао, Гонконг, Тайвань. Статистические данные по вышеуказанным странам включены в группы «укрупненных» стран. Исследование проводилось с использованием программных средств визуализации на базе Python. Визуальный анализ данных проводился с использованием программы для анализа и визуализации данных по производственным показателям мирового агропромышленного комплекса – свидетельство о государственной регистрации программ ЭВМ №2024668411 от 06.08.2024 г. Материалы исследования могут быть полезны правительственным учреждениям, агропромышленным и торговым предприятиям, научно-исследовательским институтам, университетам и другим заинтересованным сторонам.

Результаты исследования

Мировое производство соевых бобов в мире представлено на рисунке 1.

Мировое производство соевых бобов за последние 60 лет увеличилось в 13 раз, достигнув в 2022 году значения в 348.8 млн. тонн (в 1961 году – 26.9 млн. тонн). Максимальное значение показателя производства достигнуто в 2021 – 372.8 млн. тонн. С начала 1960-х годов до начала 1990-х объем производства сои вырос в 4 раза, достигнув значения в 102.6 млн. тонн, а в следующие 30 лет объем производства вырос в 3 раза, достигнув

372.8 млн. тонн. В целом соевая промышленность имеет устойчивые тенденции роста. Многие авторы отмечают, что популярность сои с каждым годом возрастает [3].

Производство Соя по годам (Все страны)

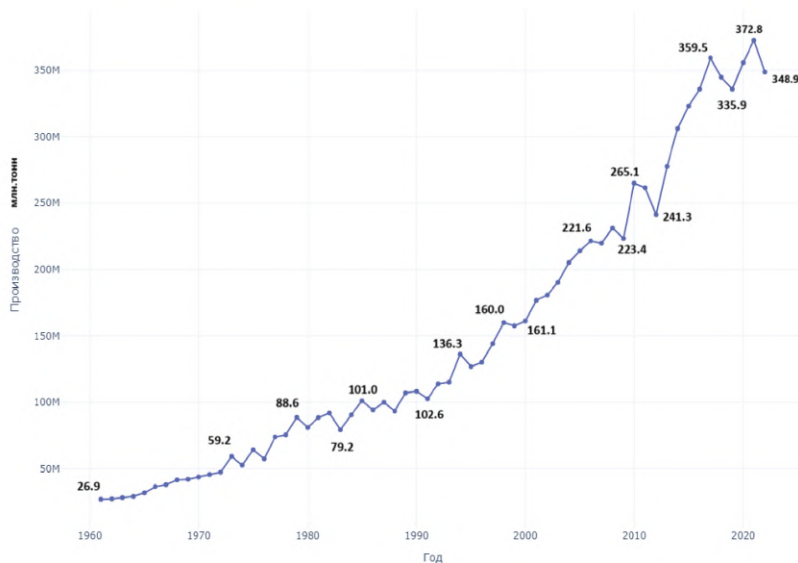


Рис. 1. Мировое производство соевых бобов в мире, млн. тонн

Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Отдельно следует рассмотреть задействованные посевные площади под соевую культуру, динамика изменений показателя представлена на рисунке 2.

Посевные площади под соевые бобы увеличились на 462% с 23.8 млн. га в 1961 году до 133.8 млн. га в 2022 году. Примечательным является явный линейный рост показателя урожайности, который вырос с 1.13 тонны с гектара в 1961 году до 2.61 тонны с гектара в 2022 году. При этом максимальное значение показателя отмечено в 2021 году в размере 2.858 тонны с гектара. Наблюдается четкая линейная зависимость роста урожайности сои в мире.

Мировые производители сои также претерпели существенные изменения. Структура производителей сои по странам представлена на рисунке 3-6.

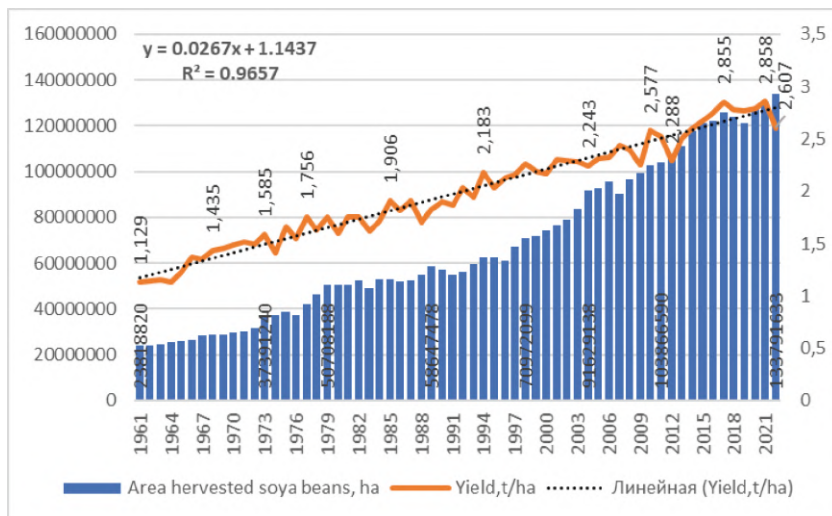


Рис. 2. Площадь посевов соевых бобов (га) и урожайность (тонн/га)

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

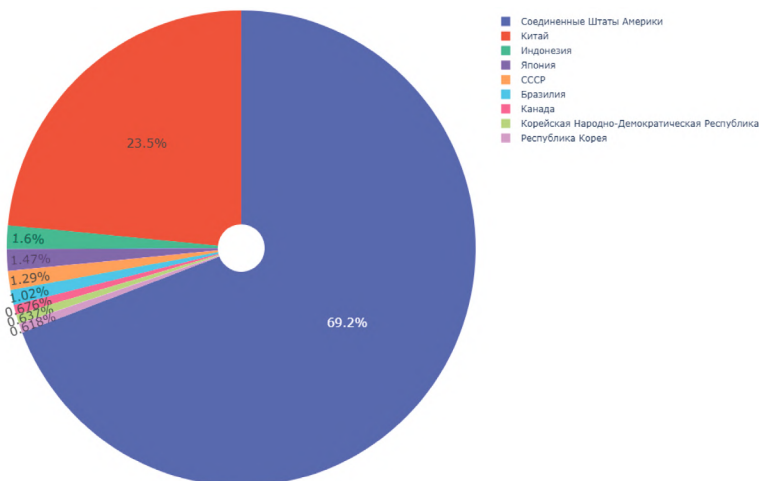


Рис. 3. Производство сои по странам, 1961 г.

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

С начала 1960-х годов основной территорией выращивания соевых бобов были США, на долю которых приходилось почти 70% мирового про-

изводства. На втором месте был Китай с долей в 23.5%. На США и Китай приходилось 92.7% мирового производства сои.

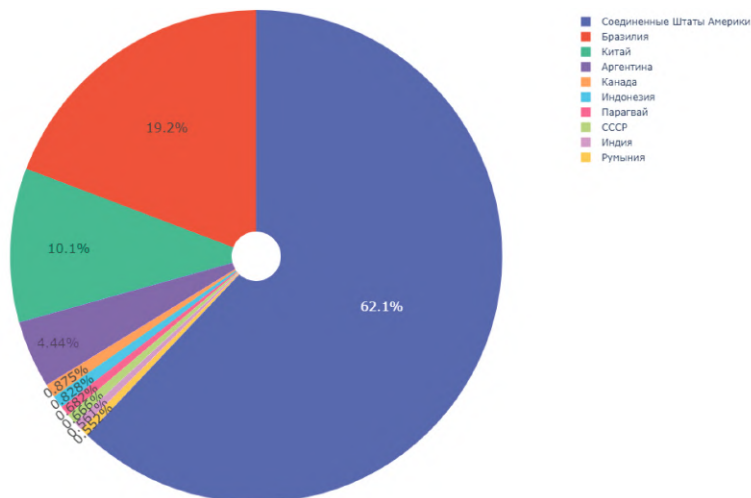


Рис. 4. Производство сои по странам, 1980 г.

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

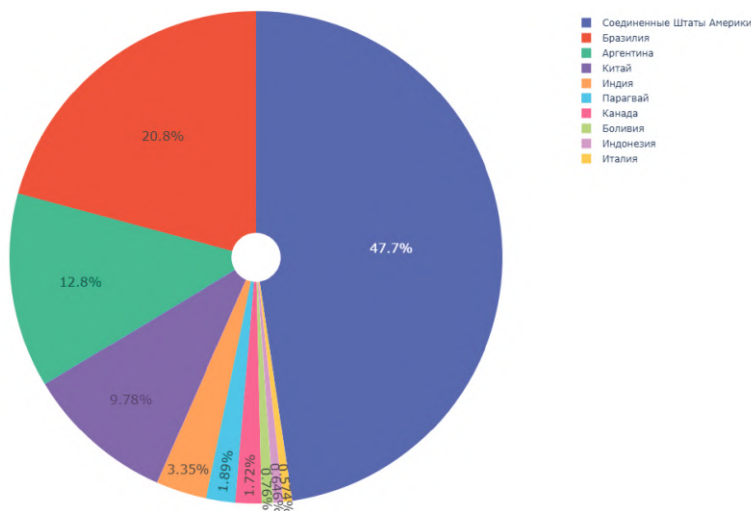


Рис. 5. Производство сои по странам, 2000 г.

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

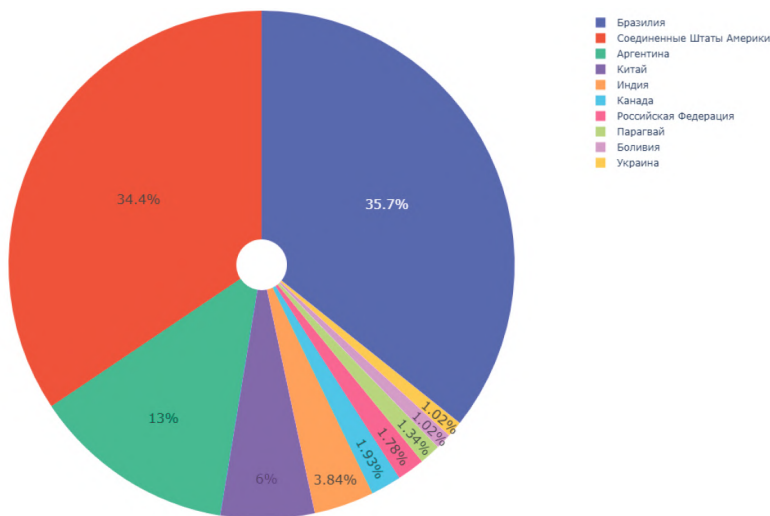


Рис. 6. Производство сои по странам, 2022 г.

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Ближе к 1970-м годам с ростом популярности соевой культуры еще одной быстроразвивающейся страной стала Бразилия, которая в начале 1970-х годов занимала 3.5% мирового производства сои.

К 1980-м годам ситуация по мировому производству сои стала претерпевать существенные изменения в части дифференциации территорий выращивания: доля США снизилась до 62%, как и Китая до 10%, а доля Бразилии возросла до 19.2%, как и Аргентины до 4.44% в мировом производстве. К 1992 году структура мирового производства сои была представлена уже четырьмя основными странами: США – 54.2%; Бразилия – 17.5%; Аргентина – 10.3% и Китай – 9.37%. На долю этих четырех стран приходилось 91.37% мирового производства сои. При этом наблюдается подъем производства сои в Индии.

К 2000-м годам структура мировых производителей выглядела следующим образом: доля США в мировом производстве сои сокращалась до 47.7%; Бразилия и Аргентина наращивали выращивание соевых бобов, достигнув доли в 20.8% и 12.8% соответственно; Китай также нарастил объемы выращивания и удержал долю на уровне 9.78%; доля Индии выросла до 3.35%. На долю этих пяти стран стало приходится 94.4% мирового производства соевых бобов. Аналогичная динамика наблюдалась и в 2010

году, где доли стран распределились следующим образом: США – 35.3%; Бразилия – 26.8%; Аргентина – 20.5%; Китай – 5.87%; Индия – 4.96%. При этом в этот период стоит отметить рост производства сои в Парагвае и Канаде, чьи объемы производства достигли 2.9% и 1.73% соответственно.

К 2022 году структура мирового производства соевых бобов стала более дифференцированной, но с присутствием явных доминирующих зон выращивания. Бразилия в итоге по объемам выращивания сои вытеснила США и заняла 35.7% мирового производства, в то время как США – 34.4%; Аргентина – 13% и Китай – 6%; Индия – 3.84%. На долю этих пяти стран пришлось 92.94%. При этом можно было выделить рост производства сои в таких странах как Канада – 1.93% в мировом производстве; Россия – 1.78%; Парагвай – 1.34%; Боливия – 1.02% и Украина – 1.02%. На эти пять стран приходится 7.1% мирового производства соевых бобов. Таким образом, явно наблюдается дифференциация рынка производства сои с выделением двух крупных территорий производства в Северной и Южной Америках (см. рисунок 7).

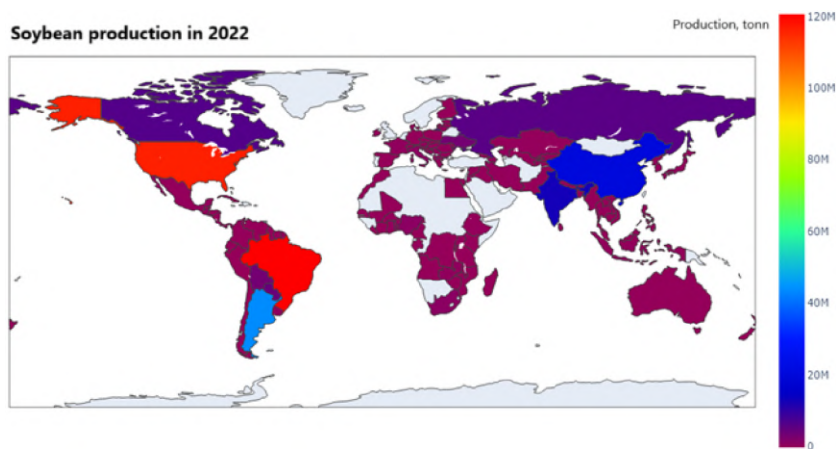


Рис. 7. Тепловая карта выращивания соевых бобов в мире за 2022 г.

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Рассмотрим подробнее производителей сои в динамике по последним имеющимся данным. Рассмотрим производство соевых бобов в Бразилии (см. рисунок 8).

За последние 60 лет выращивание соевых бобов на территории Бразилии достигло небывалых показателей и выросло с 0.27 млн. тонн в 1961

году до 120.7 млн. тонн в 2022 году, показав рост почти 450 раз. Максимум производства пришлось на 2021 год – 134.8 млн. тонн. Посевные площади страны по данной культуре также существенно выросли с 0.24 млн. га в 1961 году до 40.9 млн. га.

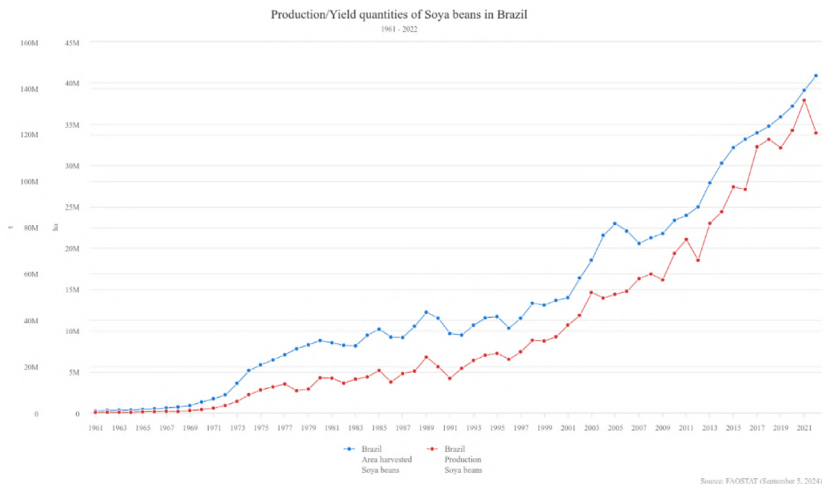


Рис. 8. Производство и посевные площади соевых бобов в Бразилии

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

При этом средняя урожайность сои в Бразилии составляет 3.135 тонн/га, что на 15.33% выше среднемирового показателя. Важно отметить, что правительство Бразилии для стимулирования фермерских хозяйств применяет пониженные и нулевые ставки налогов на продукты, связанные с соей, а также проводит гибкую государственную политику поддержки производителей сои, что стало толчком к бурному развитию соевой индустрии в стране и вывело страну на первое место по ее производству в мире [7]. Еще одним фактором мировой конкурентоспособности сельскохозяйственных производителей из Бразилии является низкая оплата труда фермеров, что позволяет держать цены на сою из Бразилии на низком уровне [16].

Рассмотрим динамику выращивания соевых бобов на территории США (см. рисунок 9).

США долгое время оставались мировым лидером по производству соевых бобов, но с ростом спроса на данную сельскохозяйственную культуру со временем стали терять свои позиции (см. рисунок 9). Однако, США по-прежнему занимают больше трети рынка производства сои (см. рисунок 6).

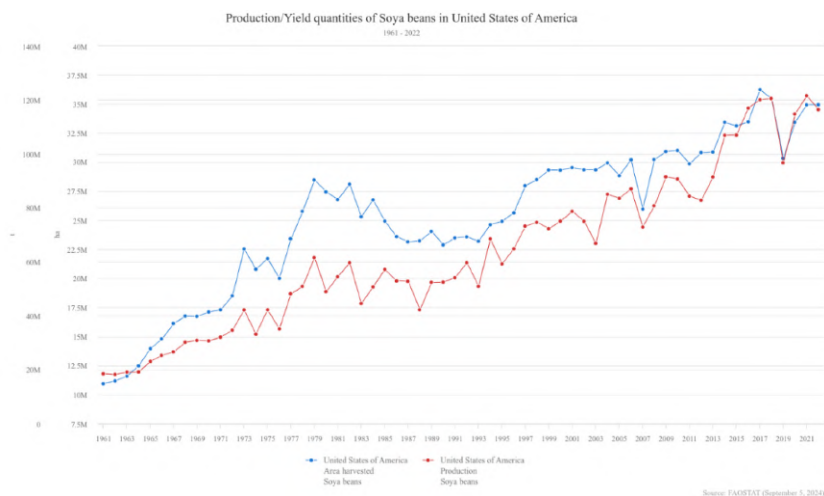


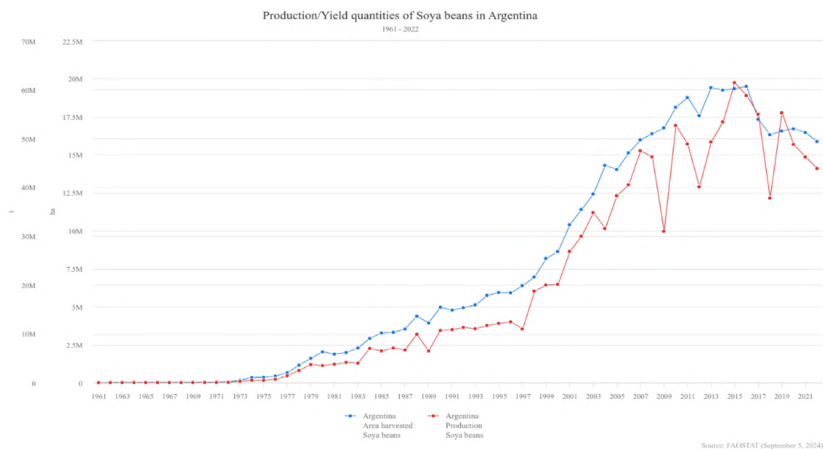
Рис. 9. Производство и посевные площади соевых бобов в США

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

За 60 лет объем выращивания сои в США вырос на 530% с 18.5 млн. тонн в 1961 году до 116.4 млн. тонн в 2022 году. При этом максимум производства наблюдался в 2021 году в размере 121.5 млн. тонн соевых бобов. Посевные площади в США увеличились на 219.7% с 10.9 млн. га в 1961 году до 34.9 млн. га в 2022 году. Максимальное значение посевных площадей зарегистрировано в 2017 году в размере 36.2 млн. га. Средняя урожайность сои в США составляет 3.302 тонны с гектара, что на 21.48% выше среднемировых показателей. Предположительно США являются лидерами в области выращивания генетически модифицированных сортов сои, что позволяет не только повысить урожайность, но и снизить эксплуатационные расходы [6].

Развитие сельского хозяйства сои в Аргентине также примечательно, как и в Бразилии. В начале 1961 года страна практически не производила соевые бобы, выращивая 957 тонн в год и выращивая до 1972 года менее 100 тысяч тонн этой культуры, но бурный рост стал наблюдаться только после 1997 года (см. рисунок 10). В 2022 году Аргентина вырастила 43.9 млн. тонн соевых бобов, а максимальное значение наблюдалось в 2015 году – 61.5 млн. тонн. Посевные площади по соевым бобам также существенно выросли и достигли в 2022 году значения в 15.9 млн. га. При этом с 2013 по 2016 годы посевные площади колебались в пределах 19.4 млн. га, достигнув максимума в 2015 году – 19.5 млн. га. Средняя урожайность за последние 10 лет в

Аргентине составила 2.881 тонны с гектара, что на 5.99% выше среднемирового значения. Максимум урожайности соевых бобов пришелся на 2019 год и составил 3.334 тонн/га. Высокая урожайность сои в Аргентине объясняется активным применением генетически модифицированных сортов сои [17]. Важно отметить, что промышленные масштабы производства сои в Аргентине, как и в Бразилии, породили серию проблем, связанных с рубкой лесов и выбросами парниковых газов [1].



Source: FAOSTAT (September 5, 2024)

Рис. 10. Производство и посевные площади соевых бобов в Аргентине
 Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Китай является одним из древнейших производителей соевой культуры. Выращивание соевых бобов в Китае носит циклический экономический характер, обусловленный вопросами индустриализации (см. рисунок 11).

В 1961 году Китай производил порядка 6.3 млн. тонн соевых бобов, а к 2022 году это значение выросло на 223% до 20.3 млн. тонн. С 1961 по 1970 год объем выращивания сои рос с некоторыми падениями, достигнув пика в 8.8 млн. тонн, а затем наблюдалось сокращение с 1970 по 1976 годы, упав до 6.7 млн. тонн. В следующие 10 лет до 1987 года Китай делает рывок в выращивании соевых бобов до значения 12.2 млн. тонн. Последовавшая стагнация до 1991 года сократила производство сои до 9.7 млн. тонн. Следующие годы до 2015 года оно колебалось в пределах от 10.3 до 17.4 млн. тонн с существенными падениями в 1994-1996, 2004-2007 и 2010-2015 годах. При этом посевные площади за 60 лет практически не менялись и выросли лишь на 2.36%. Наблюдается несколько крупных падений посевных

площадей в Китае с 1961 года по 1976 год, где площади сократились до 6.7 млн. га. Далее имела место нестабильность использования посевных площадей с 1980 года по 2009 год, где наблюдается цикличность использования посевных площадей в пределах от 7.2 до 9.6 млн. га.

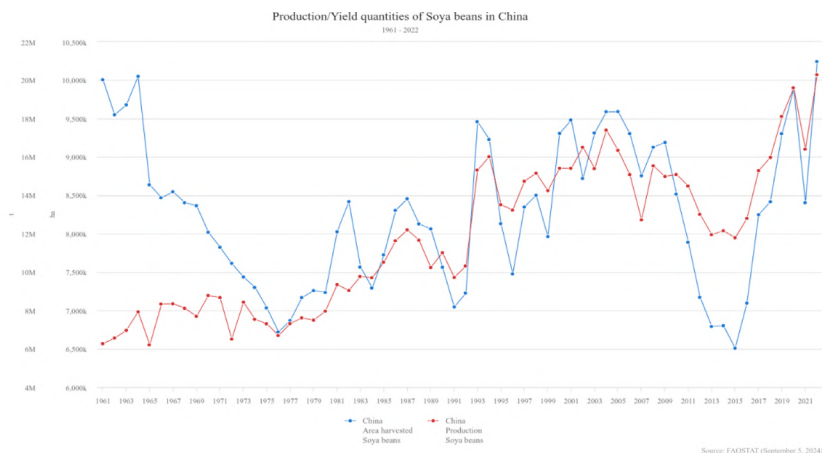


Рис. 11. Производство и посевные площади соевых бобов в Китае

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

С 2009 года посевные площади сократились с 9.2 млн. га до 6.5 млн. га в 2015 году, а затем наблюдалось увеличение до 10,2 млн. га в 2022 году с коррекцией на ковидные ограничения до 8.4 млн. га в 2021 году. Средняя за последние 10 лет урожайность в Китае соевых бобов составила 1.877 тонн с га, а максимальное значение в 1.983 тонны с га (значение за 2020 год), что в целом ниже среднемировых значений на 30.94%.

Рассмотрим производство соевых бобов в Индии (см. рисунок 12).

По своей сути до 1987 года индийское правительство не уделяло должного внимания развитию соевых культур в стране, объем производства которых не превышал 900 тысяч тонн, но потом до 1998 года наблюдался интенсивный рост производства до 7.1 млн. тонн. Затем несколько лет наблюдалось падение до 4.6 млн. тон в 2002 году с последующим стремительным ростом до 14.6 млн. тонн в 2012 году с некоторыми коррекциями. В следующие три года объем выращивания сократился до 8.6 млн. тонн к 2015 году и с тех пор производство соевых бобов колеблется в пределах 10.9 и 13.3 млн. тонн, достигнув в 2022 году значения в 12.9 млн. тонн. Задействованные посевные площади в целом показывают схожие результаты, но с некоторыми специфиче-

ческими аспектами. К примеру, увеличение посевных площадей в Индии под сою началось с 1981 года. Этот рост наблюдался практически непрерывно до 1998 года (6.5 млн. га) с некоторым замедлением до 2003 года и последующим интенсивным увеличением до 2015 года (11.7 млн. га).

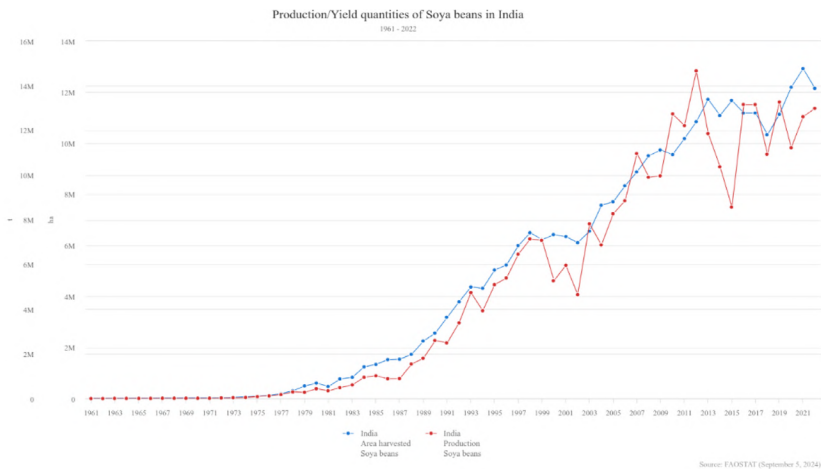


Рис. 12. Производство и посевные площади соевых бобов в Индии

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

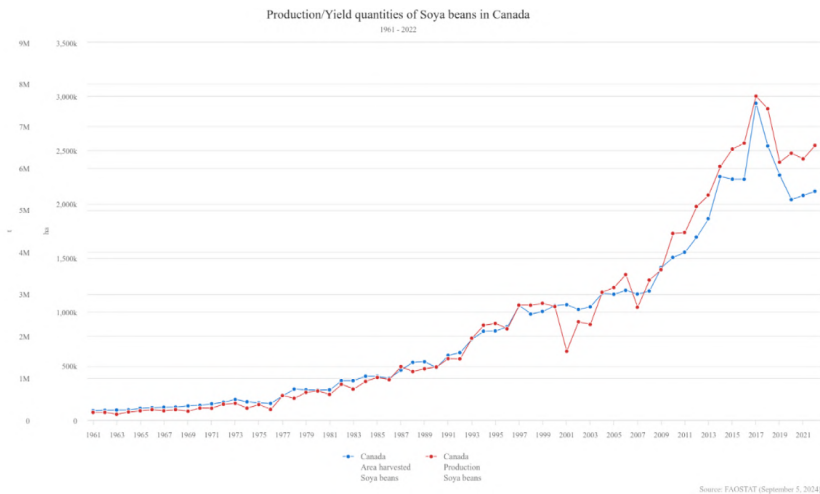


Рис. 13. Производство и посевные площади соевых бобов в Канаде

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

В 2022 году возделываемые площади сои достигли значения в 12.1 млн. га, а максимальное значение наблюдалось в 2021 году – 12.9 млн. га. Средняя за последние 10 лет урожайность в Индии составляет 1.025 тонн с га, что на 45.39% ниже общемирового показателя. Максимальная урожайность в Индии достигала значения в 1.353 тонн с га в 2012 году.

Отдельно рассмотрим объемы выращивания соевых бобов в странах с объемом мирового производства более 1%. В-первую очередь рассмотрим показатели Канады (рисунок 13).

До 1988 года объем производства соевых бобов в стране не превышал 1 млн. тонн, но с 1976 года по 2000 год объем производства сои вырос с 0.25 до 2.7 млн. тонн. В 2001 году объем упал до 1.6 млн. тонн, но затем с некоторой коррекцией (падение до 2.7 млн. тонн в 2007 году) вырос до значения в 7.7 млн. тонн в 2017 году. Затем произошло очередное падение до 6.1 млн. тонн в 2019 году и последующим ростом до 6.5 млн. тонн в 2022 году. Посевные площади в целом имели позитивную динамику развития с 1976 года по 2008 год с 0.15 до 1.2 млн. га. С 2009 года по 2017 год наблюдается резкий рост посевных площадей до 2.9 млн. га и последующие их сокращение до 2020 года до значения в 2.0 млн. га. На 2022 год посевные площади соевых бобов достигли значения 2.1 млн. га. Средняя урожайность в Канаде за последние 10 лет составила 2.885 тонны с га, что на 6.13% выше среднемирового значения, а максимальные показатели составили 3.115 тонны с га в 2020 году.

Следующей страной для рассмотрения является Россия (см. рисунок 14).

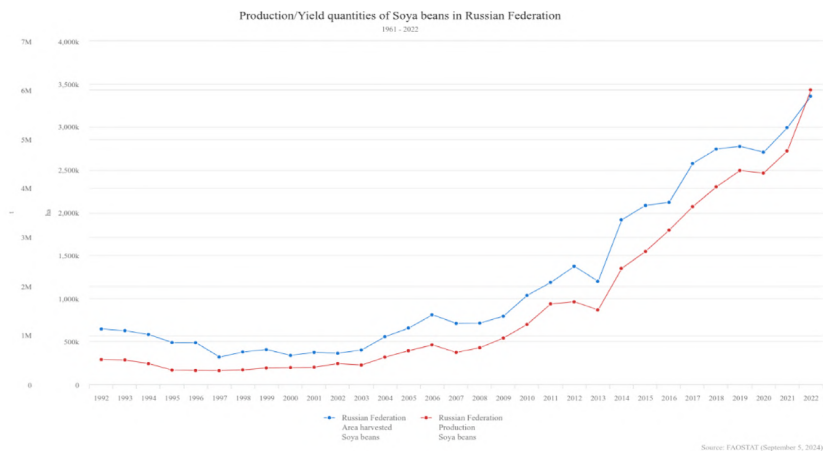


Рис. 14. Производство и посевные площади соевых бобов в России

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

До 2009 года объем выращивания соевых бобов в России не превышал 1 млн. тонн, но уже к 2013 году объем производства составил 1.5 млн. тонн, а дальнейший стремительный рост привел к наращиванию объемов производства до 6 млн. тонн в 2022 году. Задействованные площади в выращивании сои до 2002 году имели тенденцию сокращения до 0.32 млн. га, но в дальнейшем наблюдается тенденция развития с постепенным увеличением посевных площадей до 2009 года до 0.79 млн. га с последующими высокими темпами роста. В 2022 году в России под выращивание соевых бобов задействовано 3.35 млн. га площадей. Средняя урожайность в России за последние 10 лет составила 1.47 тонны с га, что на 45.92% ниже среднемирового значения. Максимальная урожайность достигнута в 2022 году и составила 1.789 тонны с га. Низкая урожайность в Индии и России объясняется слабым развитием современных методов возделывания соевой культуры, а также сильно зависит от факторов окружающей среды (температура, влажность, тип почвы, сорняки, насекомые и другие факторы) [10]. В целом на соевые культуры могут оказывать влияние около 100 патогенных микроорганизмов, из которых около 40% могут приводить к снижению урожайности на 10-30% [14]. Урожайность сои в России также можно сравнить с опытом Индонезии, где урожайность культуры составляет 1.4 т/га, что вызвано спецификой использованных сортов сои, разнообразным качеством удобрений и высоким уровнем поражения вредителями [9].

Следующей страной для исследования является Парагвай, данные о котором представлены на рисунке 15.

Объем выращивания соевых бобов в Парагвае до 1984 года (0.975 млн. тонн) не превышал 1 млн. тонн, но тенденция увеличения сборов данной культуры являлась устойчивой. К 1990 году объем производства сои составлял 1.8 млн. тонн, но затем в 1991 году сократился до 1 млн. тонн. Тем не менее, постепенное наращивание производства позволило увеличить его сборы к 2006 году до 3.8 млн тонн. Затем наблюдался стремительный рост производства до 6.3 млн. тонн в 2008 году и также его стремительное падение вслед за мировым кризисом в 2009 году до 3.8 млн. тонн. К 2011 году удалось собрать уже 8.3 млн. тонн, но в 2012 году опять наблюдалось падение до 4.3 млн. тонн. До 2018 года можно считать, что объем производства рос и достиг своего максимума в 11 млн. тонн, в 2019 году снова наблюдалось падение до 8.5 млн. тонн, восстановление в 2020 году до 11 млн. тонн и резкое сокращение в 2022 году до 4.5 млн. тонн. Это говорит о некоторых внутренних проблемах по выращиванию соевых бобов с учетом того, что посевные площади под данную культуру, по сути, всегда

увеличивались. Можно сказать, что с 1969 года Парагвай стал постоянно увеличивать площади выращивания соевых бобов, до 1990 года увеличив их до 0.9 млн. га.

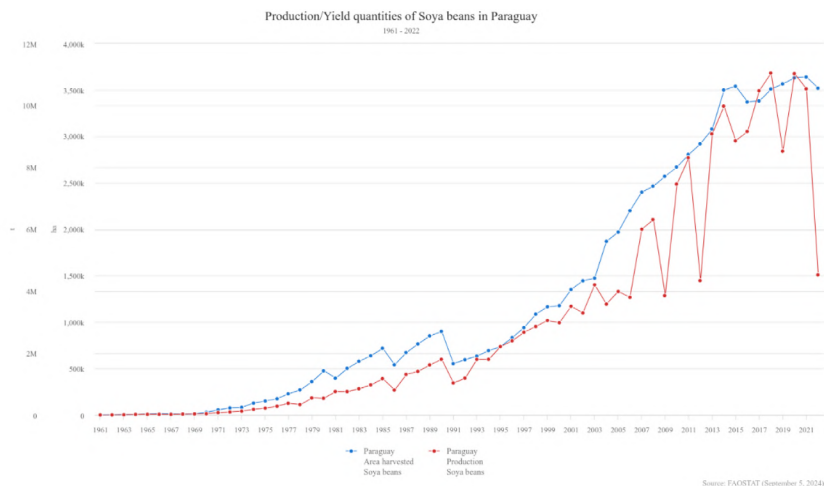


Рис. 15. Производство и посевные площади соевых бобов в Парагвай
Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

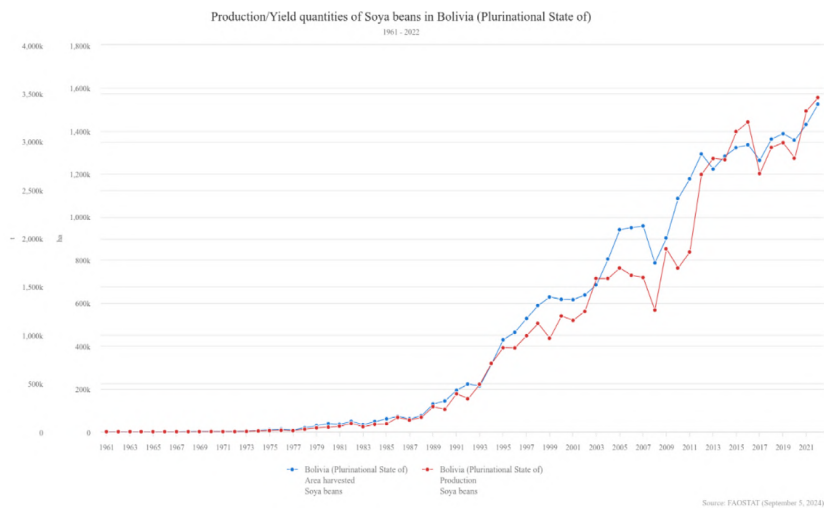


Рис. 16. Производство и посевные площади соевых бобов в Боливии
Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

В 1991 г. их значение резко упало до 0.55 млн. га и далее стремительно росло до 2015 года, достигнув значения в 3.54 млн. га. В 2016-17 годах посевные площади незначительно сократились и достигли своего максимума в 3.64 млн. га в 2021 году. На 2022 год посевные площади соевых бобов составили 3.5 млн. га. Средняя урожайность в Парагвае за 10 лет составила 2.688 тонны с га, что практически соответствует среднемировому значения в 2.718 тонны с га. Максимальная урожайность зафиксирована в 1968 году и составила 3.394 тонны с га, что можно считать аномалией, т.к. следующее значение в 3 тонны с га удалось достичь только к 1995 году. Следует учитывать, что экономика Парагвая сильно зависит от сельскохозяйственного сектора и основная доля населения задействована именно в нем, что влияет на промышленное производство сои в стране, а также ориентирует фермерские хозяйства на наиболее доходные сельскохозяйственные культуры [4].

Следующей страной для рассмотрения является Боливия (см. рисунок 16).

До 1986 года производство соевых бобов в Боливии составляло 0.15 млн. тонн, но уже к 1998 году удалось наладить объем до 1.12 млн. тонн, а к 2005 году до 1.69 млн. тонн. К 2008 году объем выращивания сократился до 1.26 млн. тонн, но затем вырос и к 2016 году страна выращивала 3.2 млн. тонн. В 2017 году объем производства упал до 2.7 млн. тонн, но к 2022 году вырос до 3.5 млн. тонн. Резкий рост посевных площадей в стране стал наблюдаться с 1987 года (0.06 млн. га) до 2007 года (0.96 млн. га), а в 2008 году их значение упало до 0.785 млн. га и в дальнейшем росло, достигнув пика в 2022 году в размере 1.5 млн. га. Средняя урожайность в Боливии за последние 10 лет составила 2.235 тонны с га, что на 16.85% ниже среднего мирового показателя. При этом максимум урожайности зафиксирован в 2016 году в размере 2.398 тонны с га. Некоторые исследования объясняют бурный рост соевой промышленности Боливии вливаниями иностранного капитала в соевую промышленность страны через создание крупных иностранных сельскохозяйственных холдингов [15]. Эти обстоятельства также приводят к концентрации крупного сельскохозяйственного бизнеса и ликвидации мелких фермерских хозяйств, а также формированию крупных монополистических структур в секторе сельского хозяйства, контролирующего крупные землевладения. Аналогичные процессы протекают не только в Боливии, но и Аргентине, Бразилии и Парагвае.

И последней страной для рассмотрения является Украина (см. рисунок 17). Несмотря на то, что дальнейшее экономическое развитие и сельскохозяйственная конкуренция находится под вопросом в связи с ведущимися

боевыми действиями, ее показатели следует рассматривать в контексте глобальных тенденций.

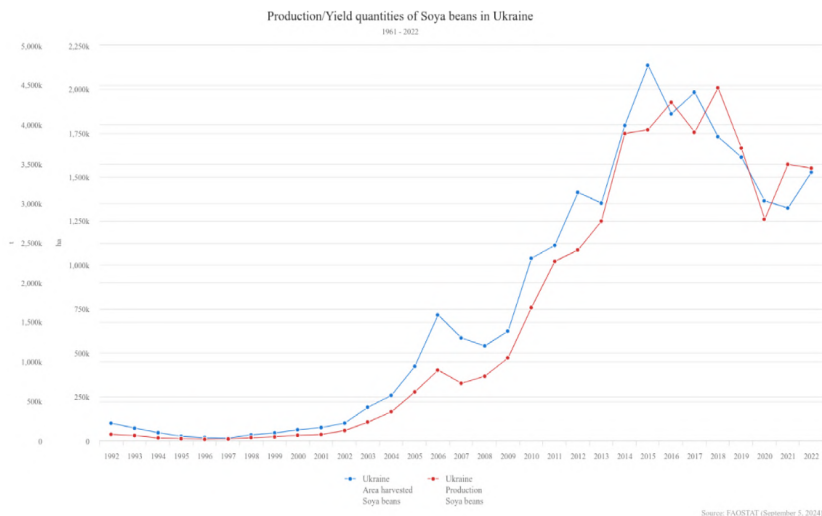


Рис. 17. Производство и посевные площади соевых бобов на Украине
Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

До 2002 года производство соевых бобов на Украине не превышало 0.12 млн. тонн, но к 2009 году удалось достичь значения в 1 млн. тонн. Дальнейший резкий рост позволил к 2018 году достичь максимума в размере 4.46 млн. тонн, но затем к 2020 году объем производства упал до 2.8 млн. тонн и к 2022 году восстановился до значений 3.44 тонны. При этом дальнейшие перспективы развития соевых бобов остаются туманными. Что касается посевных площадей, то до 1997 года они непрерывно сокращались и достигли значения 0.013 млн. га, но затем начался постепенный рост до 2002 года, когда удалось увеличить площади до 0.098 млн. га. Дальнейшее стремительное развитие посевных площадей позволило к 2006 году увеличить их до 0.71 млн. га. До 2009 года они сократились до 0.622 млн. га и затем достигли своего максимума в 2015 году в 2.14 млн. га. К 2021 году размер посевных площадей сократился до 1.3 млн. га и в 2022 году составил 1.53 млн. га. Средняя урожайность за последние 10 лет на Украине соевых бобов составила 2.215 тонны с га, что ниже среднемирового показателя на 18.53%. Максимальная урожайность составила 2.641 тонны с га в 2021 году.

Обсуждение

Проведенный анализ показывает, что урожайность соевых бобов различных стран неоднородна и существенно различается, что представлено на рисунке 18.

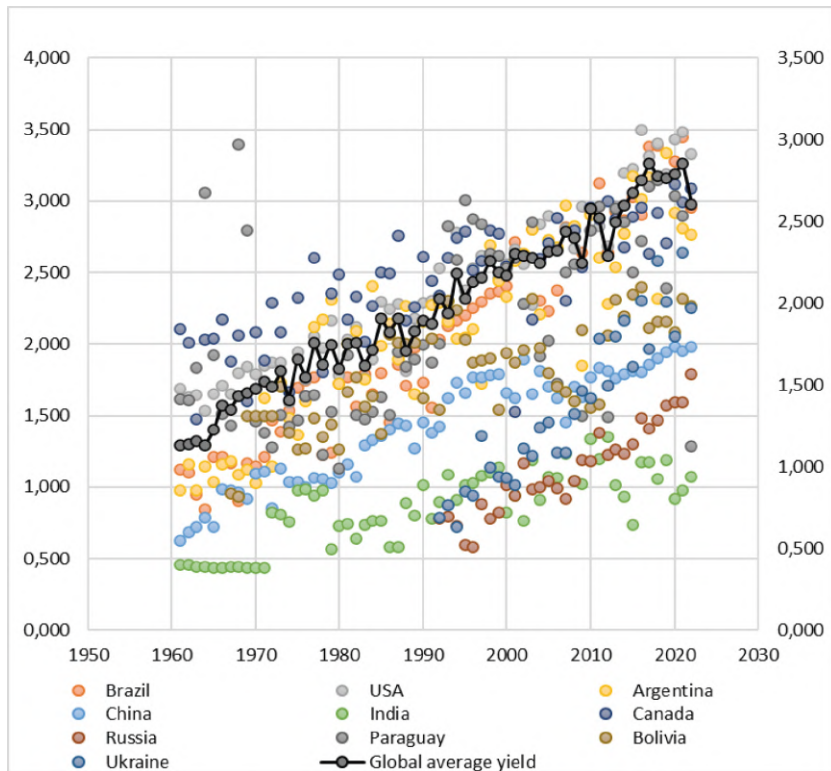


Рис. 18. Динамика изменения урожайности соевых бобов по ключевым странам
Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Показатели урожайности выше среднемировых имеют только 4 страны: Бразилия, США, Аргентина и Канада. Наиболее низкие показатели урожайности наблюдаются у Индии и России, а наиболее высокие только у Бразилии и США. Кроме того, можно отметить устойчивую тенденцию роста урожайности соевых бобов, которая за 60 лет увеличилась на 131% с 1.129 тонны с гектара до 2.607 тонн с га. При этом мировой максимум средней урожайности достигнут в 2021 году и составил 2.858 тонны с га. При этом

по всем ключевым странам наблюдается тенденция увеличения урожайности соевых бобов, что говорит об успешном применении современных сельскохозяйственных технологий и биотехнологических разработок.

Сравнение урожайности между странами за последние 20 лет представлено на рисунке 19.

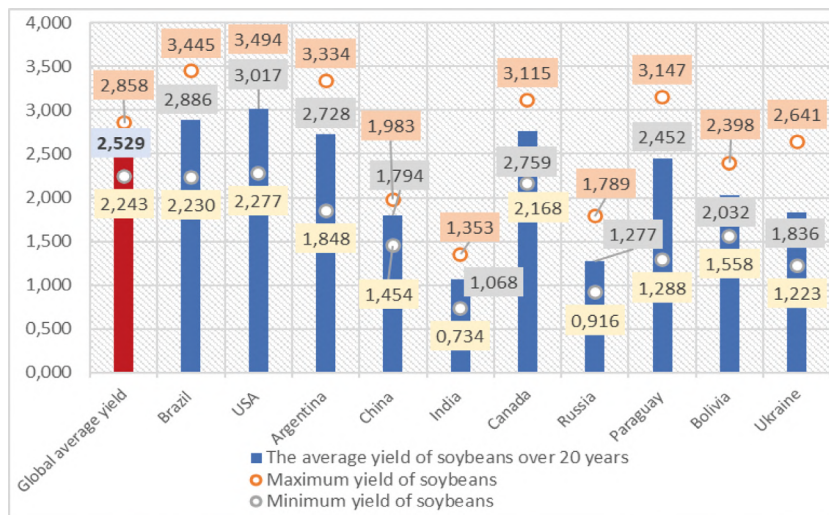


Рис. 19. Сравнение урожайности соевых бобов по ключевым странам производителям за последние 20 лет

Источник: Составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [2]

Безусловными лидерами по производству соевых бобов являются США и Бразилия, но следует учитывать, что именно в США сохраняется высокий потенциал дальнейшего роста этого показателя (зарегистрированный максимум 3.494 тонны с га). Несмотря на то, что мировая доля выращивания соевых бобов США сокращается, они остаются лидирующей страной как по производству, так и по технологическому лидерству. Вторым крупным игроком можно считать Бразилию, объем производства которой сопоставима с показателями США.

На третьем месте по урожайности стоит Канада, которая достаточно близка к значениям США и Бразилии, но существенно уступающая в объемах выращивания. По объемам на третьем месте можно отметить Аргентину, но она уступает Канаде по показателю урожайности, хоть и незначительно. При этом потенциальный максимум в Аргентине выше,

чем в Канаде, а следовательно, существует и более высокий потенциал достижения высокой урожайности, что в совокупности с большими объемами производства соевых бобов делают эту страну одним из ключевых игроков.

Наиболее низкие показатели урожайности наблюдаются в Индии и России 1.068 и 1.277 тонн с га соответственно, которые компенсируют данные значения за счет увеличения посевных площадей.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Мировое производство соевых бобов за последние 60 лет увеличилось в 13 раз, достигнув в 2022 году значения в 348.8 млн. тонн (в 1961 году – 26.9 млн. тонн). Максимальное значение показателя производства достигнуто в 2021 – 372.8 млн. тонн.
2. Мировые посевные площади под соевые бобы увеличились на 462% с 23.8 млн. га в 1961 году до 133.8 млн. га в 2022 году.
3. Выявлен линейный характер прирост показателя урожайности, который вырос с 1.13 тонны с гектара в 1961 году до 2.61 в 2022 году.
4. С начала 60-х годов основной территорией выращивания соевых бобов было США, на долю которых приходилось почти 70% мирового производства, и страна по сути являлась монополистом мирового рынка. На втором месте был Китай с долей в 23.5%. На США и Китай приходилось 92.7% мирового производства сои. К 2022 году структура мирового производства соевых бобов стала более дифференцированной, но с присутствием явных доминирующих зон выращивания. Бразилия в итоге по объемам выращивания сои вытеснила США и заняла 35.7% мирового производства, в то время как США – 34.4%; Аргентина – 13% и Китай – 6%; Индия – 3.84%. На долю этих пяти стран пришлось 92.94%. При этом можно было выделить рост производства сои в таких странах как: Канада – 1.93% в мировом производстве; Россия – 1.78%; Парагвай – 1.34%; Боливия – 1.02% и Украина – 1.02%. На эти пять стран приходится 7.1% мирового производства соевых бобов.
5. Показатели урожайности за последние 20 лет выше среднемировых (2.529 тонны с га) имеют только 4 страны: Бразилия (2.886 тонн/га), США (3.017 тонн/га), Аргентина (2.728 тонн/га) и Канада (2.759 тонн/га). Наиболее низкие показатели урожайности наблюдаются у Индии (1.068 тонн/га) и России (1.277 тонн/га).

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета по государственному заданию (наименование темы научного исследования «Разработка и реализация стратегии развития внешнеэкономических связей сельского хозяйства и агропромышленного комплекса Российской Федерации с учетом санкционных ограничений и новых приоритетов экономического сотрудничества с зарубежными странами»; код научной темы, присвоенной учредителем, - FZUN-2024-0007).

Список литературы / References

1. Cohn, A. S., & O'Rourke, D. (2011). Agricultural certification as a conservation tool in Latin America. *Journal of Sustainable Forestry*, 30(1–2), 158–186.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Crops and livestock products*. Retrieved from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Last update: December 23, 2023).
3. Dreoni, I., Matthews, Z., & Schaafsma, M. (2021). The impacts of soy production on multi-dimensional well-being and ecosystem services: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 335, 130182. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130182>
4. Elgert, L. (2015). 'More soy on fewer farms' in Paraguay: Challenging neoliberal agriculture's claims to sustainability. *The Journal of Peasant Studies*, 43(2), 537–561.
5. Bavar, A. V., Bavar, A. R., Gholian-Jouybari, F., Hajiaghahi-Keshteli, M., & Mejía Argueta, C. (2023). A design of a circular closed-loop agri-food supply chain network: A case study of the soybean industry. *Journal of Industrial Information Integration*, 36, 100530. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2023.100530>. EDN: <https://elibrary.ru/WUIRMG>
6. Felipe, A. F. (2013). State capacity and intellectual property regimes: Lessons from South American soybean agriculture. *Technology in Society*, 35(2), 139–152.
7. Garrett, R. D., Lambin, E. F., & Naylor, R. L. (2013). The new economic geography of land use change: Supply chain configurations and land use in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 34, 265–275.
8. Hasan, N., Suryani, E., & Hendrawan, R. (2015). Analysis of soybean production and demand to develop strategic policy of food self-sufficiency: A system dynamics framework. *Procedia Computer Science*, 72, 605–612.

9. Heydari, R., Maafi, Z. T., & Pourjam, E. (2012). Yield loss caused by soybean cyst nematode, *Heterodera glycines*, in Iran. *Nematology*, 14, 589–593.
10. Kamali, F. P., Meuwissen, M. P., de Boer, I. J., van Middelaar, C. E., Moreira, A., & Lansink, A. G. O. (2017). Evaluation of the environmental, economic, and social performance of soybean farming systems in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 385–394.
11. Khojely, D. M., Ibrahim, S. E., Sapey, E., & Han, T. (2018). History, current status, and prospects of soybean production and research in sub-Saharan Africa. *The Crop Journal*, 6, 226–235.
12. Li, Y. H., Li, W., Zhang, C., Yang, L., Chang, R. Z., Gaut, B. S., & Qiu, L. J. (2010). Genetic diversity in domesticated soybean (*Glycine max*) and its wild progenitor (*Glycine soja*) for simple sequence repeat and single-nucleotide polymorphism loci. *New Phytologist*, 188, 242–253. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03344.x>. EDN: <https://elibrary.ru/NZQEIN>
13. Majidian, P., Ghorbani, H., & Farajpour, M. (2024). Achieving agricultural sustainability through soybean production in Iran: Potential and challenges. *Heliyon*, 10(4), e26389. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26389>. EDN: <https://elibrary.ru/CICGGE>
14. McKay, B. M. (2017). Control grabbing and value-chain agriculture: BRICS, MICs and Bolivia's soy complex. *Globalizations*, 15(1), 74–91.
15. Medina, G., Almeida, C., Novaes, E., Javier, G., & Pokorny, B. (2015). Development conditions for family farming: Lessons from Brazil. *World Development*, 74, 386–396.
16. Delvenne, P., Vasen, F., & Vara, A. M. (2013). The “soy-ization” of Argentina: The dynamics of the “globalized” privatization regime in a peripheral context. *Technology in Society*, 35(2), 153–162.
17. Wilkinson, J. M. (2011). Re-defining efficiency of feed use by livestock. *Animal*, 5, 1014–1022.
18. William, W., Dahl, B., & Hertsgaard, D. (2019). Soybean quality differentials, blending, testing and spatial arbitrage. *Journal of Commodity Markets*, 18, 100095.
19. Yang, L., Song, W., Xu, C., Sapey, E., Jiang, D., & Wu, C. (2023). Effects of high night temperature on soybean yield and compositions. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1065604. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1065604>. EDN: <https://elibrary.ru/OHVVMI>
20. He, Y., & Matthews, M. L. (2023). Seasonal climate conditions impact the effectiveness of improving photosynthesis to increase soybean yield. *Field Crops Research*, 296, 108907. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.108907>. EDN: <https://elibrary.ru/VGACYY>

ВКЛАД АВТОРОВ

Аксенов И.А.: анализ показателей, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Трунин Г.А.: выявление тенденций, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Фабриков М.С.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Лисятников М.С.: визуализация показателей исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Прусов Е.С.: выгрузка показателей из БД ФАО ООН, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Рощина С.И.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ilia A. Aksenov: analysis of indicators, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Grigory A. Trunin: identifying trends, interpreting results, preparing the text of the article.

Maksim S. Fabrikov: general management of the research direction, interpretation of the results, preparation of the article text.

Mikhail S. Lisyatnikov: visualization of research indicators, interpretation of results, preparation of the article text.

Evgeny S. Prusov: uploading indicators from the UN FAO database, interpreting the results, preparing the text of the article.

Svetlana I. Roshchina: general management of the research direction, interpretation of the results, preparation of the article text.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Аксенов Илья Антонович, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственное право и управление таможенной деятельностью

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация

il_aks@mail.ru

Трунин Григорий Александрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Финансовое право и таможенная деятельность»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
trunin_gr@mail.ru

Фабриков Максим Сергеевич, кандидат педагогических наук, доцент, проректор по экономике и развитию инфраструктуры, заведующий кафедрой технологического и экономического образования

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
fabrikoff@mail.ru

Лисятников Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
mlisятnikov@mail.ru

Прусов Евгений Сергеевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, доцент кафедры технологии функциональных и конструкционных материалов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
eprusov@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительных конструкций
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
rsi3@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Ilya A. Aksenov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of State Law and Management of Customs Activities
Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
Il_aks@mail.ru
SPIN-code: 4145-4764
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0541-327X>
ResearcherID: O-6110-2017
Scopus Author ID: 57216752275

Grigory A. Trunin, PhD, Associate Professor of the Department of Financial Law and Customs
Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
trunin_gr@mail.ru
SPIN-code: 5224-4863
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0035-0903>

Maksim S. Fabrikov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Economics and Infrastructure Development, Head of the Department of Technological and Economic Education
Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
fabrikoff@mail.ru
SPIN-code: 9291-8518

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7063-7529>

Scopus Author ID: 57202913121

Mikhail S. Lisyatnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Construction

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov

87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

mlisyatnikov@mail.ru

SPIN-code: 4089-7216

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5262-6609>

ResearcherID: V-6057-2018

Scopus Author ID: 56195815500

Evgeny S. Prusov, Doctor of Technical Sciences, Lead Researcher, Associate Professor of the Department of Structural and Functional Materials Technology

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov

87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

eprusov@mail.ru

SPIN-code: 9271-9470

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4189-877X>

ResearcherID: K-5461-2016

Scopus Author ID: 54416217300

Svetlana I. Roshchina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Construction

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletov

87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

rsi3@mail.ru

SPIN-code: 4159-8639

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0356-1383>

ResearcherID: A-7722-2019

Scopus Author ID: 57131029400

Поступила 30.01.2025

После рецензирования 05.03.2025

Принята 14.03.2025

Received 30.01.2025

Revised 05.03.2025

Accepted 14.03.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1272

EDN: OYDUPR

УДК 616-092.9



Обзорная статья

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

*Д.С. Куспаналиева, С.В. Булатецкий,
Е.А. Ермакова, М.В. Маслова*

Аннотация

Обоснование. Заболевания сердечно-сосудистой системы представляют собой важную медико-социальную проблему. Исходом многих из них является сердечная недостаточность. Данная патология вносит существенный вклад в повышение уровня инвалидизации и смертности. Поэтому в исследованиях часто используют экспериментальное моделирование сердечной недостаточности, что позволяет создавать новые стратегии и подходы к лечению сердечной недостаточности.

Цель. Изучить российские и зарубежные (на английском языке) литературные источники, в которых описываются способы экспериментального моделирования сердечной недостаточности.

Материалы и методы. Для анализа использовались материалы электронных баз данных eLibrary, PubMed, «КиберЛенинка» (Cyberleninka).

Результаты. В литературных источниках описано множество способов экспериментального воспроизведения сердечной недостаточности, которые могут быть представлены как хирургические, фармакологические и хемогенетические методы. Хирургические модели чаще всего основаны на моделировании у животных окклюзии левой коронарной артерии или моделированием перегрузочной сердечной недостаточности левого желудочка объемом – преднагрузка или давлением (сопротивлением) – постнагрузка. Фармакологическое воспроизведение сердечной недостаточности достигается введением химических препаратов, которые обладают выраженным кардиотоксическим эффектом. Хемогенетическая модель позволяет изучить биохимические аспекты повреждения при сердечной недостаточности.

Заключение. Каждый из данных методов имеет свои достоинства и недостатки. Тем не менее, рассмотренные экспериментальные модели широко

применяются, способствуют более полному изучению особенностей патогенеза сердечной недостаточности, возникающей под действием различных этиологических факторов.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания; хроническая сердечная недостаточность; экспериментальная модель; обзор литературы

Для цитирования. Куспаналиева, Д. С., Булатецкий, С. В., Ермакова, Е. А., & Маслова, М. В. (2025). Методы экспериментального воспроизведения сердечной недостаточности. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 609-624. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1272>

Scientific Review

METHODS OF EXPERIMENTAL REPRODUCTION OF HEART FAILURE

*D.S. Kuspanaliev, S.V. Bulatetskiy,
E.A. Ermakova, M.V. Maslova*

Abstract

Background. Cardiovascular diseases represent a significant medical and social problem, with heart failure being a common outcome. This condition contributes substantially to the rising rates of disability and mortality. That's why the experimental models to develop new strategies and approaches for managing heart failure are widely used.

Purpose. To review Russian and international (English-language) literature that describes methods of experimentally modeling heart failure.

Materials and methods. The analysis was based on materials from electronic databases such as eLibrary, PubMed, and CyberLeninka.

Results. The literature outlines various methods for experimentally inducing heart failure, which can be classified into three groups: surgical, pharmacological, and chemogenetic. Surgical models are often based on occlusion of the left coronary artery in animals or creation of overload of the left ventricle by volume and resistance. Pharmacological models include administration of drugs having cardiotoxic effect. The chemogenetic model allows to reveal the biochemical aspects of myocardial damage in heart failure.

Conclusion. Each of these approaches has its own advantages and limitations. Nevertheless, the considered experimental models are widely used and contribute to a more complete study of the pathogenesis of heart failure that develops under the influence of various etiological factors.

Keywords: cardiovascular diseases; chronic heart failure; experimental model; literature review

For citation. Kuspanalieva, D. S., Bulatetskiy, S. V., Ermakova, E. A., & Maslova, M. V. (2025). Methods of experimental reproduction of heart failure. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 609-624. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1272>

Введение

В настоящее время сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) представляют собой острую медико-социальную проблему, значимость которой неоспорима. По данным разных исследователей, в Европе свыше 4,3 млн. смертей (что составляет около 48%) обусловлены болезнями системы кровообращения. Следует отметить, что эти данные варьируют в разных странах. Например, летальность среди мужчин в Каталонии (Испания) и Белфасте (Великобритания) ниже на 50%, чем в Москве (РФ) [2]. Тем не менее, данные исследования MONICA показывают тенденцию к снижению заболеваемости и смертности от ССЗ, так как подходы к профилактике, диагностике и лечению постоянно совершенствуются, а факторы риска контролируются более эффективно [16]. Известно, что большинство из них обусловлены образом жизни. Доказана связь сердечно-сосудистой патологии с возрастом, полом, ожирением, неправильным питанием (с большим содержанием животных жиров и избытком углеводов), гипокинезией, курением, злоупотреблением алкоголем.

По многочисленным научным данным сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной заболеваемости и смертности среди пациентов с диабетом, который диагностируют примерно у трети больных [28].

Многие авторы указывают на появление в последнее время новых факторов риска. Среди них следует отметить психоэмоциональный стресс и социально-экономические факторы. Они могут действовать непосредственно или усиливать воздействие традиционных факторов риска [5].

Часто исходом ССЗ является развитие хронической сердечной недостаточности (ХСН). ХСН – это клинический синдром, который характеризуется нарушением сократительной функции миокарда левого желудочка и неспособностью сердца обеспечить адекватное кровоснабжение органов и тканей [9].

По данным исследователей, заболеваемость ХСН в странах Европы в среднем составляет 3:1000 населения в год. Около 50% пациентов с ХСН составляют женщины. Что касается прогноза, то, несмотря на достигнутые успехи, он по-прежнему остается неблагоприятным. Данные американ-

ских и европейских эпидемиологических исследований однозначно свидетельствуют о том, что ХСН вносит существенный вклад в повышении уровня инвалидизации и смертности [1].

ХСН имеет многокомпонентный патогенез. Большую роль в развитии данной патологии играет активация симпатoadреналовой системы, выделение большого количества катехоламинов, а также активация ренин-ангиотензин-альдостероновой системы [12].

Таким образом, для более эффективного лечения и улучшения качества жизни таких пациентов необходимо изучать различные аспекты патогенеза данной патологии. С этой целью исследователи часто прибегают к экспериментальному моделированию, что существенно обогащает наши знания о механизмах развития этого синдрома [3; 10].

Поскольку новые терапевтические устройства и лекарственные препараты сложно оценить на практике, ввиду возможных побочных эффектов, необходимо изучение нововведений на доклиническом этапе. Задача создания высокоточных моделей сердечной недостаточности (СН) на животных имеет высокую актуальность [21].

Цель исследования – изучить российские и зарубежные (на английском языке) литературные источники, в которых описываются способы экспериментального моделирования сердечной недостаточности.

Материалы и методы

Нами использовались материалы электронных баз данных, таких как российская научная электронная библиотека eLibrary.Ru, поисковая система по биомедицинским исследованиям PubMed, научная электронная библиотека «КиберЛенинка» (Cyberleninka).

Результаты исследования

В проанализированных нами доступных источниках наиболее часто использовались хирургические и фармакологические модели сердечной недостаточности [4]. Следует отметить, что существуют и другие способы воспроизведения ХСН, например, хомогенетический или с помощью цитокинов, но к ним прибегают значительно реже.

Хирургические модели

Известно, что ХСН часто развивается после инфаркта миокарда (ИМ). Следовательно, смоделировав ИМ, мы получаем возможность более детально изучить патофизиологические процессы, происходящие в

сердечной мышце при ишемии. Для этого моделируют окклюзию левой коронарной артерии (ЛКА) [23]. Операцию проводят на крысах линии Wistar. Животное наркотизируют с помощью таких препаратов как Хлоралгидрат, Кетамин, Золетил, Ксилазин. Далее его подключают к искусственной вентилиции легких путем интубации трахеи или производя трахеостомию. Первый способ является более физиологичным. Потом осуществляют торакотомию. После получения доступа к сердцу и удаления перикарда находят левую коронарную артерию в области ушка левого предсердия и накладывают на нее лигатуру. Наступление ишемии подтверждают электрокардиографически. Морффункциональные изменения регистрировали с помощью трансторакальной эхокардиографии [7]. Данная модель имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, сердце крысы имеет свои особенности. Оно сокращается с большей частотой, имеет большее количество адренорецепторов, что обуславливает различие в потреблении кислорода. Во-вторых, коронарные артерии у мышей и крыс мелкие, поэтому их сложно визуализировать во время операции. В-третьих, сама операция технически сложная, требует от исследователя определенных навыков. А самое главное, она сопровождается достаточно большой смертностью лабораторных животных [13; 22].

Животные, не относящиеся к грызунам (овцы, приматы, не являющиеся людьми, кошки или телята), среди которых чаще используются кошки, собаки и свиньи составляют экспериментальные модели «крупных животных». Модели на кошках очень хорошо имитируют СН с сохраненной фракцией выброса, но из-за небольшого размера этих животных результаты могут расходиться с крупными млекопитающими. Данное обстоятельство обуславливает необходимость использования других крупных животных [26].

Так на собаках воспроизводят аневризму левого желудочка. Для этого одномоментно осуществляют перевязку огибающей ветви ЛКА между двумя лигатурами с последующими физическими нагрузками [19]. Такие модели, как бы то ни было, имеют этические ограничения. В связи с этим не теряют своей актуальности воспроизведение ХСН на овцах [27].

Помимо воспроизведения ХСН после инфаркта миокарда используются хирургические модели, которые воссоздают перегрузку давлением и объемом. Для создания перегрузки давлением у крыс производят частичную перевязку легочной артерии. С помощью клипового аппликатора LX107 Ethicon производилась компрессия сосуда с помощью клипсы. После операции у экспериментальных животных были выявлены признаки фибро-

за миокарда правого желудочка. Для воспроизведения перегрузки объемом дистальнее почечных артерий создавали артериовенозный анастомоз между брюшной аортой и нижней полой веной. При этом была отмечена активация симпатоадреналовой системы и ренин-ангиотензин-альдостероновой системы, которые играют важную роль в патогенезе сердечной недостаточности [20]. Недостатками данных моделей также является техническая сложность.

Несмотря на свои недостатки, хирургические модели позволяют получить много ценных данных о патогенезе ХСН, и понять, что происходит в организме больного.

Фармакологические модели

Фармакологические подразумевают воссоздание ХСН у животных путем введения им препаратов, обладающих кардиотоксическим эффектом [6]. Из них наиболее часто упоминались следующие:

А) Доксорубициновая модель. Препарат, широко применяемый для химиотерапии рака, ежедневно вводится внутривентрально в дозе 15 мг/кг в течение 14 дней. При использовании данного цитостатика моделирование СН достигается путем прямого токсического действия на миокард [14].

Б) Изадриновая модель. Бета-адреномиметическое средство (изадрин) вводят животному в дозе 80 мг/кг 2 раза в день или с интервалом в 24 часа.

В) Мезатоновая модель. Мезатон, стимулируя α -адренорецепторы, вызывает сужение просвета артерий, что приводит к перегрузке миокарда сопротивлением. При это не только усиливается сократимость миокарда, но и происходит увеличение его потребности в кислороде. Развивающееся несоответствие между потребностью миокарда в кислороде и его поступлением приводит к возникновению сердечной недостаточности [24].

Некоторые исследователи предлагают сочетать введение мезатона и физическую нагрузку (животное плавает в небольшом бассейне в течение 20 минут). При этом у крыс наблюдаются деструкция кардиомиоцитов и разрастание стромальных элементов [8].

Помимо адренорецепторов большую роль в патогенезе СН играют и рецепторы к ангиотензину II (AT_2). Считается, что именно с этими рецепторами связано развитие гипертрофии миокарда, но их роль долго оставалась неясной. Чтобы изучить физиологические функции рецепторов к AT_2 , были созданы линии генетически модифицированных мышей путем делеции и сверхэкспрессии гена AT_2 [18]. Также японскими учеными была выведена линия грызунов, которая отличалась чувствительностью к соли и склонных к ожирению. При патологоанатомическом исследовании у них

выявлялась диастолическая дисфункция левого желудочка, его гипертрофия и фиброз. Кроме того, липидный профиль лабораторных животных был сходен с таковым при метаболическом синдроме. В настоящее время данное направление является перспективным [15]. Выведение генетически модифицированных линий животных значительно повышает эффективность применения фармакологических моделей.

В литературе часто упоминается динамическая модель ХСН. При данном подходе в плевральные полости крысы вводят силиконовое масло в дозе 1,5 мл на 100 г массы тела животного. Эксперимент длится 90 дней. Введение силиконового масла вызывает повышение давления в легочной артерии. При гистологическом исследовании была выявлена гипертрофия и гиперплазия мышечных и эластических волокон, что приводило к сужению просвета сосуда, повышению давления и перегрузке правых отделов сердца [25]. При моделировании ХСН этим способом отмечается увеличение концентрации адреналина в крови крыс, что свидетельствует об активации симпатoadреналовой системы. По данным авторов, при использовании этой модели происходят функциональные и морфологические нарушения в сердце, следовательно, она является адекватной, и может быть рекомендована для проведения научных исследований в области ХСН [17].

Хомогенетическая модель

Данная модель позволяет раскрыть биохимические аспекты повреждения миокарда при ХСН. Генноинженерным путем получен ген, кодирующий D-аминокислоту. Его вводят в организм крысы с помощью адено-ассоциированного вируса 9 типа, обладающего тропностью к миокарду. Когда данный вирус попадает в миокард, где начинается усиленная продукция D-аланина, что ведет к накоплению перекиси водорода. В результате активируется процесс перекисного окисления липидов. Данная модель позволяет изучить роль «оксидативного стресса» в патогенезе ХСН. Тем не менее, о других биохимических процессах, лежащих в основе ХСН, известно мало, что ограничивает применение данного метода. Несмотря на это, данная модель дает много новых и полезных сведений о патогенезе ХСН [29].

Цитокиновая модель

Роль активации иммунной системы при ХСН активно изучается последние 20 лет. Наибольшее значение придается провоспалительным цитокинам, например, фактору некроза опухоли- α (ФНО- α). Исследователи полагают, что ФНО- α имеет прямое негативное влияние на кальцийзависи-

мые процессы в кардиомиоците, что приводит к запуску процесса апоптоза, снижение выработки оксида азота в эндотелии, усилению оксидативного стресса. В ходе классической экспериментальной работы B. Bozkurt и соавторы получили прямые доказательства роли провоспалительных цитокинов. Исследователи отметили значительное снижение сократительной способности миокарда, а также развитие необратимой дилатации желудочков при длительном инфузионном введении ФНО- α крысам [11].

Заключение

Сердечная недостаточность относится к основным причинам коронарной смерти и инвалидности во всём мире и может быть определена как конечный результат любых нарушений структуры и функций сердца, которые приводят к ухудшению наполнения или выброса желудочков. Использование мышей со специально выведенным генотипам относят к моделям «мелких животных». Животные, не относящиеся к грызунам составляют экспериментальные модели «крупных животных». В этом отношении у грызунов есть отличительные особенности сердца, такие как его структура и более высокая частота сердечных сокращений, которые часто мешают получить достоверные данные о времени изоволюметрической релаксации и скорости движения митрального клапана, особенно при использовании неинвазивных методов, таких как эхокардиография, для определения функции сердца. Патофизиология сердечной недостаточности у крупных животных больше похожа на человеческую, но этические соображения и трудности в достижении трансгеноза у крупных животных ограничивают проведение исследований. К общим недостаткам большинства моделей сердечной недостаточности на животных является, во-первых, – сам процесс быстрого (внезапного) развития сердечной недостаточности вследствие хирургического вмешательства или введения лекарственных препаратов, в то время как у людей сердечная недостаточность обычно развивается в течение нескольких лет. Во-вторых, у людей формирование ХСН обычно связано со старением организма, длительным действием неблагоприятных факторов, с наличием сопутствующих заболеваний, включая атеросклероз, гипертонию, диабет, ожирение и др., а модели диастолической дисфункции на животных относительно скоротечны.

Выводы

1. Механизм развития хронической сердечной недостаточности представляет сложную совокупность гемодинамических нарушений, нейрогу-

моральных и иммунологических реакций, которые взаимодействуя между собой способствуют прогрессированию заболевания.

2. Моделирование сердечной недостаточности в эксперименте на животных является чрезвычайно ценным инструментом для понимания патогенеза ее развития, даже с учётом того, что результаты экспериментов не всегда применимы к пациентам-людям.

3. Хирургические и фармакологические модели хронической сердечной недостаточности широко применяются в эксперименте, но не существует единого экспериментального воспроизведения сердечной недостаточности, отражающего все аспекты этиологии и патогенеза данной патологии.

4. Экспериментальные модели сердечной недостаточности у людей лучше воспроизводятся на крупных животных, что особенно важно в изучении патофизиологических аспектов, особенно в отношении диастолической дисфункции.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Гатцов, П. (2021). Сердечная недостаточность 2019: информация из журналов национальных кардиологических обществ. *Российский кардиологический журнал*, 26(2), 160–162. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4408>. EDN: <https://elibrary.ru/JTDEOC>
2. Исаков, Е. Б. (2017). Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний. *Медицина и экология*, (2), 19–28.
3. Куспаналиева, Д. С., Маслова, М. В., & Спесивцева, Н. Н. (2022). Экспериментальное моделирование сердечной недостаточности. В *Международная научно-практическая конференция: «Актуальные проблемы патофизиологии», 11 ноября 2022 года, г. Чита* [Электронный ресурс]: сборник научных статей. Чита: РИЦ ЧГМА, 95–97. EDN: <https://elibrary.ru/RJXTIS>
4. Лискова, Ю. В., Саликова, С. П., & Стадников, А. А. (2014). Экспериментальные модели сердечной недостаточности: состояние вопроса и результаты собственного исследования. *Морфологические ведомости*, (1), 46–53. EDN: <https://elibrary.ru/SJVINZ>
5. Махамадходжаева, М. А., & Дониев, И. (2021). Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний. *Scientific progress*, 2(6), 1902–1906.

6. Жариков, А. Ю., Белокуров, С. С., Мельников, А. А., Семерьянова, Е. К., Калинин, Д. А., & Гаранин, С. А. (2023). Моделирование патологий сердечно-сосудистой системы (обзор литературы). *Бюллетень медицинской науки*, (4), 128–138. <https://doi.org/10.31684/25418475-2023-4-128>. EDN: <https://elibrary.ru/PQDBQU>
7. Карпов, А. А., Ивкин, Д. Ю., Драчева, А. В., Питухина, Н. Н., Успенская, Ю. К., Ваулина, Д. Д., Усков, И. С., Эйвазова, Ш. Д., Минасян, С. М., Власов, Т. Д., Бурякина, А. В., & Галагудза, М. М. (2014). Моделирование постинфарктной сердечной недостаточности путём окклюзии левой коронарной артерии у крыс: техника и методы морфофункциональной оценки. *Биомедицина*, (3), 32–48. EDN: <https://elibrary.ru/TESSOL>
8. Болотских, В. И., Макеева, А. В., Лущик, М. В., Мокашева, Ек. Н., Мокашева, Ев. Н., & Шишкина, В. В. (2022). Оценка результативности и воспроизводимости биологических моделей хронической сердечной недостаточности. *Успехи современной биологии*, 142(4), 382–389. <https://doi.org/10.31857/S0042132422040032>. EDN: <https://elibrary.ru/TSKDTM>
9. Алёшечкин, П. А., Щукина, Е. В., Циба, И. Н., Шевченко, А. С., Василенко, В. В., & Шулик, А. И. (2021). Распространённость хронической сердечной недостаточности и стратификация рисков ранней постгоспитальной летальности (обзор литературы). *Актуальные проблемы медицины*, 44(3), 305–318. <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2021-44-3-305-318>. EDN: <https://elibrary.ru/MCERVG>
10. Куспаналиева, Д. С., Ермакова, Е. А., Маслова, М. В., & Булатецкий, С. В. (2024). Роль патофизиологического эксперимента в обучении студентов-медиков: за и против. *Перспективы науки*, (8), 169–171. EDN: <https://elibrary.ru/LOAUBX>
11. Усманова, У. И., & Муминов, Ж. З. (2023). Патогенетическое влияние цитокинов на прогрессирование хронической сердечной недостаточности ишемической этиологии. *Экономика и социум*, 106(3), 520–524. EDN: <https://elibrary.ru/XDNQJW>
12. Исмаилов, И. Я., Скворцов, В. В., Скворцова, Е. М., & Калинин, Е. И. (2015). Хроническая сердечная недостаточность. *Медицинская сестра*, (7), 14–18. EDN: <https://elibrary.ru/UQDTBZ>
13. Breckenridge, R. (2010). Heart failure and mouse models. *Disease Models & Mechanisms*, (3), 138–143. <https://doi.org/10.1242/dmm.005017>.
14. Tocchetti, C. G. et al. (2020). Cardiac dysfunction in cancer patients: beyond direct cardiomyocyte damage of anticancer drugs: novel cardio-oncology insights from the joint 2019 meeting of the ESC Working Groups of Myocardial

- Function and Cellular Biology of the Heart. *Cardiovascular Research*, 116(11), 1820–1834. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa222>. EDN: <https://elibrary.ru/QO-IMJM>
15. Nagata, K. et al. (2024). Comparison of the effects of renal denervation at early or advanced stages of hypertension on cardiac, renal, and adipose tissue pathology in Dahl salt-sensitive rats. *Hypertension Research*, 47(10), 2731–2744. <https://doi.org/10.1038/s41440-024-01605-x>. EDN: <https://elibrary.ru/XSNNYP>
 16. Tunstall-Pedoe, H. et al. (1999). Contribution of trends in survival and coronary event rates to changes in coronary heart disease mortality: 10-year results from 37 WHO MONICA project populations. Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease. *The Lancet*, 353, 1547–1557. EDN: <https://elibrary.ru/DAGXUR>
 17. Cops, J., Haesen, S., De Moor, M., Mullens, W., & Hansen, D. (2019). Current animal models for the study of congestion in heart failure: an overview. *Heart Failure Reviews*, 24, 387–397. <https://doi.org/10.1007/s10741-018-9762-4>. EDN: <https://elibrary.ru/QHDEWE>
 18. D’Avila, M., Morgan, P. J., & Yan, X. (2021). Genetically modified mouse models used for studying the role of the AT2 receptor in cardiac hypertrophy and heart failure. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011, 5 pp. <https://doi.org/10.1155/2011/141039>.
 19. Dixon, J. A., & Spinale, F. G. (2009). Large animal models of heart failure: a critical link in the translation of basic science to clinical practice. *Circulation: Heart Failure*, 2(3), 262–271. <https://doi.org/10.1161/circheartfailure.108.814459>.
 20. Gunata, M., & Parlakpinar, H. (2023). Experimental heart failure models in small animals. *Heart Failure Reviews*, 28, 533–554. <https://doi.org/10.1007/s10741-022-10286-y>. EDN: <https://elibrary.ru/QMXJAP>
 21. Gao, Z., Liu, X., Kang, Y., Hu, P., Zhang, X., Yan, W., Yan, M., Yu, P., Zhang, Q., Xiao, W., & Zhang, Z. (2024). Improving the prognostic evaluation precision of hospital outcomes for heart failure using admission notes and clinical tabular data: multimodal deep learning model. *Journal of Medical Internet Research*, 2(2), 26. <https://doi.org/10.2196/54363>.
 22. Bacmeister, L., Schwarzl, M., Warnke, S., Stoffers, B., Blankenberg, S., Westermann, D., & Lindner, D. (2019). Inflammation and fibrosis in murine models of heart failure. *Basic Research in Cardiology*, 114(19), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s0035-0190722-5>. EDN: <https://elibrary.ru/DKKZIT>
 23. Ishikawa, K. (2018). Experimental models of cardiovascular diseases: methods and protocols. *Methods in Molecular Biology*. New York: Springer Science + Business Media, 404 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8597-5>.

24. Janssen, P. M. L., & Elnakish, M. T. (2019). Modeling heart failure in animal models for novel drug discovery and development. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 14(4), 355–363. <https://doi.org/10.1080/17460441.2019.1582636>.
25. Kerfourn, A., Lamia, B., Muir, J., & Letellier, C. (2016). A dynamical model for heart remodeling during the two phases of pulmonary arterial hypertension. *EPJ Nonlinear Biomedical Physics*, 4(1), 1–24. <https://doi.org/10.1140/epjnbp/s40366-015-0028-y>.
26. Miyagi, C., Miyamoto, T., Kuroda, T., Karimov, J. H., Starling, R. C., & Fukamachi, K. (2022). Large animal models of heart failure with preserved ejection fraction. *Heart Failure Reviews*, 27(2), 595–608. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10184-9>. EDN: <https://elibrary.ru/FXZZBX>
27. Geens, J. H., Trenson, S., Rega, F. R., Verbeken, E. K., & Meyns, B. P. (2009). Ovine models for chronic heart failure. *The International Journal of Artificial Organs*, 32(8), 496–506.
28. Nakamura, K., Miyoshi, T., Yoshida, M., Akagi, S., Saito, Y., Ejiri, K., Matsuo, N., Ichikawa, K., Iwasaki, K., Naito, T., Namba, Y., Yoshida, M., Sugiyama, H., & Ito, H. (2022). Pathophysiology and treatment of diabetic cardiomyopathy and heart failure in patients with diabetes mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3587. <https://doi.org/10.3390/ijms23073587>. EDN: <https://elibrary.ru/DBWUUY>
29. Sorrentino, A., & Michel, T. (2020). Redox à la carte: novel chemogenetic models of heart failure. *British Journal of Pharmacology*, 177, 3162–3167. <https://doi.org/10.1111/bph.15093>. EDN: <https://elibrary.ru/TVJJHX>

References

1. Gattsov, P. (2021). Heart failure 2019: information from journals of national cardiological societies. *Russian Journal of Cardiology*, 26(2), 160–162. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2021-4408>. EDN: <https://elibrary.ru/JTDEOC>
2. Iskakov, E. B. (2017). Epidemiology of cardiovascular diseases. *Medicine and Ecology*, (2), 19–28
3. Kuspanalieva, D. S., Maslova, M. V., & Spesivtseva, N. N. (2022). Experimental modeling of heart failure. In *International Scientific and Practical Conference: “Actual Problems of Pathophysiology”*, November 11, 2022, Chita [Electronic resource]: collection of scientific articles. Chita: RIC ChGMA, 95–97. EDN: <https://elibrary.ru/RJXTIS>
4. Liskova, Yu. V., Salikova, S. P., & Stadnikov, A. A. (2014). Experimental models of heart failure: current state and results of own research. *Morphological Reports*, (1), 46–53. EDN: <https://elibrary.ru/SJVINZ>

5. Makhamadkhodzhaeva, M. A., & Doniev, I. (2021). Risk factors for cardiovascular diseases. *Scientific Progress*, 2(6), 1902–1906
6. Zharikov, A. Yu., Belokurov, S. S., Melnikov, A. A., Semeryanova, E. K., Kalin, D. A., & Garanin, S. A. (2023). Modeling of cardiovascular system pathologies (literature review). *Bulletin of Medical Science*, (4), 128–138. <https://doi.org/10.31684/25418475-2023-4-128>. EDN: <https://elibrary.ru/PQDBQU>
7. Karpov, A. A., Ivkin, D. Yu., Dracheva, A. V., Pitukhina, N. N., Uspenskaya, Yu. K., Vaulina, D. D., Uskov, I. S., Eyvazova, Sh. D., Minasyan, S. M., Vlasov, T. D., Buryakina, A. V., & Galagudza, M. M. (2014). Modeling of post-infarction heart failure by occlusion of the left coronary artery in rats: technique and methods of morphofunctional assessment. *Biomedicine*, (3), 32–48. EDN: <https://elibrary.ru/TESSOL>
8. Bolotskikh, V. I., Makeeva, A. V., Lushchik, M. V., Mokasheva, Ek. N., Mokasheva, Ev. N., & Shishkina, V. V. (2022). Evaluation of effectiveness and reproducibility of biological models of chronic heart failure. *Advances in Modern Biology*, 142(4), 382–389. <https://doi.org/10.31857/S0042132422040032>. EDN: <https://elibrary.ru/TSKDTM>
9. Alyoshechkin, P. A., Shchukina, E. V., Tsiba, I. N., Shevchenko, A. S., Vasilenko, V. V., & Shulik, A. I. (2021). Prevalence of chronic heart failure and risk stratification for early post-hospital mortality (literature review). *Actual Problems of Medicine*, 44(3), 305–318. <https://doi.org/10.52575/2687-0940-2021-44-3-305-318>. EDN: <https://elibrary.ru/MCERVG>
10. Kuspanalieva, D. S., Ermakova, E. A., Maslova, M. V., & Bulatetsky, S. V. (2024). The role of pathophysiological experiment in medical student education: pros and cons. *Prospects of Science*, (8), 169–171. EDN: <https://elibrary.ru/LOAUBX>
11. Usmanova, U. I., & Muminov, Zh. Z. (2023). Pathogenetic influence of cytokines on the progression of chronic heart failure of ischemic etiology. *Economy and Society*, 106(3), 520–524. EDN: <https://elibrary.ru/XDNQJW>
12. Ismailov, I. Ya., Skvortsov, V. V., Skvortsova, E. M., & Kalinchenko, E. I. (2015). Chronic heart failure. *Medical Nurse*, (7), 14–18. EDN: <https://elibrary.ru/UQDTBZ>
13. Breckenridge, R. (2010). Heart failure and mouse models. *Disease Models & Mechanisms*, (3), 138–143. <https://doi.org/10.1242/dmm.005017>
14. Tocchetti, C. G. et al. (2020). Cardiac dysfunction in cancer patients: beyond direct cardiomyocyte damage of anticancer drugs: novel cardio-oncology insights from the joint 2019 meeting of the ESC Working Groups of Myocardial Function and Cellular Biology of the Heart. *Cardiovascular Research*, 116(11), 1820–1834. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa222>. EDN: <https://elibrary.ru/QOIMJM>

15. Nagata, K. et al. (2024). Comparison of the effects of renal denervation at early or advanced stages of hypertension on cardiac, renal, and adipose tissue pathology in Dahl salt-sensitive rats. *Hypertension Research*, 47(10), 2731–2744. <https://doi.org/10.1038/s41440-024-01605-x>. EDN: <https://elibrary.ru/XSNNYP>
16. Tunstall Pedoe, H. et al. (1999). Contribution of trends in survival and coronary event rates to changes in coronary heart disease mortality: 10-year results from 37 WHO MONICA project populations. Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease. *The Lancet*, 353, 1547–1557. EDN: <https://elibrary.ru/DAGXUR>
17. Cops, J., Haesen, S., De Moor, M., Mullens, W., & Hansen, D. (2019). Current animal models for the study of congestion in heart failure: an overview. *Heart Failure Reviews*, 24, 387–397. <https://doi.org/10.1007/s10741-018-9762-4>. EDN: <https://elibrary.ru/QHDEWE>
18. D'Avila, M., Morgan, P. J., & Yan, X. (2021). Genetically modified mouse models used for studying the role of the AT2 receptor in cardiac hypertrophy and heart failure. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2011, 5 pp. <https://doi.org/10.1155/2011/141039>
19. Dixon, J. A., & Spinale, F. G. (2009). Large animal models of heart failure: a critical link in the translation of basic science to clinical practice. *Circulation: Heart Failure*, 2(3), 262–271. <https://doi.org/10.1161/circheartfailure.108.814459>
20. Gunata, M., & Parlakpinar, H. (2023). Experimental heart failure models in small animals. *Heart Failure Reviews*, 28, 533–554. <https://doi.org/10.1007/s10741-022-10286-y>. EDN: <https://elibrary.ru/QMXJAP>
21. Gao, Z., Liu, X., Kang, Y., Hu, P., Zhang, X., Yan, W., Yan, M., Yu, P., Zhang, Q., Xiao, W., & Zhang, Z. (2024). Improving the prognostic evaluation precision of hospital outcomes for heart failure using admission notes and clinical tabular data: multimodal deep learning model. *Journal of Medical Internet Research*, 2(2), 26. <https://doi.org/10.2196/54363>.
22. Bacmeister, L., Schwarzl, M., Warnke, S., Stoffers, B., Blankenberg, S., Westermann, D., & Lindner, D. (2019). Inflammation and fibrosis in murine models of heart failure. *Basic Research in Cardiology*, 114(19), 1–35. <https://doi.org/10.1007/s0035-0190722-5>. EDN: <https://elibrary.ru/DKKZIT>
23. Ishikawa, K. (2018). Experimental models of cardiovascular diseases: methods and protocols. *Methods in Molecular Biology*. New York: Springer Science + Business Media, 404 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8597-5>.
24. Janssen, P. M. L., & Elnakish, M. T. (2019). Modeling heart failure in animal models for novel drug discovery and development. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 14(4), 355–363. <https://doi.org/10.1080/17460441.2019.1582636>.

25. Kerfourn, A., Lamia, B., Muir, J., & Letellier, C. (2016). A dynamical model for heart remodeling during the two phases of pulmonary arterial hypertension. *EPJ Nonlinear Biomedical Physics*, 4(1), 1–24. <https://doi.org/10.1140/epjnbp/s40366-015-0028-y>.
26. Miyagi, C., Miyamoto, T., Kuroda, T., Karimov, J. H., Starling, R. C., & Fukamachi, K. (2022). Large animal models of heart failure with preserved ejection fraction. *Heart Failure Reviews*, 27(2), 595–608. <https://doi.org/10.1007/s10741-021-10184-9>. EDN: <https://elibrary.ru/FXZZBX>
27. Geens, J. H., Trenson, S., Rega, F. R., Verbeken, E. K., & Meyns, B. P. (2009). Ovine models for chronic heart failure. *The International Journal of Artificial Organs*, 32(8), 496–506.
28. Nakamura, K., Miyoshi, T., Yoshida, M., Akagi, S., Saito, Y., Ejiri, K., Matsuo, N., Ichikawa, K., Iwasaki, K., Naito, T., Namba, Y., Yoshida, M., Sugiyama, H., & Ito, H. (2022). Pathophysiology and treatment of diabetic cardiomyopathy and heart failure in patients with diabetes mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(7), 3587. <https://doi.org/10.3390/ijms23073587>. EDN: <https://elibrary.ru/DBWUUY>
29. Sorrentino, A., & Michel, T. (2020). Redox à la carte: novel chemogenetic models of heart failure. *British Journal of Pharmacology*, 177, 3162–3167. <https://doi.org/10.1111/bph.15093>. EDN: <https://elibrary.ru/TVJJHX>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Куспаналиева Дина Саиновна, кандидат медицинских наук, старший преподаватель, кафедра патофизиологии
ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России
ул. Высоковольтная, 9, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
scarry_cherry@mail.ru

Булатецкий Сергей Владиславович, доктор медицинских наук, профессор, кафедра патофизиологии
ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России
ул. Высоковольтная, 9, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
dr_bsv@mail.ru

Ермакова Елена Александровна, ассистент, кафедра патофизиологии
ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России
ул. Высоковольтная, 9, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
mnogopisemelena@mail.ru

Маслова Марина Владимировна, ассистент, кафедра патофизиологии
ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России
ул. Высоковольтная, 9, г. Рязань, 390026, Российская Федерация
maslova.marina@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Dina S. Kuspanalieva, Candidate of Sciences in Medicine, Senior Instructor,
Department of Pathophysiology
Ryazan State Medical University
9, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
scarry_cherry@mail.ru

Sergey V. Bulatetsky, Doctor of Sciences in Medicine, Professor, Department
of Pathophysiology
Ryazan State Medical University
9, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
dr_bsv@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6023-7523>
Researcher ID: S-1631-2016

Elena A. Ermakova, Assistant Lecturer, Department of Pathophysiology
Ryazan State Medical University
9, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
mnogopisemelena@mail.ru

Marina V. Maslova, Assistant Lecturer, Department of Pathophysiology
Ryazan State Medical University
9, Vysokovoltnaya Str., Ryazan, 390026, Russian Federation
maslova.marina@mail.ru

Поступила 29.01.2025

После рецензирования 14.04.2025

Принята 17.04.2025

Received 29.01.2025

Revised 14.04.2025

Accepted 17.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1304

EDN: RNNVQK

УДК 618.173:615.322



Обзорная статья

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОЭСТРОГЕНОВ В МЕНОПАУЗАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

*В.В. Мустаева, А.Н. Сулима,
Д.А. Беглицэ, О.А. Митрофанова*

Аннотация

Обоснование. Менопаузальный синдром включает в себя различные вазомоторные, обменно-эндокринные и нервно-психические клинические проявления у женщин, возникающие на фоне угасания или резкой потери гормональной функции яичников и являются одной из наиболее распространенных гинекологических проблем во время менопаузы. В данной обзорной статье рассмотрена коррекция симптомов менопаузы у пациенток, имеющие абсолютные или относительные противопоказания к традиционной менопаузальной гормональной терапии или ее отдельным компонентам с помощью лекарственных растений, содержащих фитоэстрогены. Фитоэстрогены – это естественные нестероидные фенольные растительные препараты, близки по структуре и выполняемым функциям к эстрогенам, способны имитировать функции эндогенных эстрогенов путем связывания с рецепторами эстрогена, обладают антимикробными, антиканцерогенными и противовоспалительными свойствами. Изучены основные механизмы и эффекты лекарственных растений, используемые для лечения и коррекции менопаузального синдрома. Фитоэстрогены эффективно применяются в коррекции климактерического синдрома и могут быть рекомендованы в качестве альтернативных методов лечения менопаузы.

По данным отечественных и зарубежных ученых, фитоэстрогены являются эффективными и безопасными растительными препаратами, выступающими в качестве альтернативы менопаузальной гормональной терапии при менопаузе, и вызывают интерес у клинических врачей, занимающихся данной проблемой.

Цель. Изучить механизмы и эффекты лекарственных растений, используемые для лечения и коррекции менопаузального синдрома.

Материалы и методы. Данная обзорная статья была подготовлена на основе изучения литературы и научных статей в период с июля 2000 по июль

2024 года. Использовали такие базы данных как РИНЦ (e-library), PubMed, Medline, Scopus и Magiran.

Результаты. Детально описаны и изучены механизмы и фармакологические эффекты лекарственных растений, обладающие фитоэстрогеновой активностью, используемые для лечения и коррекции менопаузального синдрома.

Заключение. Фитоэстрогены эффективно применяются в коррекции и лечении климактерического синдрома в качестве альтернативы менопаузальной гормональной терапии и могут быть рекомендованы врачам практического здравоохранения.

Ключевые слова: менопауза; климактерический период; коррекция; лечение; альтернатива; фитоэстрогены; обзор литературы

Для цитирования. Мустаева, В. В., Сулима, А. Н., Беглицэ, Д. А., & Митрофанова, О. А. (2025). Применение фитоэстрогенов в менопаузальном периоде. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 625-640. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1304>

Scientific Review

THE USE OF PHYTOESTROGENS IN THE MENOPAUSAL PERIOD

*V.V. Mustaeva, A.N. Sulima,
D.A. Beglitse, O.A. Mitrofanova*

Abstract

Background. Menopausal syndrome includes various vasomotor, metabolic-endocrine and neuropsychiatric clinical manifestations in women that occur against the background of the fading or sudden loss of ovarian hormonal function and are one of the most common gynecological problems during menopause. This review article discusses the correction of menopausal symptoms in patients with absolute or relative contraindications to traditional menopausal hormone therapy or its individual components using medicinal plants containing phytoestrogens. Phytoestrogens are natural non-steroidal phenolic plant preparations that are close in structure and functions to estrogens, are able to imitate the functions of endogenous estrogens by binding to estrogen receptors, and have antimicrobial, anticarcinogenic and anti-inflammatory properties. The main mechanisms and effects of medicinal plants used to treat and correct menopausal syndrome are studied. Phytoestrogens are effectively used to correct climacteric syndrome and can be recommended as alternative methods of treating menopause.

According to Russian and foreign scientists, phytoestrogens are effective and safe herbal preparations that act as an alternative to menopausal hormone therapy for menopause, and arouse the interest of clinicians involved in this problem.

Purpose. To study the mechanisms and effects of medicinal plants used for the treatment and correction of menopausal syndrome.

Materials and methods. This review article was prepared based on the study of literature and scientific articles in the period from July 2000 to July 2024. We used databases such as RSCI (e-library), PubMed, Medline, Scopus and Magiran.

Results. The mechanisms and pharmacological effects of medicinal plants with phytoestrogen activity used for the treatment and correction of menopausal syndrome are described and studied in detail.

Conclusion. Phytoestrogens are effectively used in the correction and treatment of menopausal syndrome as an alternative to menopausal hormone therapy and can be recommended to doctors of practical healthcare.

Keywords: menopause; correction; treatment; alternative; phytoestrogens; literature review

For citation. Mustaeва, V. V., Sulima, A. N., Beglitse, D. A., & Mitrofanova, O. A. (2025). The use of phytoestrogens in the menopausal period. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 625-640. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1304>

Введение

Менопауза, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), определяется как последняя самостоятельная менструация. Менопаузальный период в жизни женщины считается физиологическим окончанием репродуктивной функции, наступающим обычно с 45 до 55 лет, так называемая, самопроизвольная или естественная менопауза, происходящая на фоне угасания гормональной функции яичников и общего старения организма. Однако, он может начаться и в более раннем возрасте вследствие перенесенного хирургического оперативного лечения (двухсторонняя овариоэктомия, тотальная гистерэктомия, химиолучевая терапия) – ятрогенная или вторичная менопауза, или вследствие преждевременной недостаточности яичников (ПНЯ) до 40 лет [1; 12; 18].

Процессы, происходящие в организме женщины, вследствие значительного снижения эстрогена, особенно эстрадиола, а также прогестерона способствуют развитию гипергонадотропного гипогонадизма. Это характеризуется нарушением функций лимбической системы, секреции нейrogормонов, развитием инволютивных и впоследствии атрофических

процессов в репродуктивных органах, а так же возникновению экстрагенитальной гинекологической патологии – остеопороза, ишемической болезни сердца (ИБС) и болезни Альцгеймера, что вынуждает женщин обращаться за медицинской помощью для их коррекции и нормализации жизнедеятельности [2; 12].

Менопаузальный синдром включает в себя вазомоторные проявления, такие как приливы жара к лицу, голове, верхней половине туловища, ночную потливость, учащенное сердцебиение, головокружения, нарушения режимов сна и бодрствования, ознобы.

В патогенезе данных симптомов в условиях эстрогенного дефицита большую роль играют изменения функционального состояния гипоталамус-гипофизарной системы и расстройства вегетативного равновесия из-за нарушения выработки нейротрансмиттеров (норадреналин и дофамин), которые непосредственно принимают участие в процессах терморегуляции. Именно повышение тонуса этих структур приводит к пароксизмальному расширению кожных сосудов и появлению феномена приливов жара и потливости и считаются наиболее распространенными симптомами, которые испытывают женщины во время менопаузы [2; 12]. Проявляются периодическими и внезапными нарушениями потоотделения с ознобом, сердцебиением, беспокойством, ощущением сдавления в голове и груди, тошнотой, режой рвотой, удушьем и отсутствием концентрации. Данные симптомы обычно начинаются с внезапного резкого ощущения тепла в верхней половине туловища. Приступ приливов жара и потливости длится обычно от 2-4 минут до нескольких часов, и может быть связан с триггерами, такими как, прием острой или горячей пищи, алкоголя, кофеина, изменения температуры окружающей среды, ношением тесной одежды, курением.

Психосоматические расстройства – эмоциональная лабильность, частые смены настроения, утомляемость.

В структурах мочеполового тракта в условиях эстрогенного дефицита развиваются ишемия и атрофические изменения, что приводит к появлению генитоуринарного менопаузального синдрома (ГУМС), проявляющегося в виде зуда, сухости во влагалище, диспареунии и дизурических расстройств [3].

Так же недостаток эстрогенов приводит к изменениям костного метаболизма с уменьшением абсорбции кальция в кишечнике, дефицита витамина D, что приводит к снижению прочности костной ткани, переломам при минимальных нагрузках и остеопорозу [4; 16; 19].

Современная стратегия ведения женщин в менопаузальном периоде предусматривает назначение менопаузальной гормональной терапии (МГТ) для коррекции и лечения симптомов менопаузы, а также предотвращения метаболических нарушений, приводящих впоследствии к остеопорозу и сердечно-сосудистым катастрофам [1; 8; 12]. Однако, на сегодняшний день, большинство российских женщин очень сдержанно относятся к назначению МГТ, что связано с определенными страхами перед приемом гормональных препаратов (категория гормонофобов) или МГТ может быть противопоказана по различным причинам [3; 4; 8].

Цель исследования – изучить механизмы и эффекты лекарственных растений, используемые для лечения и коррекции менопаузального синдрома.

Материалы и методы

В настоящем обзоре на основании анализа специальной отечественной и зарубежной литературы, размещенной в электронных библиотеках eLibrary и КиберЛенинка, базе данных медико-биологических публикаций PubMed, Medline, Scopus и Magiran, представлено теоретическое обоснование проблемы коррекции симптомов менопаузы у пациенток, имеющих абсолютные или относительные противопоказания к традиционной МГТ или ее отдельным компонентам с помощью лекарственных растений, содержащих фитоэстрогены.

Результаты и их обсуждение

На сегодняшний день идентифицировано более 300 лекарственных растений с фитоэстрогенной активностью [4; 5; 10; 11].

Фитоэстрогены – это естественные нестероидные фенольные растительные препараты, близки по структуре и выполняемым функциям к эстрогенам. Фитоэстрогены вызывают биологические реакции у растений и имитируют функции эндогенных эстрогенов путем связывания с рецепторами эстрогена. Кроме того, они обладают антимикробными, антиканцерогенными и противовоспалительными свойствами [10; 21].

Данные препараты можно разделить на 3 группы: изофлавоны (генистеин, формонетин, пикногенол и другие), лигнаны (энтролактон) и куместаны (куместрол). Изофлавоны являются производными гликозидов – соединений с сахарами и в большей степени содержатся в соевых бобах (до 350 мг/100 г), стручковых растениях, чечевице, гранате, солодке, финиках, капусте и т. п. В тонком кишечнике гидролизуются и в дальнейшем подвергаются метаболизму с образованием соединений, имеющих

эстрогенную активность. Представители группы лигнанов по структуре относятся к дифенолам и содержатся в пшенице, ржи и рисе, орехах, семенах, фруктах (цитрусовые, вишня), овощах (моркови, петрушке). По биологической активности схожи с изофлавонами. Куместаны содержатся в основном в красном клевере, бобовых, клевере, люцерне [4; 11; 15].

Впервые эстрогенная активность фитоэстрогенов была открыта в 1940 годах в Западной Австралии. Зарубежными учеными было доказано, что биологическая активность фитоэстрогенов значительно меньше активности эндогенных эстрогенов, однако регулярное потребление данных лекарственных препаратов приводит к значительной концентрации в организме человека [11]. Именно эстрогенная активность данных лекарственных растений принимает участие в коррекции и лечении гормонозависимых процессов, связанных с менопаузальным периодом, таких как уменьшение потери костной ткани, снижением уровня липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), вазомоторных и нервно-психических симптомов.

Так же фитоэстрогены действуют как регуляторы клеточного цикла и апоптоза, обеспечивая антиоксидантную, антипролиферативную, антимуtagenную, противовоспалительную и противомикробную функции [6; 7; 11; 20].

К фитоэстрогенам, наиболее изученным на сегодняшний день относятся: трава красного клевера (*Trifolium pratense*), цимицифуга (*Cimicifuga racemosa*), трава шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis*), валерина лекарственная (*Valeriana officinalis*), примула вечерняя (*Oenothera biennis*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), пассифлора инкарната (*Passiflora incarnata*), глициновая соя (*Glycine soja*) и экстракт зверобоя (*Extractum herbae*).

Трава красного клевера (Trifolium pratense) - лекарственное растение, обладающее противовоспалительным, бактерицидным, противосклеротическим и противомикробным свойствами. В состав входят флавоноиды, жирные кислоты, эфирные масла, незаменимые аминокислоты, дубильные вещества и смолы. Данный фитоэстроген воздействует на рецепторы, подобно эстрогену и в достаточной концентрации способствует нормализации холестерина обмена, снижению резорбции костной ткани, восстановлению кальциевого обмена, нормализации режима сна, коррекции вазомоторных симптомов, свойственных менопаузе. Побочных эффектов терапевтической дозы травы красного клевера не обнаружено [9; 21].

Цимицифуга (Cimicifuga racemosa) – средство растительного происхождения, оказывающее эстрогеноподобное действие за счет связывания с эстрогеновыми рецепторами гипоталамических нейронов, что приводит к

уменьшению выделения гонадотропин-рилизинг-гормонов (ГнРГ), и, соответственно уменьшению лютеинизирующего гормона (ЛГ). Таким образом, цимицифуга оказывает уменьшение вазомоторных, нервно-психических клинических проявлений во время менопаузального периода [10].

Трава шалфея лекарственного (Salvia officinalis). В листьях данного растения помимо фитоэстрогенов, содержатся витамины группы А, В, дубильные вещества, а также алкалоиды и микроэлементы. Благодаря такому составу, трава обладает множественными лечебными свойствами: противовоспалительными, терморегулирующими, спазмолитическими, дезинфицирующими и антиоксидантными. Препараты шалфея лекарственного позволяют устранить эмоциональную лабильность, чувство тревожности, депрессивные расстройства, бессоницу. Так же лекарственное растение снимает воспалительные процессы в органах мочеполовой системы, возникающие на фоне дефицита эстрогена. Побочных эффектов у травы шалфея лекарственного не выявлено. Однако есть перекрестные реакции с лекарственными препаратами от сахарного диабета и гипертонической болезни, вызывает ощущение жара, головокружение, тахикардию и эпилепсоподобные судороги [11].

Мелисса лекарственная (Melissa officinalis). Содержит в себе множество биологически активных соединений, эфирных масел, витаминов группы В, минералов, обладающих успокаивающими и спазмолитическими свойствами. Эффективно используется при лечении симптомов, связанных с эмоциональной лабильностью, раздражительностью, бессонницей. Данных об опасных побочных эффектах, вызванных приемом терапевтических доз мелиссы лекарственной, нет [10; 16].

Валериана лекарственная (Valeriana officinalis). В корневищах валерианы содержатся эфирные масла, кислоты, дубильные вещества, гликозиды, обладающие выраженным седативным эффектом, усиливают торможение в нервной системе, понижают рефлекторную возбудимость, обладает спазмолитическим и легким гипертензивным эффектами. В основном, данная трава используется при лечении приливов жара и потливости, эмоциональной лабильности в климактерическом периоде. Данных об опасных побочных эффектах, вызванных приемом терапевтических доз валерианы, не отмечено [10].

Вечерняя примула (Oenothera biennis). Содержит в себе линолевую и олеиновую кислоты, витамины С, Е, смолы, дубильные вещества, макро и микроэлементы. Способствует коррекции и лечению вазомоторных и нервно-психических симптомов, обладает иммуностимулирующим, противовоспалительным, противоопухолевым и противомикробным действиями.

Однако может вызывать легкие побочные эффекты со стороны желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) - тошнота, рвота, диарея, вздутие живота [10].

Солодка голая (Glycyrrhiza glabra). Благодаря успокаивающему и ноотропному действиям эффективна прежде всего для ослабления нервно-психических проявлений менопаузального периода: возбудимости, раздражительности, астении, депрессивных расстройств, нарушения сна. Так же за счет улучшения вазорегулирующей активности сосудистой стенки ослабляет вегетососудистые симптомы такие как, приливы жара и потливости, аритмии, головокружения. Благодаря усилению синтеза коллагена стимулирует регенеративные и восстановительные процессы, что является профилактикой возникновения остеопороза костной ткани. Однако длительное употребление этой травы приводит к гиперкортицизму, гипертонии, гипокалиемии и гипернатриемии [8; 16].

Пассифлора инкарната (Passiflora incarnata). Фармакологическое действие обусловлено наличием флавоноидов и алкалоидов. Алкалоиды оказывают выраженное спазмолитическое действие на гладкую мускулатуру, что способствует расширению сосудов и снижению артериального давления. Так же обладает способностью ингибировать энзим моноаминооксидазу, что приводит к повышению серотонина, норадреналина в синаптической щели, благодаря чему достигается антидепрессивный эффект. Флавоноиды, входящие в состав пассифлоры, оказывают седативное, снотворное и антиоксидантное свойства. В случае использования высоких доз могут быть побочные эффекты (сонливость, угнетение центральной нервной системы, тошнота, рвота) [14].

Глициновая соя (Glycine soja). Соя содержит большое количество белка и изофлавонов, таких как даидзеин и генистеин. Результаты клинических испытаний показывают, что экстракт сои снижает частоту приливов жара у женщин в климактерическом периоде. Возможные побочные эффекты включают боль в животе, аллергические реакции [13; 17].

Нашивочкина Н. А. и соавт. провели клиническое исследование, в котором приняло участие 86 женщин, находящихся в перименопаузе и постменопаузе, страдающие рецидивирующим циститом и вагинальным дискомфортом. 1 группа пациенток (n=44), помимо основной стандартной терапии в период обострения мочевого инфекционного процесса, принимали изофлавоны сои на протяжении 6 месяцев, в то время как контрольная группа (n=42) – фитоэстрогены не получала. Результаты исследования оценивались спустя 1 и 6 месяцев на основании: состояния тазовой венозной гемодинамики и микроциркуляции в стенке мочевого пузыря с помощью ультразвуковой доплерографии.

В ходе проведенного исследования, пациентки 1 группы, принимавшие фитоэстроген, отмечали значительное улучшение самочувствия, уменьшение болей и дискомфорта при мочеиспускании на протяжении 1 и 6 месяцев. На ультразвуковом доплерографическом исследовании отмечается улучшение микроциркуляции в стенке мочевого пузыря и положительная динамика в отношении тазового венозного кровотока у пациенток группы 1, по сравнению с контрольной группой. Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что фитоэстроген - изофлавоноиды благоприятно влияет на коррекцию симптомов менопаузы у женщин, принимающих данное растительное средство в постоянном режиме [13].

Ильина И. Ю. и др. провели клиническое исследование, в котором приняло участие 60 женщин, столкнувшиеся с проблемой менопаузального синдрома. Данных женщин разделили на 2 группы. В течении 3-х месяцев 1 группа пациенток ($n=30$) принимала препарат, содержащий экстракт красного клевера 100 мг на протяжении 3-х месяцев, в то время как 2 группа ($n=30$) препаратов не принимали. Результаты данного исследования оценивали по модифицированному менопаузальному индексу, изменению общего самочувствия и коррекции симптомов менопаузы. По истечению 1 месяца приема препарата, содержащего фитоэстрогены модифицированный менопаузальный индекс уменьшился, улучшилось самочувствие, уменьшилось количество приливов, депрессивных и тревожных состояний у 1 группы пациенток, причем через 3 месяца приема препарата данный индекс снизился достоверно ($p<0.05$), в то время как пациентки 2 группы отметили некоторое ухудшение общего состояния и увеличение частоты проявлений симптомов менопаузы. Согласно данному исследованию, прием фитоэстрогенов в регулярном режиме способствуют улучшению качества жизни женщин в менопаузе, и может назначаться в качестве альтернативы МГТ [3].

Заслуживает внимание клиническое исследование, проведенное Wickham K. A., Nørregaard L. B. et al. Оценивали эффективность ферментированного экстракта красного клевера на состояние сосудов в образцах плазмы крови и скелетных мышцу женщин, находящихся в менопаузальном периоде ($n=10$), средним возрастом 55 лет. На протяжении 2 недель пациентки 1 группы принимали 60 мг изофлавоноидов ЭКК в сутки, в то время как 2 группа пациенток – плацебо. По истечению 2 недель наблюдалось статически значимое снижение ($\sim 5,4\%$) молекулы адгезии сосудистых клеток 1 (VCAM-1) у пациенток, принимавших ЭКК, по сравнению со 2 группой пациенток ($p = 0.03$). Однако не было выявлено влияния ЭКК на содержание рецепторов эстрогена в скелетных мышцах [21].

Заключение

На основании анализа данных литературы, можно сделать вывод о том, что растительные лекарственные препараты, обладающие фитоэстрогеновой активностью - трава красного клевера (*Trifolium pratense*), цимицифуга (*Cimicifuga racemosa*), трава шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*), валериана лекарственная (*Valeriana officinalis*), примула вечерняя (*Oenothera biennis*), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), пассифлора инкарната (*Passiflora incarnata*), глициновая соя (*Glycine soja*), экстракт зверобоя (*Extractum herbae*) оказывают благоприятное действие на коррекцию менопаузальных симптомов, что подкрепляется данными различных научных клинических исследований. Могут назначаться в качестве альтернативных препаратов с целью коррекции симптомов менопаузы у пациенток, имеющих противопоказания или отказывающихся от приема классической МГТ.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Волоцкая, Н. И., Сулима, А. Н., & Румянцева, З. С. (2021). Менопауза: современные стандарты диагностики и коррекции нарушений. *Врач*, 32(3), 66–72. <https://doi.org/10.29296/25877305-2021-03-12>. EDN: <https://elibrary.ru/CZLREL>
2. Дикке, Г. Б. (2020). Фитоэстрогены экстракта красного клевера: механизм действия и клиническая эффективность. *Consilium Medicum*, 22(6), 19–24. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.6.200249>. EDN: <https://elibrary.ru/WECTTS>
3. Ильина, И. Ю., Доброхотова, Ю. Э., & Ибрагимова, Д. М. (2018). Альтернативные методы лечения климактерического синдрома. *РМЖ. Мать и дитя*, 26(21), 8–12. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.165>. EDN: <https://elibrary.ru/YAIZTV>
4. Мазитова, М. И., Талипова, И. Р., & Мардиева, Р. Р. (2020). Фитоэстрогены в лечении климактерического синдрома как альтернатива гормональной терапии. *Акушерство, гинекология и репродукция*, 14(6), 685–693. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2020.186>. EDN: <https://elibrary.ru/WNAAJE>

5. Нашивочникова, Н. А., Крупин, В. Н., Зубова, С. Ю., & Леанович, В. Е. (2023). Роль фитоэстрогенов в комплексной терапии и профилактике рецидивирующей инфекции нижних мочевых путей у пациенток в климактерии. *Акушерство и гинекология*, 8, 141–152. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.165>. EDN: <https://elibrary.ru/ELPCXN>
6. Паневин, Т. С., Бобкова, А. О., Каратеев, А. Е., & Зоткин, Е. Г. (2022). Дефицит эндогенных эстрогенов и развитие хронической скелетно-мышечной боли. *Терапевтический архив*, 94(5), 683–688. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.05.201490>. EDN: <https://elibrary.ru/SKBMSB>
7. Потупчик, Т. (2019). Возможности применения препарата Фемоклим в климактерическом периоде. *Врач*, 30(8), 80–85. <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-08-17>. EDN: <https://elibrary.ru/UAVNZA>
8. Российское общество акушеров-гинекологов. (2021). *Клинические рекомендации. Менопауза и климактерическое состояние у женщины*.
9. Сняченко, О. В., Климовицкий, Ф. В., Морозюк, Д. М., Ермолаева, М. В., & Ливенцова, Е. В. (2020). Клинико-патогенетические особенности сниженной костной массы у постменопаузальных женщин. *Боль. Суставы. Позвоночник*, 10(2), 101–105. <https://doi.org/10.22141/2224-1507.10.2.2020.206946>. EDN: <https://elibrary.ru/TZDBUX>
10. Татарова, Н. А., Линде, В. А., Айрапетян, М. С., & Жигалова, Е. В. (2019). Эффективные негормональные препараты в лечении климактерического синдрома. *Эффективная фармакотерапия*, 32, 22–30. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2019-15-32-22-30>. EDN: <https://elibrary.ru/ТРҮВҮU>
11. Филиппова, О. В. (2020). Фитоэстрогены: перспективы применения. *Эффективная фармакотерапия*, 16(22), 30–36. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2020-16-22-30-36>. EDN: <https://elibrary.ru/PRWHWI>
12. Юренева, С. В., Сыркашева, А. Г., Перминова, С. Г., Смольникова, В. Ю., Митюрин, Е. В., & Рогачевский, О. В. (2022). *Ведение женщин в переходном периоде и ранней постменопаузе: учебное пособие*.
13. Alrezaki, A., Aldawood, N., Alanazi, S., Arafah, M., Fabova, Z., Badjah, Y., Sirotkin, A. V., Alwasel, S., & Harrath, A. H. (2021). Consumption of sage (*Salvia officinalis*) promotes ovarian function by stimulating estradiol hormone release and controlling folliculogenesis, steroidogenesis, and autophagy. *Journal of King Saud University – Science*, 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101319>. EDN: <https://elibrary.ru/RECQWP>
14. Boza Espinoza, T. E., Jørgensen, P. M., & MacDougal, J. M. (2018). A taxonomic revision of *Passiflora* sect. *Xerogona* (Passifloraceae) using principal component analysis. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 103(2), 258–313. <https://doi.org/10.3417/2017055/10.3390/pathogens11040456>.

15. Choi, Y. R., Shim, J., & Kim, M. J. (2020). Genistin: a novel potent adipogenic and lipogenic agent. *Molecules*, 25(9), 2042. <https://doi.org/10.3390/molecules25092042>. EDN: <https://elibrary.ru/DEDAMH>
16. Gabrieli, D., Suissa-Cohen, Y., Jaber, S., & Lev-Sagie, A. (2022). «Modified Schirmer Test» as an objective measurement for vaginal dryness: a prospective cohort study. *Diagnostics (Basel)*, 12(3), 574. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12030574>. EDN: <https://elibrary.ru/BACEZE>
17. Potter, N., & Panay, N. (2021). Vaginal lubricants and moisturizers: a review into use, efficacy, and safety. *Climacteric*, 24(1), 19–24. <https://doi.org/10.1080/13697137.2020.1820478>. EDN: <https://elibrary.ru/JLDEBF>
18. Rudnicka, E., Napierała, P., Podfigurna, A., Męczekalski, B., Smolarczyk, R., & Grymowicz, M. (2020). The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, 139, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>. EDN: <https://elibrary.ru/WCKJTM>
19. Swidsinski, A., Guschin, A., Corsini, L., Loening-Baucke, V., Tisakova, L. P., Swidsinski, S. et al. (2022). Antimicrobial susceptibility of microbiota in bacterial vaginosis using fluorescence in situ hybridization. *Pathogens*, 11(4), 456. <https://doi.org/10.3390/pathogens11040456>. EDN: <https://elibrary.ru/QFDTRY>
20. Urbisz, K., Zych, M., Borymska, W., Bonka, A., & Kaczmarczyk-Sedlak, I. (2021). Assessment of consumer awareness on the consumption of phytoestrogens in diet and their supplementation – survey studies. *Przegląd Epidemiologiczny (Przegl Epidemiol)*, 75(1), 96–107. <https://doi.org/10.32394/pe.75.10>. EDN: <https://elibrary.ru/DDXBMA>
21. Wickham, K. A., Nørregaard, L. B., Oxfeldt, M., Cheung, S. S., Gliemann, L., Hansen, M., & Hellsten, Y. (2022). Short-term supplementation with fermented red clover extract reduces vascular inflammation in early post-menopausal women. *Frontiers in Cardiovascular Medicine (Front Cardiovasc Med)*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.826959>. EDN: <https://elibrary.ru/FOBCRE>

References

1. Volotskaya, N. I., Sulima, A. N., & Rumyantseva, Z. S. (2021). Menopause: modern standards of diagnostics and correction of disorders. *Vrach [The Doctor]*, 32(3), 66–72. <https://doi.org/10.29296/25877305-2021-03-12>. EDN: <https://elibrary.ru/CZLREL>
2. Dikke, G. B. (2020). Phytoestrogens of red clover extract: mechanism of action and clinical efficacy. *Consilium Medicum*, 22(6), 19–24. <https://doi.org/10.26442/20751753.2020.6.200249>. EDN: <https://elibrary.ru/WECTTS>
3. Ilyina, I. Yu., Dobrokhotova, Yu. E., & Ibragimova, D. M. (2018). Alternative methods of treating climacteric syndrome. *RMJ. Mother and Child*, 26(2I), 8–12. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.165>. EDN: <https://elibrary.ru/YAIZTV>

4. Mazitova, M. I., Talipova, I. R., & Mardieva, R. R. (2020). Phytoestrogens in the treatment of climacteric syndrome as an alternative to hormone therapy. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*, 14(6), 685–693. <https://doi.org/10.17749/2313-7347/ob.gyn.rep.2020.186>. EDN: <https://elibrary.ru/WNAAJE>
5. Nashivochnikova, N. A., Krupin, V. N., Zubova, S. Yu., & Leanovich, V. E. (2023). The role of phytoestrogens in complex therapy and prevention of recurrent lower urinary tract infections in menopausal patients. *Obstetrics and Gynecology*, (8), 141–152. <https://doi.org/10.18565/aig.2023.165>. EDN: <https://elibrary.ru/ELPCXN>
6. Panevin, T. S., Bobkova, A. O., Karateev, A. E., & Zotkin, E. G. (2022). Deficiency of endogenous estrogens and development of chronic musculoskeletal pain. *Therapeutic Archive*, 94(5), 683–688. <https://doi.org/10.26442/00403660.2022.05.201490>. EDN: <https://elibrary.ru/SKBMSB>
7. Potupchik, T. (2019). Possibilities of using the drug FemoKlim during the menopausal period. *Vrach [The Doctor]*, 30(8), 80–85. <https://doi.org/10.29296/25877305-2019-08-17>. EDN: <https://elibrary.ru/UAVNZA>
8. Russian Society of Obstetricians and Gynecologists. (2021). *Clinical guidelines. Menopause and climacteric state in women*
9. Sinyachenko, O. V., Klimovitsky, F. V., Morozuk, D. M., Ermolaeva, M. V., & Liventsova, E. V. (2020). Clinical and pathogenetic features of reduced bone mass in postmenopausal women. *Pain. Joints. Spine*, 10(2), 101–105. <https://doi.org/10.22141/2224-1507.10.2.2020.206946>. EDN: <https://elibrary.ru/TZDBUX>
10. Tatarova, N. A., Linde, V. A., Airapetyan, M. S., & Zhigalova, E. V. (2019). Effective non-hormonal drugs in the treatment of climacteric syndrome. *Effective Pharmacotherapy*, (32), 22–30. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2019-15-32-22-30>. EDN: <https://elibrary.ru/TPYBYU>
11. Filippova, O. V. (2020). Phytoestrogens: prospects for application. *Effective Pharmacotherapy*, 16(22), 30–36. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2020-16-22-30-36>. EDN: <https://elibrary.ru/PRWHWI>
12. Yureneva, S. V., Syrkasheva, A. G., Perminova, S. G., Smolnikova, V. Yu., Mityurina, E. V., & Rogachevsky, O. V. (2022). *Management of women in the transitional period and early postmenopause: a study guide*
13. Alrezaki, A., Aldawood, N., Alanazi, S., Arafah, M., Fabova, Z., Badjah, Y., Sirotkin, A. V., Alwasel, S., & Harrath, A. H. (2021). Consumption of sage (*Salvia officinalis*) promotes ovarian function by stimulating estradiol hormone release and controlling folliculogenesis, steroidogenesis, and autophagy. *Journal of King Saud University – Science*, 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101319>. EDN: <https://elibrary.ru/RECQWP>
14. Boza Espinoza, T. E., Jørgensen, P. M., & MacDougall, J. M. (2018). A taxonomic revision of *Passiflora* sect. *Xerogona* (Passifloraceae) using principal

- component analysis. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 103(2), 258–313. <https://doi.org/10.3417/2017055/10.3390/pathogens11040456>
15. Choi, Y. R., Shim, J., & Kim, M. J. (2020). Genistin: a novel potent adipogenic and lipogenic agent. *Molecules*, 25(9), 2042. <https://doi.org/10.3390/molecules25092042>. EDN: <https://elibrary.ru/DEDAMH>
16. Gabrieli, D., Suissa Cohen, Y., Jaber, S., & Lev Sagie, A. (2022). «Modified Schirmer Test» as an objective measurement for vaginal dryness: a prospective cohort study. *Diagnostics (Basel)*, 12(3), 574. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12030574>. EDN: <https://elibrary.ru/BACEZE>
17. Potter, N., & Panay, N. (2021). Vaginal lubricants and moisturizers: a review into use, efficacy, and safety. *Climacteric*, 24(1), 19–24. <https://doi.org/10.1080/013697137.2020.1820478>. EDN: <https://elibrary.ru/JLDEBF>
18. Rudnicka, E., Napierała, P., Podfigurna, A., Męczekalski, B., Smolarczyk, R., & Grymowicz, M. (2020). The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, 139, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>. EDN: <https://elibrary.ru/WCKJTM>
19. Swidsinski, A., Guschin, A., Corsini, L., Loening-Baucke, V., Tisakova, L. P., Swidsinski, S. et al. (2022). Antimicrobial susceptibility of microbiota in bacterial vaginosis using fluorescence in situ hybridization. *Pathogens*, 11(4), 456. <https://doi.org/10.3390/pathogens11040456>. EDN: <https://elibrary.ru/QFDTRY>
20. Urbisz, K., Zych, M., Borymska, W., Bonka, A., & Kaczmarczyk-Sedlak, I. (2021). Assessment of consumer awareness on the consumption of phytoestrogens in diet and their supplementation – survey studies. *Przegląd Epidemiologiczny (Przegl Epidemiol)*, 75(1), 96–107. <https://doi.org/10.32394/pe.75.10>. EDN: <https://elibrary.ru/DDXBMA>
21. Wickham, K. A., Nørregaard, L. B., Oxfeldt, M., Cheung, S. S., Gliemann, L., Hansen, M., & Hellsten, Y. (2022). Short-term supplementation with fermented red clover extract reduces vascular inflammation in early post-menopausal women. *Frontiers in Cardiovascular Medicine (Front Cardiovasc Med)*, 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.826959>. EDN: <https://elibrary.ru/FOBCRE>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Мустаева Виктория Вадимовна, врач-ординатор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского
*Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россий-
ская Федерация
vika.mustaeva.99@mail.ru*

Сулима Анна Николаевна, д.мед.н., профессор, профессор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского
*Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россий-
ская Федерация
gsulima@yandex.ru*

Беглиц Дмитрий Анатольевич, главный врач; к.мед.н., доцент, доцент кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского
*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Симферопольский клинический родильный дом № 1»; Крымский феде-
ральный университет имени В.И. Вернадского
ул. Воровского, 8, г. Симферополь, 295017, Российская Федерация;
пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Россий-
ская Федерация
9999da@gmail.com*

Митрофанова Ольга Александровна, заведующая гинекологическим отделением
*Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Сим-
феропольский клинический родильный дом № 1»
ул. Воровского, 8, г. Симферополь, 295017, Российская Федерация
oha212121@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Victoria V. Mustaeva, Resident Physician of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky

V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
vika.mustaeva.99@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5846-7151>

Anna N. Sulima, Dr. Sci. (Med), Professor, Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
gsulima@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2671-6985>

Dmitry A. Beglitse, Chief Physician; Cand. Sci. (Med), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky
Simferopol Clinical Maternity Hospital № 1; V.I. Vernadsky Crimean Federal University
8, Vorovsky Str., Simferopol, Republic of Crimea, 295017, Russian Federation; 4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
9999da@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1278-0393>

Olga A. Mitrofanova, Head of the Gynecological Department
Simferopol Clinical Maternity Hospital № 1
8, Vorovsky Str., Simferopol, Republic of Crimea, 295017, Russian Federation
oha212121@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5166-3149>

Поступила 05.03.2025

После рецензирования 10.04.2025

Принята 17.04.2025

Received 05.03.2025

Revised 10.04.2025

Accepted 17.04.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-5-1310

EDN: RQJJOR

УДК 618.145-07-08



Обзорная статья

СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ В ЛЕЧЕНИИ ЭНДОМЕТРИОЗА

*А.А. Алексеевко, А.Н. Сулима, З.С. Румянцева, П.Н. Баскаков,
М.А. Дижса, Д.А. Беглицэ, Е.С. Румянцева*

Аннотация

Обоснование. Эндометриоз представляет собой одно из наиболее распространенных и сложных заболеваний, с которым сталкиваются женщины репродуктивного возраста. По данным Всемирной организации здравоохранения, эндометриоз поражает около 10% женщин репродуктивного возраста, что эквивалентно 190 миллионам женщин по всему миру и подчеркивает масштабность проблемы, и отсутствие тенденции к ее снижению в популяции в последние годы. Актуальность данной темы обусловлена не только высокой распространенностью заболевания, но и его значительным влиянием на качество жизни женщин, а также на их психоэмоциональное состояние.

Цель, методы исследования. В настоящем обзоре на основании анализа специальной отечественной и зарубежной литературы, размещенной в электронных библиотеках eLibrary и КиберЛенинка, базе данных медико-биологических публикаций PubMed, представлены современные стратегии в лечении эндометриоза и их влияние на репродуктивное здоровье и качество жизни женщин с этим заболеванием.

Результаты. Методы лечения эндометриоза варьируются от медикаментозной терапии до хирургического вмешательства и вспомогательных репродуктивных технологий. Применение гормональных препаратов, таких как прогестагены, комбинированные оральные контрацептивы и агонисты гонадотропин-рилизинг-гормона, позволяет эффективно снижать симптомы и контролировать течение заболевания.

Важно отметить, что хирургическое вмешательство, хотя и может быть необходимым в некоторых случаях, однако не должно рассматриваться как единственный способ решения проблемы. Понимание этих аспектов является важным для формирования правильного подхода к лечению.

Выводы. Основная цель современных стратегий в лечении эндометриоза заключается в улучшении качества жизни женщины с этим заболеванием. Однако выбор метода лечения должен быть индивидуализированным и основываться на клинической картине, возрасте пациентки, степени тяжести заболевания и ее репродуктивных планах.

Ключевые слова: эндометриоз; хроническая тазовая боль; бесплодие; консервативная тактика; оперативное лечение; современные стратегии; обзор литературы

Для цитирования. Алексеенко, А. А., Сулима, А. Н., Румянцева, З. С., Баскаков, П. Н., Дيجا, М. А., Беглицэ, Д. А., & Румянцева, Е. С. (2025). Современные стратегии в лечении эндометриоза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 641-664. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1310>

Scientific Review

MODERN STRATEGIES IN THE TREATMENT OF ENDOMETRIOSIS

*A.A. Alekseenko, A.N. Sulima, Z.S. Rumyantseva,
P.N. Baskakov, M.A. Dija, D.A. Beglitse, E.S. Rumyantseva*

Abstract

Background. Endometriosis is one of the most common and complex diseases faced by women of reproductive age. According to the World Health Organization, endometriosis affects about 10% of women of reproductive age, which is equivalent to 190 million women worldwide and emphasizes the scale of the problem and the lack of a tendency for it to decrease in the population in recent years. The relevance of this topic is due not only to the high prevalence of the disease, but also to its significant impact on the quality of life of women, as well as their psychoemotional state.

Purpose, methods. In this review, based on the analysis of specialized domestic and foreign literature posted in the electronic libraries eLibrary and CyberLeninka, the database of medical and biological publications PubMed, modern strategies in the treatment of endometriosis and their impact on the reproductive health and quality of life of women with this disease are presented.

Results. Methods of treating endometriosis vary from drug therapy to surgery and assisted reproductive technologies. The use of hormonal drugs such as progestogens, combined oral contraceptives and gonadotropin-releasing hormone agonists can effectively reduce symptoms and control the course of the disease.

It is important to note that surgery, although it may be necessary in some cases, should not be considered as the only way to solve the problem. Understanding these aspects is important for forming the right approach to treatment.

Conclusion. The main goal of modern strategies in the treatment of endometriosis is to improve the quality of life of women with this disease. However, the choice of treatment method should be individualized and based on the clinical picture, the patient's age, the severity of the disease and her reproductive plans.

Keywords: endometriosis; chronic pelvic pain; infertility; conservative tactics; surgical treatment; modern strategies; literature review

For citation. Alekseenko, A. A., Sulima, A. N., Rumyantseva, Z. S., Baskakov, P. N., Dija, M. A., Beglitse, D. A., & Rumyantseva, E. S. (2025). Modern strategies in the treatment of endometriosis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(5), 641-664. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-5-1310>

Введение

Эндометриоз – это хроническое, гормонозависимое заболевание, характеризующееся разрастанием ткани, подобной эндометрию, за пределами полости матки. Этот процесс может вызывать сильную боль в тазовой области и затруднять наступление беременности. Эндометриоз может начаться при первой менструации и продолжаться до наступления менопаузы [1; 14].

Клиническая значимость эндометриоза обусловлена его высокой распространённостью и серьёзными последствиями для репродуктивного здоровья женщин. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, эндометриоз поражает приблизительно 10% женщин репродуктивного возраста, что эквивалентно 190 миллионам женщин по всему миру [36]. Заболевание в большинстве случаев сопровождается хронической тазовой болью, дисменореей, диспареунией и бесплодием, существенно снижая качество жизни пациенток [13; 37].

Патофизиологические механизмы развития эндометриоза включают ретроградную менструацию, метаплазию целомического эпителия, дисфункцию иммунной системы и генетическую предрасположенность [23]. Эктопические эндометриоидные очаги могут локализоваться на брюшине малого таза, яичниках, маточных трубах, ректовагинальной перегородке, мочевом пузыре и кишечнике [24]. В редких случаях эндометриоз обнаруживается вне области таза [2; 20].

Иммунологические аспекты эндометриоза играют ключевую роль в его патогенезе. Аномальные иммунные реакции способствуют выживанию и

пролиферации эндометриоидных клеток вне матки. Нарушения в работе макрофагов, натуральных киллеров и Т-клеток создают благоприятные условия для имплантации и роста эктопического эндометрия [15]. Кроме того, повышенная продукция провоспалительных цитокинов усиливает воспалительный процесс, способствуя прогрессированию данного заболевания. [12; 16].

Терапия эндометриоза направлена на снижение болевых симптомов, улучшение репродуктивного прогноза и повышение качества жизни пациенток. [6; 34]. Медикаментозное лечение включает применение гормональных препаратов, таких как прогестины, комбинированные оральные контрацептивы и агонисты гонадотропин-рилизинг гормона, которые подавляют активность эндометриоидных очагов [38]. Хирургическое вмешательство, направленное на удаление эндометриоидных поражений, рекомендуется в случаях неэффективности медикаментозной терапии, нарушении репродуктивной функции, при наличии болевого синдрома, а также эндометриоидных кистозных образований яичника диаметром более 3–4 см (по данным дополнительных методов исследования) [3].

Цель исследования – изучить современные стратегии лечения эндометриоза.

Материалы и методы

В настоящем обзоре на основании анализа специальной отечественной и зарубежной литературы, размещенной в электронных библиотеках eLibrary и КиберЛенинка, базе данных медико-биологических публикаций PubMed, Medline, Scopus и Magiran, представлено теоретическое обоснование проблемы эндометриоза и возможные пути коррекции данного заболевания на современном этапе.

Результаты и их обсуждение

Медикаментозная терапия эндометриоза включает использование гормонально-модулирующих агентов, направленных на подавление активности эктопических эндометриоидных очагов и облегчение симптомов заболевания [33]. К основным группам таких препаратов относятся прогестины, комбинированные оральные контрацептивы (КОК), аналоги и антагонисты гонадотропин-рилизинг-гормона (ГнРГ), а также модуляторы прогестероновых рецепторов [21]. Каждая из этих групп обладает специфическими механизмами действия, клинической эффективностью и профилем побочных эффектов [4; 19].

Прогестагены или прогестины представляют собой синтетические аналоги прогестерона, используемые для подавления эстрогензависимого роста эндометриоидных очагов. Препараты данной группы рекомендуют использовать в качестве терапии первой линии. Механизм их действия включает децидуализацию и атрофию эндометриоидной ткани, а также подавление секреции гонадотропинов, что снижает продукцию эстрогенов. Назначение возможно как в непрерывном, так и в циклическом режиме. При использовании прогестагенов в непрерывном режиме происходит атрофия железистого эпителия и децидуализация стромального компонента. Долгосрочная терапия показывает свою эффективность в контроле симптомов и уменьшении размеров эндометриом [18]. К прогестагенам, применяемым при эндометриозе, относятся диеногест. Клинические исследования показали, что диеногест в дозе 2 мг в сутки эффективно купирует болевой синдром, связанный с эндометриозом, за счет атрофии способствует уменьшению распространенности эндометриоидных очагов [40]. В 2022 г. вышли новые рекомендации Европейского общества по репродукции и эмбриологии (ESHRE), которые предлагают назначать женщинам прогестагены с целью купирования эндометриоз-ассоциированной боли (сильная рекомендация).

Комбинированные оральные контрацептивы широко применяются в лечении эндометриоза благодаря способности подавлять овуляцию и снижать уровень эстрогенов, что приводит к уменьшению активности эндометриоидных очагов. КОК изначально специально не разрабатывались для лечения эндометриоза, но смогли показать свою эффективность в терапии данного заболевания. Механизм действия КОК основан на ингибировании секреции гонадотропинов, что предотвращает рост и пролиферацию эндометриоидной ткани. Назначаются исключительно женщинам, у которых нет противопоказаний к приёму данной группы препаратов и которые нуждаются в контрацепции. Могут назначаться для уменьшения диспареунии, дисменореи а также более связанных непосредственно с эндометриозом. Клинические исследования подтверждают эффективность КОК в снижении болевого синдрома и предотвращении рецидивов заболевания. Комбинированные оральные контрацептивы имеют значительно меньше побочных эффектов, чем аналоги ГнРГ [25]. Однако применение КОК может сопровождаться побочными эффектами, такими как тошнота, головные боли, повышение артериального давления и риск тромбозмболических осложнений. Так же рекомендуют применение КОК с диеногестом для пациентов, у которых есть эндометриоз, но не планируется беременность.

Агонисты гонадотропин-рилизинг-гормона (аГнРГ) действуют на гипофизарно-гонадную ось, вызывая временное гипозестрогенное состояние, что приводит к регрессии эндометриoidных очагов. Так же в дополнении перед подготовкой к оперативному лечению или программам ВРТ. Однако длительное применение аГнРГ может привести к снижению минеральной плотности костной ткани, увеличивая риск остеопороза, что требует назначение «add-back» терапии.

Модуляторы прогестероновых рецепторов представляют собой отдельную фармакологическую группу препаратов, используемых в терапии эндометриоза [7]. Они избирательно связываются с прогестероновыми рецепторами, оказывая как агонистическое, так и антагонистическое действие, что приводит к подавлению пролиферации эндометриoidной ткани и уменьшению воспаления [17]. Сравнительные исследования показали, что модуляторы прогестероновых рецепторов могут быть столь же эффективны, как и другие гормональные средства, но при этом обладают неблагоприятным профилем побочных эффектов [5]. Имеются данные о ряде нежелательных побочных эффектов со стороны гепато-билиарной системы [8].

Выбор конкретного гормонально-модулирующего агента для лечения эндометриоза зависит от индивидуальных особенностей пациентки, выраженности симптомов, наличия сопутствующих заболеваний и переносимости препаратов. Прогестагены и комбинированные оральные контрацептивы часто рассматриваются в качестве терапии первой линии из-за их эффективности и относительной безопасности. Агонисты ГнРГ и модуляторы прогестероновых рецепторов применяются в случаях неэффективности или непереносимости первой линии терапии [9].

Важно отметить, что медикаментозная терапия эндометриоза направлена на контроль симптомов и предотвращение прогрессирования заболевания, но не обеспечивает полного излечения. Схема лечения должна быть индивидуально подобрана, исходя из клинической ситуации и потребностями пациентки при необходимости, сочетаться с хирургическими методами и другими подходами для достижения оптимальных результатов [29].

Негормональные медикаментозные методы лечения эндометриоза включают использование нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП) и анальгетиков для симптоматического облегчения боли, а также применение перспективных фармакологических агентов, таких как ингибиторы ароматазы, иммуномодуляторы и новые молекулярно-направленные препараты, направленные на патогенетическое воздействие на заболевание [10].

Нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП) широко применяются для уменьшения боли и воспаления при различных заболеваниях, включая эндометриоз. Данная группа препаратов применяется у подростков, пациентов с ограниченными финансовыми возможностями, а также с абсолютными противопоказаниями к приёму гормональной терапии: онкологические заболевания, инсульт/инфаркт в анамнезе, сахарный диабет, ожирение, заболевания печени, миома матки с субмукозным ростом узла.

Данные препараты действуют, снижая выработку простагландинов – веществ, способствующих воспалению и боли. Однако НПВП в основном обеспечивают временное облегчение симптомов и не влияют на прогрессирование заболевания. Назначаются НПВП кратковременно до 3 месяцев. Длительное применение НПВП может привести к побочным эффектам, таким как желудочно-кишечные расстройства, повышение артериального давления и риск сердечно-сосудистых заболеваний [11; 30].

В качестве стратегии лечения подростков рекомендуется применение консервативных методов. Терапией первой линии является группа НПВС, которые направлены на устранение болевого синдрома, а в случае неэффективности данных препаратов альтернативой становятся прогестагены либо КОК при необходимости контрацепции.

При выраженном болевом синдроме, который не купируется медикаментозной терапией, а так же объёмных образованиях в малом тазу, прибегают к хирургическому методу лечения с целью облегчения симптомов, остановки прогрессирования заболевания и сохранения фертильности в будущем [5].

Ингибиторы ароматазы представляют собой класс препаратов, блокирующих фермент ароматазу, ответственный за превращение андрогенов в эстрогены. Снижение уровня эстрогенов приводит к уменьшению стимуляции эндометриоидных очагов, что способствует их регрессии. Ингибиторы ароматазы, такие как экземестан, анастрозол и летрозол показали свою эффективность в лечении эндометриоза, особенно у женщин в постменопаузе. Однако их применение может сопровождаться побочными эффектами, включая снижение минеральной плотности костей и повышенный риск остеопороза.

Иммуномодуляторы, такие как интерферон-альфа и ингибиторы фактора некроза опухоли (ФНО), исследуются как потенциальные средства для лечения эндометриоза. Они направлены на коррекцию иммунных нарушений, способствующих развитию заболевания. Предварительные иссле-

дования показывают, что применение таких препаратов может уменьшать выраженность эндометриозных очагов и улучшать фертильность. Однако необходимы дополнительные клинические испытания для подтверждения их эффективности и безопасности [12].

Новые молекулярно-направленные препараты, такие как ингибиторы матриксных металлопротеиназ и антагонисты рецепторов к эндотелину, находятся на стадии разработки и клинических испытаний [30; 37]. Они нацелены на специфические механизмы патогенеза эндометриоза, включая инвазию и ангиогенез эндометриозных клеток [13]. Предполагается, что такие препараты могут обеспечить более целенаправленное и эффективное лечение с минимальными побочными эффектами [39].

Хирургическое лечение эндометриоза направлено на удаление или разрушение эндометриозных очагов, восстановление нормальной анатомии органов малого таза и облегчение симптомов заболевания [31]. Основными методами хирургического вмешательства являются минимально инвазивные техники, такие как лапароскопия, и радикальные операции, включая гистерэктомию и оофорэктомию [26]. Выбор конкретного метода зависит от тяжести заболевания, возраста пациентки, её репродуктивных планов и эффективности предшествующей терапии [14].

Минимально инвазивные методики, в частности лапароскопическое удаление или абляция эндометриозных очагов и кист, широко применяются в современной гинекологической практике [28]. Лапароскопия позволяет хирургу визуализировать органы малого таза и с точностью удалить патологические образования через небольшие разрезы на брюшной стенке. Преимуществами этого метода являются минимальная травматизация тканей, сокращение периода восстановления и снижение риска спаечных процессов. Кроме того, лапароскопия способствует нормализации менструального цикла и уменьшению болевого синдрома [35].

При планировании хирургического лечения у женщин с эндометриозом, желающих сохранить репродуктивную функцию, особое внимание уделяется органосохраняющим подходам. Лапароскопическое удаление эндометриозных очагов и кист позволяет устранить патологические образования, сохраняя при этом здоровые ткани яичников и матки. Дополнительно рекомендуется выполнить адгезиолизис с целью улучшения фертильности. Такой подход повышает шансы на успешное зачатие и вынашивание беременности в будущем [22].

Радикальные вмешательства, такие как гистерэктомия (удаление матки) и/или оофорэктомия (удаление яичников), рассматриваются в случа-

ях тяжёлого течения эндометриоза, не поддающегося консервативному лечению, или при наличии сопутствующих заболеваний [20; 32]. Гистерэктомия может быть выполнена через разрез в нижней части живота (абдоминальная гистерэктомия) или через влагалище без разреза по передней брюшной стенке (вагинальная гистерэктомия). Удаление яичников приводит к резкому снижению уровня эстрогенов, что способствует регрессии эндометриoidных очагов, но также вызывает искусственную менопаузу со всеми её проявлениями.

Решение о проведении радикальных операций принимается с учётом возраста пациентки, выраженности симптомов, эффективности предыдущего лечения и общего состояния здоровья. Важно отметить, что такие вмешательства имеют необратимые последствия, включая потерю репродуктивной функции и возможные изменения в гормональном статусе, что может повлиять на качество жизни пациентки. Поэтому перед проведением радикальных операций необходимо тщательно взвесить все риски и обсудить альтернативные методы лечения. Тем не менее, операция становится обязательной при наличии опухолевидных образований O-RADS-3 и выше, при наличии синдрома тазовых болей, а также у женщин, выполнивших репродуктивную функцию [24].

Сравнительный анализ хирургических стратегий и медикаментозного лечения показывает, что комбинированный подход может быть наиболее эффективным. Лапароскопическое удаление эндометриoidных очагов в сочетании с последующей гормональной терапией позволяет достичь стойкой ремиссии и снизить риск рецидивов заболевания. Схема лечения должна быть индивидуально подобрана, основываясь на клинической картине, предпочтениях пациентки и наличии противопоказаний [16].

Таким образом, хирургическое лечение эндометриоза играет ключевую роль в комплексной терапии заболевания. Минимально инвазивные методики, такие как лапароскопия, позволяют эффективно удалять патологические очаги с минимальной травматизацией тканей, что особенно важно для женщин, планирующих беременность. Радикальные вмешательства, включая гистерэктомию и оофорэктомию, применяются в тяжёлых случаях, когда другие методы лечения неэффективны [17]. Комбинация хирургических и медикаментозных подходов способствует достижению наилучших результатов в лечении эндометриоза и улучшению качества жизни пациенток.

Критерии оценки эффективности лечения эндометриоза включают снижение болевых ощущений, улучшение фертильности и повышение

качества жизни пациенток. Медикаментозная терапия показала свою эффективность в контроле болевого синдрома и улучшении качества жизни. Однако у некоторых женщин наблюдается недостаточный ответ на медикаментозное лечение, что требует применения хирургических методов. Лапароскопическое удаление эндометриoidных очагов способствует значительному снижению болевого синдрома и улучшению фертильности, особенно у женщин с тяжелыми формами заболевания [18; 26].

Анализ безопасности различных методов терапии эндометриоза является ключевым аспектом при выборе оптимальной тактики лечения. Медикаментозная терапия, особенно с использованием аГнРГ, может приводить к нежелательным гормональным побочным реакциям, таким как приливы жара, снижение либидо и сухость слизистой оболочки влагалища. Хирургическое вмешательство сопряжено с риском оперативных осложнений и требует длительного периода восстановления [19]. Таким образом, при выборе метода лечения необходимо тщательно взвешивать потенциальные риски и преимущества каждого подхода.

Долгосрочные перспективы лечения эндометриоза включают оценку частоты рецидивов заболевания, необходимость повторных вмешательств и возможность изменения тактики терапии. Комбинированный подход, сочетающий хирургическое удаление эндометриoidных очагов с последующей длительной противорецидивной гормональной терапией, показал свою эффективность в снижении частоты рецидивов и улучшении репродуктивных исходов. Однако отсутствие эффективной персонализированной патогенетической терапии эндометриоза с использованием гестагенов обуславливает высокий риск прогрессирования данного заболевания [17].

Таким образом, выбор оптимальной тактики лечения эндометриоза должен основываться на тщательном сравнительном анализе эффективности и безопасности различных методов терапии.

Заключение

Эндометриоз представляет собой сложное и многофакторное заболевание, требующее индивидуализированного и комплексного подхода к лечению. Медикаментозная терапия, включая использование комбинированных оральных контрацептивов, прогестагенов и агонистов гонадотропин-рилизинг-гормона, направлена на подавление активности эктопических эндометриoidных очагов и облегчение симптомов. Однако эффективность этих препаратов может варьировать, и их применение часто сопровождается побочными эффектами, что ограничивает их длительное использование [27].

Хирургическое вмешательство, особенно лапароскопические методы, позволяет удалять или разрушать эндометриoidные очаги, восстанавливая нормальную анатомию органов малого таза и облегчая симптомы заболевания. Тем не менее, хирургическое лечение сопряжено с риском оперативных осложнений и возможностью рецидивов, что подчеркивает необходимость тщательного отбора пациенток.

Современные исследования направлены на разработку новых фармакологических агентов, таких как ингибиторы ароматазы, иммуномодуляторы и молекулярно-направленные препараты, которые воздействуют на специфические механизмы патогенеза эндометриоза. Предварительные данные свидетельствуют о перспективности этих подходов, однако необходимы дополнительные клинические испытания для подтверждения их эффективности и безопасности.

Междисциплинарный подход, включающий взаимодействие гинекологов, репродуктологов, эндокринологов, реабилитологов и психологов, играет ключевую роль в оптимизации исходов терапии эндометриоза. Такой подход обеспечивает всестороннюю оценку состояния пациентки и позволяет разработать индивидуальную стратегию лечения, направленную на улучшение качества жизни и репродуктивного здоровья.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Адамян, Л. В., & Андреева, Е. Н. (2022). Эндометриоз и его глобальное влияние на организм женщины. *Проблемы репродукции*, 28(1), 54–56. <https://doi.org/10.17116/repro20222801154>. EDN: <https://elibrary.ru/ELOTDZ>
2. Адамян, Л. В., Кулаков, В. И., & Андреева, Е. Н. (2020). *Эндометриоз: Руководство для врачей*. 360 с. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002950359/ (дата обращения: 02.03.2025).
3. Беженарь, В. Ф., Круглов, С. Ю., Кузьмина, Н. С., Констанденкова, А. С., & Граматикова, А. Г. (2024). Анализ эффективности различных методов ведения пациенток с эндометриозом и обоснование длительной персонализированной противорецидивной терапии дидрогестероном в рамках стратегии их комбинированного применения. *Проблемы репродукции*, 30(2),

- 102–111. <https://doi.org/10.17116/repro202430021102>. EDN: <https://elibrary.ru/SZAJJA>
4. Ермолова, Н. В., Петров, Ю. А., Левкович, М. А., Савченко, А. В., & Сле-сарева, К. В. (2023). Ведение пациенток с генитальным эндометриозом: новые стратегии. *Доктор.Ру*, 22(5), 89–94. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2023-22-5-89-94>. EDN: <https://elibrary.ru/HFLGPP>
 5. Судаков, Д. С., Николаенков, И. П., Дымарская, Ю. Р., & Бубнова, Д. В. (2021). Возможности и перспективы в лечении лейомиомы матки и инфильтративного эндометриоза – высокоэнергетическая фокусированная ультразвуковая абляция. *Журнал акушерства и женских болезней*, 70(2), 129–138. <https://doi.org/10.17816/JOWD52982>. EDN: <https://elibrary.ru/ZOE EWG>
 6. Волков, В. Г., & Малых, Н. Е. (2019). Эффективность и безопасность длительного применения диеногеста у женщин с глубоким инфильтративным эндометриозом. *РМЖ. Мать и дитя*, 2(3), 226–230. <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2019-2-3-226-230>. EDN: <https://elibrary.ru/RRTMJP>
 7. Гончарова, М. А., Петров, Ю. А., & Кислякова, Н. Н. (2020). Генитальный эндометриоз: основные направления диагностики и лечения. *Научное обозрение. Медицинские науки*, (2), 5–9. <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=1089> (дата обращения: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/FYQUDE>
 8. Солопова, А. Е., Алиева, П. М., Думановская, М. Р., & Табеева, Г. И. (2024). Диагностика и медикаментозная терапия эндометриоза на амбулаторном этапе. *Гинекология*, 26(2), 135–140. <https://doi.org/10.26442/20795696.2024.2.202733>. EDN: <https://elibrary.ru/WEIFUI>
 9. Альмова, И. К., Бобров, М. Ю., Чупрынин, В. Д., Хилькевич, Е. Г., & Чурсин, В. В. (2017). Диагностическая роль микроРНК как биологических маркеров наружного (ретроцервикального) эндометриоза. *Акушерство и гинекология*, (8), 34–40. <https://doi.org/10.18565/aig.2017.8.34-40>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFTGKJ>
 10. Арсланян, К. Н., Адамян, Л. В., Манукян, Л. М., Логинова, О. Н., & Харченко, Э. И. (2020). Иммунологические аспекты эндометриоза: обзор литературы. *Лечащий врач*, (4), 37–47. <https://doi.org/10.26295/OS.2020.29.10.007>. EDN: <https://elibrary.ru/AAYJHP>
 11. Адамян, Л. В., Алясова, А. В., Пивазян, Л. Г., & Степанян, А. А. (2024). Иммунологические аспекты эндометриоза: патофизиологические механизмы, диагностика, аутоиммунитет, таргетная терапия и модуляция. *Проблемы репродукции*, 30(2), 15–31. <https://doi.org/10.17116/repro20243002115>. EDN: <https://elibrary.ru/CRKONX>

12. Козаченко, А. В. (2020). Гормональная терапия больных эндометриозом – современное состояние проблемы. *Медицинский Совет*, (13), 116–123. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-13-116-123>. EDN: <https://elibrary.ru/SQEPKA>
13. Козаченко, И. Ф., & Адамян, Л. В. (2020). Восстановление репродуктивной функции у больных аденомиозом после проведения органосохраняющих операций. *Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение*, 8(2), 59–66. <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-12005>. EDN: <https://elibrary.ru/EANHGS>
14. Коноваленко, А. А. (2016). Актуальные проблемы диагностики и лечения эндометриоза. *Молодой учёный*, (25(129)), 153–156. <https://moluch.ru/archive/129/35861/> (дата обращения: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/XBFYAV>
15. Логинова, О. Н., & Сонова, М. М. (2011). Эндометриоз и бесплодие: патофизиология и тактика ведения. *Российский вестник акушера-гинеколога*, 11(6), 47–53. EDN: <https://elibrary.ru/PZAWJX>
16. Попова-Петросян, Е. В., Довгань, А. А., Ряпова, Э. И., & Довгань, М. А. (2021). Необходимость оперативного лечения эндометриоза в репродуктивном периоде. *Таврический медико-биологический вестник*, 24(3), 104–110. <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2021-24-3-104-110>. EDN: <https://elibrary.ru/CVCOGL>
17. Качалина, Т. С., Зиновьев, А. Н., Зиновьева, М. С., & Богатова, М. Е. (2017). Онкологические аспекты эндометриоза гениталий. *Лечащий врач*. <https://www.lvrach.ru/2017/05/15436729> (дата обращения: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/YPWMFV>
18. Чернецова, А. С., Шаров, М. Н., Адамян, Л. В., Мурватов, К. Д., Киселёв, С. И., Прокофьева, Ю. С., & Гончаров, И. Н. (2024). Определение содержания катехоламинов у пациенток с хронической тазовой болью, ассоциированной с эндометриозом. *Фарматека*, (8), 78–83. <https://doi.org/10.18565/pharmateca.2024.8.78-83>. EDN: <https://elibrary.ru/MAWOEN>
19. Мануйлова, Т. Ю., Ярмолинская, М. И., Тхазапличева, С. Ш., Сельков, С. А., & Шаповалова, Е. А. (2015). Опыт применения препарата Лонгидаза у пациенток с наружным генитальным эндометриозом. *Архив акушерства и гинекологии им. В. Ф. Снегирёва*, (4), 48–49. EDN: <https://elibrary.ru/VAXQRR>
20. Ихтиярова, Г. А., Аслонова, М. Ж., Курбанова, З. Ш., & Калиматова, Д. М. (2021). Перспективы диагностики эндометриоза с учётом роли генетических факторов в патогенезе заболевания. *РМЖ. Мать и дитя*, 4(1), 12–16.

- <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-1-12-16>. EDN: <https://elibrary.ru/ALTTLP>
21. Русина, Е. И., Ярмолинская, М. И., & Пьянкова, Е. О. (2020). Глубокий инфилтративный эндометриоз. Спорные вопросы: за и против. *Гинекология*, 22(5), 50–56. <https://doi.org/10.26442/20795696.2020.5.200274>. EDN: <https://elibrary.ru/CCFYIV>
 22. Сапрыкина, Л. В., Доброхотова, Ю. Э., & Сапрыкина, О. А. (2023). Эндометриоз: гормональная терапия с позиций патогенеза. *Эффективная фармакотерапия. Акушерство и гинекология*, (3(25)), 45–50.
 23. Ефанова, Н. А., Михельсон, А. Ф., Лебеденко, Е. Ю., Заика, В. Г., & Феоктистова, Т. Е. (2018). Современные аспекты патогенеза основных клинических проявлений и перспектив терапии эндометриоза. *Таврический медико-биологический вестник*, 21(3), 180–183. EDN: <https://elibrary.ru/YUKPKX>
 24. Кудрявцева, Е. В., Геец, А. В., Мангилева, Я. А., Чижова, А. В., & Пацюк, О. В. (2023). Современные неинвазивные методы диагностики эндометриоза. *Уральский медицинский журнал*, 22(4), 140–147. <https://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-4-140-147>. EDN: <https://elibrary.ru/CONKMJ>
 25. Щукина, Н. А., Буянова, С. Н., Бабунашвили, Е. Л., Земскова, Н. Ю., & Глебов, Т. А. (2022). Современные подходы к лечению эндометриоза. *Российский вестник акушера-гинеколога*, 22(2), 119–124. <https://doi.org/10.17116/rosakush20222021119>. EDN: <https://elibrary.ru/YGJAWP>
 26. Тихомиров, А. Л. (2019). Триггеры и профилактика эндометриоза. *Трудный пациент*, 17(8–9), 13–19. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2019-10056>. EDN: <https://elibrary.ru/ACYGJJ>
 27. Ефимова, А. А., Горелова, И. В., Цыпурдеева, А. А., Рулёв, М. В., & Зазерская, И. Е. (2024). Эффективность методов лечения бесплодия у пациенток с эндометриозом I–II стадии по гASRM. *Женское здоровье и репродукция*, (1(62)), 52–60. <https://doi.org/10.31550/2712-8598-2024-1-6-ZhZiR>. EDN: <https://elibrary.ru/ZZMLIK>
 28. Ярмолинская, М. И., & Хобец, В. В. (2019). Роль окситоцина в патогенезе эндометриоза: различные грани проблемы. *Журнал акушерства и женских болезней*, 68(3), 89–98. <https://doi.org/10.17816/JOWD68389-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZYBOST>
 29. Ярмолинская, М. И., & Флорова, М. С. (2017). Возможности терапии диеногестом 2 мг у больных наружным генитальным эндометриозом. *Проблемы репродукции*, 23(1), 70–79. <https://doi.org/10.17116/repro201723170-79>. EDN: <https://elibrary.ru/YHWTQL>

30. Suszczyk, D., Skiba, W., Zardzewiały, W., Pawłowska, A., Włodarczyk, K., Polak, G., Tarkowski, R., & Wertel, I. (2021). Clinical value of the PD-1/PD-L1/PD-L2 pathway in patients suffering from endometriosis. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 11563. <https://doi.org/10.3390/ijms231911607>. EDN: <https://elibrary.ru/UEAICX>
31. Reh, L. M., Darici, E., Montanari, E., Keckstein, J., Senft, B., Dauser, B., & Hudelist, G. (2020). Differences in intensity and quality of bowel symptoms in patients with colorectal endometriosis: An observational cross-sectional study. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 134(21–22), 772–778. <https://doi.org/10.1007/s00508-022-02088-x>. EDN: <https://elibrary.ru/WGWNPY>
32. Alkatout, İ., Meinhold-Heerlein, I., Keckstein, J., & Mettler, L. (2018). Endometriosis: A concise practical guide to current diagnosis and treatment. *Journal of the Turkish German Gynecological Association*, 19(3), 173–175. <https://doi.org/10.4274/jtgga.2018.0026>
33. Bourdon, M., Peigné, M., Maignien, C., de Villardi de Montlaur, D., Solignac, C., Darné, B., Languille, S., Bendifallah, S., & Santulli, P. (2024). Impact of endometriosis surgery on in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Reproductive Sciences*, 31(6), 1431–1455. <https://doi.org/10.1007/s43032-023-01421-7>. EDN: <https://elibrary.ru/TORVWX>
34. Adhikari, P., Rana, A., Karki, G., & Shah, K. B. (2024). Is this an adenocarcinoma? A case report of extragenital endometriosis with hydroureteronephrosis. *Annals of Medicine and Surgery (London)*, 86(7), 4156–4160. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000002119>. EDN: <https://elibrary.ru/DXOWWK>
35. Breteau, P., Chanavaz-Lacheray, I., Rubod, C., Turck, M., Sanguin, S., Pop, I., Resch, B., & Roman, H. (2019). Pregnancy rates after surgical treatment of deep infiltrating endometriosis in infertile patients with at least 2 previous in vitro fertilization or intracytoplasmic sperm injection failures. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 27, 1148–1157. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2019.08.032>. EDN: <https://elibrary.ru/CDJHRR>
36. Saunders, P. T. K., & Horne, A. W. (2021). Endometriosis: Etiology, pathobiology, and therapeutic prospects. *Cell*, 184(11), 2807–2824. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.04.041>. EDN: <https://elibrary.ru/IAEVAV>
37. Minko Essono, S., Mvondo, M. A., Ngadjui, E., Kemka Nguimatio, F. X., & Watcho, P. (2020). The ethanol extract of avocado (*Persea americana* Mill., Lauraceae) seeds successfully induces implant regression and restores ovarian dynamics in a rat model of endometriosis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 8521831. <https://doi.org/10.1155/2020/8521831>. EDN: <https://elibrary.ru/NLNSRB>

38. Alshehre, S. M., Narice, B. F., Fenwick, M. A., & Metwally, M. (2021). The impact of endometrioma on in vitro fertilisation/intra-cytoplasmic injection (IVF/ICSI) reproductive outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 303, 3–16. <https://doi.org/10.1007/s00404-020-05796-9>. EDN: <https://elibrary.ru/QGSLFT>
39. Alborzi, S., Zahiri Sorouri, Z., Askari, E., Poordast, T., & Chamanara, K. (2019). The success of various endometrioma treatments in infertility: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Reproductive Medicine Biology*, 18, 312–322. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12286>
40. Ciriaco, P., Muriana, P., Lembo, R., Carretta, A., & Negri, G. (2022). Treatment of thoracic endometriosis syndrome: A meta-analysis and review. *The Annals of Thoracic Surgery*, 113, 324–326. <https://doi.org/10.1016/j.athorac-sur.2020.09.064>. EDN: <https://elibrary.ru/CTJUOT>

References

1. Adamyan, L. V., & Andreeva, E. N. (2022). Endometriosis and its global impact on the female body. *Problems of Reproduction*, 28(1), 54–56. <https://doi.org/10.17116/repro20222801154>. EDN: <https://elibrary.ru/ELOTDZ>
2. Adamyan, L. V., Kulakov, V. I., & Andreeva, E. N. (2020). *Endometriosis: A guide for physicians*. 360 p. https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_002950359/ (accessed: 02.03.2025)
3. Bezhenar, V. F., Kruglov, S. Yu., Kuzmina, N. S., Konstadenkova, A. S., & Gramatikova, A. G. (2024). Analysis of the effectiveness of various management methods for patients with endometriosis and justification of long-term personalized antipreventive therapy with dydrogesterone within the framework of their combined use strategy. *Problems of Reproduction*, 30(2), 102–111. <https://doi.org/10.17116/repro202430021102>. EDN: <https://elibrary.ru/SZAJJA>
4. Ermolova, N. V., Petrov, Yu. A., Levkovich, M. A., Savchenko, A. V., & Slesareva, K. V. (2023). Management of patients with genital endometriosis: new strategies. *Doctor.Ru*, 22(5), 89–94. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2023-22-5-89-94>. EDN: <https://elibrary.ru/HFLGPP>
5. Sudakov, D. S., Nikolaenkov, I. P., Dymarskaya, Yu. R., & Bubnova, D. V. (2021). Opportunities and prospects in the treatment of uterine leiomyoma and infiltrative endometriosis — high-energy focused ultrasound ablation. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*, 70(2), 129–138. <https://doi.org/10.17816/JOWD52982>. EDN: <https://elibrary.ru/ZOE EWG>
6. Volkov, V. G., & Malykh, N. E. (2019). Efficacy and safety of long-term use of dienogest in women with deep infiltrative endometriosis. *RMJ. Mother and*

- Child*, 2(3), 226–230. <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2019-2-3-226-230>. EDN: <https://elibrary.ru/RRTMJP>
7. Goncharova, M. A., Petrov, Yu. A., & Kislyakova, N. N. (2020). Genital endometriosis: main directions of diagnosis and treatment. *Scientific Review. Medical Sciences*, (2), 5–9. <https://science-medicine.ru/ru/article/view?id=1089> (accessed: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/FYQUDE>
 8. Solopova, A. E., Alieva, P. M., Dumanovskaya, M. R., & Tabeeva, G. I. (2024). Diagnosis and drug therapy of endometriosis at the outpatient stage. *Gynecology*, 26(2), 135–140. <https://doi.org/10.26442/20795696.2024.2.202733>. EDN: <https://elibrary.ru/WEIFUI>
 9. Almova, I. K., Bobrov, M. Yu., Chuprynin, V. D., Khilkevich, E. G., & Chursin, V. V. (2017). Diagnostic role of microRNAs as biological markers of external (retro-cervical) endometriosis. *Obstetrics and Gynecology*, (8), 34–40. <https://doi.org/10.18565/aig.2017.8.34-40>. EDN: <https://elibrary.ru/ZFTGKJ>
 10. Arslanyan, K. N., Adamyan, L. V., Manukyan, L. M., Loginova, O. N., & Kharchenko, E. I. (2020). Immunological aspects of endometriosis: literature review. *Attending Physician*, (4), 37–47. <https://doi.org/10.26295/OS.2020.29.10.007>. EDN: <https://elibrary.ru/AAYJHP>
 11. Adamyan, L. V., Alyasova, A. V., Pivazyan, L. G., & Stepanyan, A. A. (2024). Immunological aspects of endometriosis: pathophysiological mechanisms, diagnosis, autoimmunity, targeted therapy and modulation. *Problems of Reproduction*, 30(2), 15–31. <https://doi.org/10.17116/repro20243002115>. EDN: <https://elibrary.ru/CRKOHX>
 12. Kozachenko, A. V. (2020). Hormonal therapy for patients with endometriosis – current state of the problem. *Medical Council*, (13), 116–123. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-13-116-123>. EDN: <https://elibrary.ru/SQEPKA>
 13. Kozachenko, I. F., & Adamyan, L. V. (2020). Restoration of reproductive function in patients with adenomyosis after organ-preserving surgeries. *Obstetrics and Gynecology: News, Opinions, Training*, 8(2), 59–66. <https://doi.org/10.24411/2303-9698-2020-12005>. EDN: <https://elibrary.ru/EANHGS>
 14. Konovalenko, A. A. (2016). Current problems of diagnosis and treatment of endometriosis. *Young Scientist*, (25(129)), 153–156. <https://moluch.ru/archive/129/35861/> (accessed: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/XBFYAV>
 15. Loginova, O. N., & Sonova, M. M. (2011). Endometriosis and infertility: pathophysiology and management strategy. *Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*, 11(6), 47–53. EDN: <https://elibrary.ru/PZAWJX>
 16. Popova Petrosyan, E. V., Dovgan, A. A., Ryapova, E. I., & Dovgan, M. A. (2021). The need for surgical treatment of endometriosis in the reproductive

- period. *Taurida Medical and Biological Bulletin*, 24(3), 104–110. <https://doi.org/10.37279/2070-8092-2021-24-3-104-110>. EDN: <https://elibrary.ru/CVCOGL>
17. Kachalina, T. S., Zinoviev, A. N., Zinovieva, M. S., & Bogatova, M. E. (2017). Oncological aspects of genital endometriosis. *Attending Physician*. <https://www.lvrach.ru/2017/05/15436729> (accessed: 02.03.2025). EDN: <https://elibrary.ru/YPWMFV>
 18. Chernetsova, A. S., Sharov, M. N., Adamyan, L. V., Murvatov, K. D., Kiselev, S. I., Prokofieva, Yu. S., & Goncharov, I. N. (2024). Determination of catecholamine levels in patients with chronic pelvic pain associated with endometriosis. *Pharmateca*, (8), 78–83. <https://doi.org/10.18565/pharmateca.2024.8.78-83>. EDN: <https://elibrary.ru/MAWOEN>
 19. Manuylova, T. Yu., Yarmolinskaya, M. I., Tk hazaplizheva, S. Sh., Selkov, S. A., & Shapovalova, E. A. (2015). Experience of using the drug Longidaza in patients with external genital endometriosis. *Archive of Obstetrics and Gynecology named after V. F. Snegirev*, (4), 48–49. EDN: <https://elibrary.ru/VAXQRR>
 20. Ikhtiyarova, G. A., Aslonova, M. Zh., Kurbanova, Z. Sh., & Kalimatova, D. M. (2021). Prospects for diagnosing endometriosis considering the role of genetic factors in the disease pathogenesis. *RMJ. Mother and Child*, 4(1), 12–16. <https://doi.org/10.32364/2618-8430-2021-4-1-12-16>. EDN: <https://elibrary.ru/ALTTLP>
 21. Rusina, E. I., Yarmolinskaya, M. I., & Pyankova, E. O. (2020). Deep infiltrative endometriosis. Controversial issues: pros and cons. *Gynecology*, 22(5), 50–56. <https://doi.org/10.26442/20795696.2020.5.200274>. EDN: <https://elibrary.ru/CCFYIV>
 22. Saprykina, L. V., Dobrokhotova, Yu. E., & Saprykina, O. A. (2023). Endometriosis: hormonal therapy from the perspective of pathogenesis. *Effective Pharmacotherapy. Obstetrics and Gynecology*, (3(25)), 45–50
 23. Efanova, N. A., Mikhelson, A. F., Lebedenko, E. Yu., Zaika, V. G., & Feoktistova, T. E. (2018). Modern aspects of pathogenesis of main clinical manifestations and prospects of endometriosis therapy. *Taurida Medical and Biological Bulletin*, 21(3), 180–183. EDN: <https://elibrary.ru/YUKPKX>
 24. Kudryavtseva, E. V., Geets, A. V., Mangileva, Ya. A., Chizhova, A. V., & Pat-syuk, O. V. (2023). Modern non-invasive methods of endometriosis diagnosis. *Ural Medical Journal*, 22(4), 140–147. <https://doi.org/10.52420/2071-5943-2023-22-4-140-147>. EDN: <https://elibrary.ru/CONKMJ>
 25. Shchukina, N. A., Buianova, S. N., Babunashvili, E. L., Zemskova, N. Yu., & Glebov, T. A. (2022). Modern approaches to endometriosis treatment. *Russian Bulletin of Obstetrician-Gynecologist*, 22(2), 119–124. <https://doi.org/10.17116/rosakush20222021119>. EDN: <https://elibrary.ru/YGJAWP>

26. Tikhomirov, A. L. (2019). Triggers and prevention of endometriosis. *Difficult Patient*, 17(8–9), 13–19. <https://doi.org/10.24411/2074-1995-2019-10056>. EDN: <https://elibrary.ru/ACYGJJ>
27. Efimova, A. A., Gorelova, I. V., Tsypurdeeva, A. A., Rulev, M. V., & Zazerskaya, I. E. (2024). Efficacy of infertility treatment methods in patients with stage I–II endometriosis according to rASRM. *Women's Health and Reproduction*, 1(62), 52–60. <https://doi.org/10.31550/2712-8598-2024-1-6-ZhZiR>. EDN: <https://elibrary.ru/ZZMLIK>
28. Yarmolinskaya, M. I., & Khobets, V. V. (2019). The role of oxytocin in the pathogenesis of endometriosis: various facets of the problem. *Journal of Obstetrics and Women's Diseases*, 68(3), 89–98. <https://doi.org/10.17816/JOWD68389-98>. EDN: <https://elibrary.ru/ZYBOST>
29. Yarmolinskaya, M. I., & Florova, M. S. (2017). Therapeutic possibilities of dienogest 2 mg in patients with external genital endometriosis. *Problems of Reproduction*, 23(1), 70–79. <https://doi.org/10.17116/repro201723170-79>. EDN: <https://elibrary.ru/YHWTQL>
30. Suszczyk, D., Skiba, W., Zardzewiały, W., Pawłowska, A., Włodarczyk, K., Polak, G., Tarkowski, R., & Wertel, I. (2021). Clinical value of the PD-1/PD-L1/PD-L2 pathway in patients suffering from endometriosis. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 11563. <https://doi.org/10.3390/ijms231911607>. EDN: <https://elibrary.ru/UEAICX>
31. Reh, L. M., Darici, E., Montanari, E., Keckstein, J., Senft, B., Dauser, B., & Hudelist, G. (2020). Differences in intensity and quality of bowel symptoms in patients with colorectal endometriosis: An observational cross-sectional study. *Wiener Klinische Wochenschrift*, 134(21–22), 772–778. <https://doi.org/10.1007/s00508-022-02088-x>. EDN: <https://elibrary.ru/WGWNPY>
32. Alkatout, İ., Meinhold-Heerlein, I., Keckstein, J., & Mettler, L. (2018). Endometriosis: A concise practical guide to current diagnosis and treatment. *Journal of the Turkish German Gynecological Association*, 19(3), 173–175. <https://doi.org/10.4274/jtgga.2018.0026>
33. Bourdon, M., Peigné, M., Maignien, C., de Villardi de Montlaur, D., Solignac, C., Darné, B., Languille, S., Bendifallah, S., & Santulli, P. (2024). Impact of endometriosis surgery on in vitro fertilization/intracytoplasmic sperm injection outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Reproductive Sciences*, 31(6), 1431–1455. <https://doi.org/10.1007/s43032-023-01421-7>. EDN: <https://elibrary.ru/TORVWX>
34. Adhikari, P., Rana, A., Karki, G., & Shah, K. B. (2024). Is this an adenocarcinoma? A case report of extragenital endometriosis with hydrouretero-

- nephrosis. *Annals of Medicine and Surgery (London)*, 86(7), 4156–4160. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000002119>. EDN: <https://elibrary.ru/DXOWWK>
35. Breteau, P., Chanavaz-Lacheray, I., Rubod, C., Turck, M., Sanguin, S., Pop, I., Resch, B., & Roman, H. (2019). Pregnancy rates after surgical treatment of deep infiltrating endometriosis in infertile patients with at least 2 previous in vitro fertilization or intracytoplasmic sperm injection failures. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 27, 1148–1157. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2019.08.032>. EDN: <https://elibrary.ru/CDJHRR>
36. Saunders, P. T. K., & Horne, A. W. (2021). Endometriosis: Etiology, pathobiology, and therapeutic prospects. *Cell*, 184(11), 2807–2824. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.04.041>. EDN: <https://elibrary.ru/IAEVAV>
37. Minko Essono, S., Mvondo, M. A., Ngadjui, E., Kemka Nguimatio, F. X., & Watcho, P. (2020). The ethanol extract of avocado (*Persea americana* Mill., Lauraceae) seeds successfully induces implant regression and restores ovarian dynamics in a rat model of endometriosis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 8521831. <https://doi.org/10.1155/2020/8521831>. EDN: <https://elibrary.ru/NLNSRB>
38. Alshehre, S. M., Narice, B. F., Fenwick, M. A., & Metwally, M. (2021). The impact of endometrioma on in vitro fertilisation/intra-cytoplasmic injection (IVF/ICSI) reproductive outcomes: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 303, 3–16. <https://doi.org/10.1007/s00404-020-05796-9>. EDN: <https://elibrary.ru/QGSLFT>
39. Alborzi, S., Zahiri Sorouri, Z., Askari, E., Poordast, T., & Chamanara, K. (2019). The success of various endometrioma treatments in infertility: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Reproductive Medicine Biology*, 18, 312–322. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12286>
40. Ciriaco, P., Muriana, P., Lembo, R., Carretta, A., & Negri, G. (2022). Treatment of thoracic endometriosis syndrome: A meta-analysis and review. *The Annals of Thoracic Surgery*, 113, 324–326. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2020.09.064>. EDN: <https://elibrary.ru/CTJUOT>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Алексееенко Александра Александровна, врач-ординатор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского *Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*
sashok.ohremenko98@gmail.com

Сулима Анна Николаевна, д.мед.н., профессор, профессор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского *Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*
gsulima@yandex.ru

Румянцева Зоя Сергеевна, к.мед.н., доцент, заведующая кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского *Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*
zoyarum@inbox.ru

Баскаков Петр Николаевич, д.мед.н., профессор, профессор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского *Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*
petr.baskakov@gmail.com

Диза Маргарита Алексеевна, к.мед.н., доцент, доцент кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского *Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация*
rita.dizha@gmail.com

Беглицэ Дмитрий Анатольевич, главный врач; к.мед.н., доцент, доцент кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Симферопольский клинический родильный дом № 1»; Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

ул. Воровского, 8, г. Симферополь, 295017, Российская Федерация; пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация

9999da@gmail.com

Румянцева Екатерина Сергеевна, студентка кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1 Ордена Трудового Красного Знамени, Медицинский институт им. С. И. Георгиевского

Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского

пр-т Академика Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация

zoyarum@inbox.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexandra A. Alekseenko, Resident Physician of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation

sashok.ohremenko98@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1370-8534>

Anna N. Sulima, Dr. Sci. (Med), Professor, Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation

gsulima@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2671-6985>

Zoya S. Rumyantseva, Cand. Sci. (Med), Associate Professor, Head of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after. S. I. Georgievsky
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
zoyarum@inbox.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1711-021X>

Petr N. Baskakov, Dr. Sci. (Med), Professor, Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
petr.baskakov@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7382-7434>

Margarita A. Dizha, Cand. Sci. (Med), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
rita.dizha@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-0733>

Dmitry A. Beglitse, Chief Physician; Cand. Sci. (Med), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky
Simferopol Clinical Maternity Hospital № 1; V.I. Vernadsky Crimean Federal University
8, Vorovsky Str., Simferopol, Republic of Crimea, 295017, Russian Federation; 4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation

9999da@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1278-0393>

Ekaterina S. Rumyantseva, student of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1 of the Order of the Labor Red Banner, Medical institute named after S. I. Georgievsky

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

4, Vernadsky Ave., Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation

zoyarum@inbox.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5371-3820>

Поступила 10.03.2025

После рецензирования 17.04.2025

Принята 25.04.2025

Received 10.03.2025

Revised 17.04.2025

Accepted 25.04.2025

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	15-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗА-
НИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.

2. Цель работы.

3. Материалы и методы исследования.

4. Результаты исследования и их обсуждение.

5. Заключение.

6. Информация о конфликте интересов.

7. Информация о спонсорстве.

8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по формату APA.

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	15-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins –20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text

**DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES**

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be APA Style.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

ВЫЯВЛЕНИЕ ДИЭПИТЕЛИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР ПЛАЦЕНТЫ СВИНЕЙ

**А.В. Агарков, Н.В. Агарков, Р.А. Цыганский,
Н.В. Белугин, Н.А. Писаренко** 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЛЕАЛЬНОЙ ПЕРЕВАРИМОСТИ МУКИ ИЗ ЛИЧИНКИ *HERMETIA ILLUCENS*, РЫБНОЙ МУКИ И СТАНДАРТНОГО НИЗКОПРОТЕИНОВОГО РАЦИОНА

**К.С. Остренко, Р.В. Некрасов, Н.В. Боголюбова, И.В. Кутын,
А.И. Бутенко, К.С. Кольцов, Ю.А. Волченков** 28

О ВЛИЯНИИ МАЛЫХ МОЛЕКУЛ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РУБЦЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА IN SITU

Д.Е. Шошин, К.Н. Атландерова 58

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

THE PROTECTIVE EFFECTS OF *ELETTARIA CARDAMOMUM* ESSENTIAL OIL EXTRACTED AGAINST DECADRON INDUCED ON PANCREATIC TISSUES IN RATS (*RATTUS NORVIGICUS*)

Z.A.A. Jabbar, K.H. Al-Derawi, S.A.A.M. Al Saadi 97

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

И.С. Питюрина, А.А. Мелешин, Д.В. Виноградов 119

ЖЕЛЕЗИСТЫЕ ТРИХОМЫ, ИХ РАЗНООБРАЗИЕ, КОЛИЧЕСТВО И АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНОГО МАСЛА У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *LAMIACEAE*

**А. Алшиха, Н.Б. Прохоренко, Г.В. Демина, В.В. Сальников,
А.В. Немтарев, А.Р. Каюмов, О.А. Тимофеева** 135

**ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

EVALUATING THE HABITAT CONDITIONS
OF *BRUGUIERA HAINESII* C.G. ROGERS 1919 IN CON DAO
NATIONAL PARK, VIETNAM

**Т.Т.Т. Hoang, М.Р. Pham, V.D. Pham, Q.K. Nguyen,
L.H. Trinh, D.D. Vu 166**

НАДЗЕМНАЯ И ПОДЗЕМНАЯ ФИТОМАССА МАРШЕВЫХ
РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА
САХАЛИН (ЗАЛИВ АНИВА)

**И.О. Рожкова-Тимина, М.В. Павлов, А.О. Горбунов,
А.В. Уба, А.И. Левицкий, О.А. Кораблев, В.В. Афанасьев 185**

ЛЕСОВОЗОБНОВЛЕНИЕ НА КРУПНЫХ ГАРЯХ В СРЕДНЕЙ
ТАЙГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**С.Н. Гашев, М.Н. Казанцева, С.П. Арефьев,
А.В. Соромотин, Е.А. Быкова, Н.В. Сорокина 203**

**БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА
И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ**

THE EFFECT OF OXIDATIVE STRESS
ON EPIGENETIC REGULATION OF GENE EXPRESSION
IN INTESTINAL CANCER

W.A. Jawad, N.M. Siraj 229

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ
С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИИ СВЕТОИЗЛУЧЕНИЯ,
КАТАЛИЗИРУЕМОЙ ПЕРОКСИДАЗОЙ ХРЕНА

**Н.О. Ронжин, Е.Д. Посохина, О.А. Могильная,
В.С. Бондарь 242**

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ
АДАПТАЦИЯ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ (*RANGIFER TARANDUS* L.)
В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ МАЛОЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ
И СЕВЕРНОГО ТИМАНА

Т.М. Романенко 255

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ФУНГИЦИДА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ
КОМПЛЕКСА ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ ПШЕНИЦЫ
**Т.С. Астарханова, С. Дияките, А.Д. Амини,
А. Бехзад, А.В. Березнов, Е.Н. Пакина, М. Заргар** 278

- ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТНЫХ ФОРМ
УДОБРЕНИЙ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ
СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ
А.Н. Никольский, Д. В. Бочкарев, В.Д. Бочкарев 299

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

- РАСШИРЕНИЕ СПЕЦИФИЧНОСТИ К РАСТЕНИЮ-ХОЗЯИНУ
ИЗОЛЯТОВ *FUSARIUM* И ОЦЕНКА ИХ ФИТОТОКСИЧНОСТИ
НА РАПСЕ И КАПУСТЕ БЕЛОКОЧАННОЙ
**А.В. Вишнякова, М.А. Никитин, А.А. Александрова,
Л.М. Соколова** 315

- ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ И ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ВЫДЕЛЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ
ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
**И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев, А.С. Чурсин,
А.М. Ковальчук, В.П. Шаманин** 341

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

- СОДЕРЖАНИЕ МАРГАНЦА
В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ (*CAMELLIA SINENSIS* (L.) O. KUNTZE)
СОРТА КОЛХИДА НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ
ВИДОВ УДОБРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ СУБТРОПИКОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
А.В. Великий 366

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

ВЛИЯНИЕ ПОДВОЕВ НА ОСОБЕННОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ УРОЖАЯ И КАЧЕСТВО ПЛОДОВ
СОРТОВ СЛИВЫ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

**О.А. Никольская, А.В. Солонкин, Е.Н. Киктева,
Г.В. Касьянова** 383

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ БИОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ЯБЛОК НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ВАРЕНЬЯ

**Е.С. Салина, М.Ю. Акимов, Н.С. Левгерова,
И.А. Сидорова** 400

**ЗДРАВООХРАНЕНИЕ
И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**

ОЦЕНКА УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗДОРОВЬЯ
ЛЕТЧИКОВ ВЫСОКОМАНЕВРЕННОЙ АВИАЦИИ

Е.В. Невзорова, Д.О. Сенина, С.Э. Белоконь 423

ОЦЕНКА ОСВЕДОМЛЕННОСТИ ШКОЛЬНИКОВ
ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ МЕДИЦИНСКИХ КЛАССОВ
О ЦЕЛИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ В ОБЛАСТИ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ И СОДЕЙСТВИЯ
БЛАГОПОЛУЧИЮ

И.Ю. Арестова, Е.Г. Шаронова, М.Ю. Куприянова 445

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗА МИРА КАК ИНДИКАТОР
СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ
КУРСАНТОВ ВОЕННОГО ВУЗА

**М.С. Яницкий, А.А. Утюганов, М.С. Иванов,
Л.В. Фролова** 473

ДОВЕРИЕ ПАЦИЕНТА ВРАЧУ
КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ:
ХАРАКТЕРИСТИКИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

**П.А. Кисляков, Е.А. Шмелева, Т.В. Карасева,
Д.А. Прияткин** 497

ОПЫТ РЕГИОНОВ

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ
НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ БРОНХОПНЕВМОНИИ ПОРОСЯТ
В НЕКОТОРЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ

**Э.А. Никогосян, А.В. Варданян, Л.Г. Григорян, В.В. Григорян,
С.В. Ерибекян, В.В. Абраамян, Ж.С. Мелконян 521**

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА В РАЗВИТИИ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ
ОТРАСЛИ РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

**М.В. Намханова, Н.В. Алесина, Е.Л. Гринько,
А.В. Кузьмин, Н.А. Шалковская 540**

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПЛАНЫ ПО УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В ЯПОНИИ

О.Н. Емельянова, Д.А. Щербаков 562

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

АНАЛИЗ МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА СОИ: ОБЗОР
СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

**И.А. Аксенов, Г.А. Трунин, М.С. Фабриков, М.С. Лисятников,
Е.С. Прусов, С.И. Рощина 581**

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ
СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

**Д.С. Куспаналиева, С.В. Булатецкий, Е.А. Ермакова,
М.В. Маслова 609**

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОЭСТРОГЕНОВ В МЕНОПАУЗАЛЬНОМ
ПЕРИОДЕ

В.В. Мустаева, А.Н. Сулима, Д.А. Беглицз, О.А. Митрофанова 625

СОВРЕМЕННЫЕ СТРАТЕГИИ В ЛЕЧЕНИИ ЭНДОМЕТРИОЗА

**А.А. Алексеенко, А.Н. Сулима, З.С. Румянцева, П.Н. Баскаков,
М.А. Дига, Д.А. Беглицз, Е.С. Румянцева 641**

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 665

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

IDENTIFICATION OF DE-EPITHELIZED STRUCTURES OF PIG PLACENTA

**A.V. Agarkov, N.V. Agarkov, R.A. Tsyganskiy, N.V. Belugin,
N.A. Pisarenko** 11

DETERMINATION OF ILEAL DIGESTIBILITY OF HERMETIA ILLUCENS LARVAE MEAL, FISH MEAL AND STANDARD LOW-PROTEIN RATION

**K.S. Ostrenko, R.V. Nekrasov, N.V. Bogolyubova,
I.V. Kutyin, A.I. Butenko, K.S. Koltsov, Y.A. Volchenkov** 28

ON THE EFFECT OF SMALL MOLECULES OF PLANT ORIGIN ON DIGESTIVE PROCESSES IN THE RUMEN OF CATTLE IN SITU

D.E. Shoshin, K.N. Atlanderova 58

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

THE PROTECTIVE EFFECTS OF *ELETTARIA CARDAMOMUM* ESSENTIAL OIL EXTRACTED AGAINST DECADRON INDUCED ON PANCREATIC TISSUES IN RATS (*RATTUS NORVIGICUS*)

Z.A.A. Jabbar, K.H. Al-Derawi, S.A.A.M. Al Saadi 97

THE INFLUENCE OF PLANT GROWTH REGULATORS ON THE YIELD AND QUALITY CHARACTERISTICS OF POTATO TUBERS IN NON-CHERNOZEM ZONE CONDITIONS

I.S. Pityurina, A.A. Meleshin, D.V. Vinogradov 119

GLANDULAR TRICHOMES, THEIR DIVERSITY, QUANTITY AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF ESSENTIAL OIL IN SOME REPRESENTATIVES OF THE *LAMIACEAE* FAMILY

**A. Alshikha, N.B. Prokhorenko, G.V. Demina, V.V. Salnikov, A.V.
Nemtarev, A.R. Kayumov, O.A. Timofeeva** 135

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

EVALUATING THE HABITAT CONDITIONS
OF *BRUGUIERA HAINESII* C.G. ROGERS 1919 IN CON DAO
NATIONAL PARK, VIETNAM

**T.T.T. Hoang, M.P. Pham, V.D. Pham, Q.K. Nguyen,
L.H. Trinh, D.D. Vu** 166

ABOVEGROUND AND UNDERGROUND PHYTOMASS
OF COASTAL PLANT COMMUNITIES IN THE SOUTHERN
PART OF SAKHALIN ISLAND (ANIVA BAY)

**I.O. Rozhkova-Timina, M.V. Pavlov, A.O. Gorbunov, A.V. Uba,
A.I. Levitsky, O.A. Korablev, V.V. Afanas'ev** 185

REFORESTATION AT LARGE BURNT AREAS IN MIDDLE
TAIGA OF THE WESTERN SIBERIA

**S.N. Gashev, M.N. Kazantseva, S.P. Aref'ev,
A.V. Soromotin, E.A. Bykova, N.V. Sorokina** 203

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

THE EFFECT OF OXIDATIVE
STRESS ON EPIGENETIC REGULATION OF GENE
EXPRESSION IN INTESTINAL CANCER

W.A. Jawad, N.M. Siraj 229

DETERMINATION OF CAFFEIC ACID
USING A LIGHT EMISSION REACTION CATALYZED
BY HORSERADISH PEROXIDASE

**N.O. Ronzhin, E.D. Posokhina, O.A. Mogilnaya,
V.S. Bondar** 242

GENETIC DIFFERENTIATION AND PHENOTYPIC ADAPTATION
OF REINDEER (*RANGIFER TARANDUS* L.) IN THE ECOLOGICAL
CONDITIONS OF THE MALOZEMELSKAYA TUNDRA
AND NORTHERN TIMAN

T.M. Romanenko 255

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

BIOLOGICAL EFFICACY
OF A NEW GENERATION FUNGICIDE
ON THE DEVELOPMENT OF THE LEAF AND STEM
INFECTION COMPLEX IN WHEAT

**T.S. Astarkhanova, S. Diakite, A.J. Amini, A. Behzad,
A.V. Bereznov, E.N. Pakina, M. Zargar** 278

THE INFLUENCE OF CHELATED FORMS
OF COPPER AND IRON FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY
OF POTATO VARIETIES

A.N. Nikolskii, D. V. Bochkarev, V.D. Bochkarev 299

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

EXTENDING THE HOST RANGE OF *FUSARIUM*
ISOLATES AND EVALUATION OF THEIR PHYTOTOXICITY
ON RAPE AND WHITE CABBAGE

**A.V. Vishnyakova, M.A. Nikitin, A.A. Aleksandrova,
L.M. Sokolova** 315

PHENOTYPIC AND GENOTYPIC EVALUATION OF WINTER
WHEAT SAMPLES AND IDENTIFIED SOURCES OF
ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS FOR BREEDING UNDER
CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

**I.V. Pototskaya, S.S. Shepelev, A.S. Chursin,
A.M. Kovalchuk, V.P. Shamanin** 341

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

MANGANESE CONTENT IN TEA LEAVES (*CAMELLIA*
SINENSIS (L.) O. KUNTZE) OF THE COLCHIS VARIETY
AGAINST THE BACKGROUND OF THE USE OF VARIOUS
TYPES OF FERTILIZERS IN THE SUBTROPICAL CONDITIONS
OF THE RUSSIAN FEDERATION

A.V. Velikii 366

HORTICULTURE AND FORESTRY

THE INFLUENCE OF ROOTSTOCKS ON THE PECULIARITIES
OF CROP FORMATION AND THE QUALITY OF PLUM VARIETIES
IN THE LOWER VOLGA REGION

**O.A. Nikolskaya, A.V. Solonkin, E.N. Kikteva,
G.V. Kasyanova** 383

THE INFLUENCE OF SOME BIOCHEMICAL
PARAMETERS OF APPLES ON THE ORGANOLEPTIC
PROPERTIES OF APPLE JAM

**E.S. Salina, M.Yu. Akimov, N.S. Levgerova,
I.A. Sidorova** 400

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PROFESSIONAL HEALTH
OF HIGH-MANEUVERABILITY AVIATION PILOTS

E.V. Nevzorova, D.O. Senina, S.E. Belokon 423

EVALUATION OF THE AWARENESS
OF PRE-PROFESSIONAL MEDICAL CLASSES STUDENTS
ABOUT THE UNITED NATIONS OBJECTIVE OF ENSURING
A HEALTHY LIFESTYLE AND PROMOTING WELL-BEING

I.Yu. Arestova, E.G. Sharonova, M.Yu. Kupriyanova 445

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS
OF THE IMAGE OF THE WORLD AS AN INDICATOR
OF THE SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL HEALTH
OF CADETS OF A MILITARY UNIVERSITY

**M.S. Yanitsky, A.A. Utyuganov, M.S. Ivanov,
L.V. Frolova** 473

PATIENT'S TRUST IN THE DOCTOR
AS A CONDITION FOR THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT:
CHARACTERISTICS AND RESEARCH METHODS

**P.A. Kislyakov, E.A. Shmeleva, T.V. Karaseva,
D.A. Prijatkin** 497

EXPERIENCE OF REGIONS

INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON THE SPREAD
OF NON-SPECIFIC BRONCHOPNEUMONIA OF PIGLETS IN SOME
REGIONS OF THE REPUBLIC OF ARMENIA

**E.A. Nikogosyan, A.V. Vardanyan, L.G. Grigoryan, V.V. Grigoryan,
S.V. Yeribekyan, V.V. Abrahamyan, Zh.S. Melkonyan** 521

ASSESSING THE FEASIBILITY OF USING THE CLUSTER
APPROACH IN THE DEVELOPMENT OF THE WINE INDUSTRY
IN THE REGION ON THE EXAMPLE OF THE CITY
OF SEVASTOPOL

**M.V. Namkhanova, N.V. Alesina, E.L. Grinko,
A.V. Kuzmin, N.A. Shalkovskaya** 540

LONG-TERM PLANS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL
DEVELOPMENT IN JAPAN

O.N. Emelyanova, D.A. Shcherbakov 562

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

ANALYSIS OF GLOBAL SOYBEAN PRODUCTION: A REVIEW
OF THE CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS

**I.A. Aksenov, G.A. Trunin, M.S. Fabrikov, M.S. Lisyatnikov,
E.S. Prusov, S.I. Roshchina** 581

METHODS OF EXPERIMENTAL REPRODUCTION OF HEART
FAILURE

**D.S. Kuspanalieva, S.V. Bulatetskiy, E.A. Ermakova,
M.V. Maslova** 609

THE USE OF PHYTOESTROGENS IN THE MENOPAUSAL PERIOD

V.V. Mustaeva, A.N. Sulima, D.A. Beglitse, O.A. Mitrofanova 625

MODERN STRATEGIES IN THE TREATMENT OF ENDOMETRIOSIS

**A.A. Alekseenko, A.N. Sulima, Z.S. Rumyantseva, P.N. Baskakov,
M.A. Dija, D.A. Beglitse, E.S. Rumyantseva** 641

RULES FOR AUTHORS 665

Подписано в печать 30.11.2025. Дата выхода в свет 30.11.2025. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 48,45. Тираж 50 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA175/025. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская» (ИП Давгуненко А.А. ИНН 344210747590). Адрес типографии: ул. Проезд Добролюбова 3 стр. 2, г. Москва, 127254, Россия.