

ISSN 2658-6649 (Print)

Siberian journal of Life Sciences and Agriculture

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 16, Number 5
2024

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 16, Number 5
2024**

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)

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 16, № 5, 2024 / Vol. 16, No 5, 2024

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
Свидетельство регистрации
ПИ № ФС 77 - 71726 от 30.11.2017 г.

Журнал входит в 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
Ulrich's Periodicals Directory
Cyberleninka
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
<http://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:

Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008

Mass media registration certificate
PI № FS 77 - 71726,
issued November 30, 2017.

Journal is included in the 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
RSCI
Ulrich's Periodicals Directory
Cyberleninka
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
<http://discover-journal.ru/>

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2024

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 Ендон 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 Маиса 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, МБА, 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 (Мытищи, 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)

Мойсенок 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 (Obo-lensk, 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 Agro-biotechnologies 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 Aforestation 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 Agro-biotechnologies 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)

Nurbii 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. Popolukhina, 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)

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-980

УДК 574.64:58.084.5



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЕНИСЕЙ НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНОГО РАСТЕНИЯ *ELODEA CANADENSIS*

*А.Я. Болсуновский, Е.А. Трофимова,
Д.В. Дементьев, А.С. Дементьева*

Обоснование. Высокое содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях реки Енисей (ДО) является основным источником радиационного облучения водных растений, что проявляется в возрастании хромосомных aberrаций (ХА) в корнях растений элодеи вблизи сбросов Горно-химического комбината (ГХК) по сравнению с фоновыми районами. Эти данные были получены в период работы ядерного реактора ГХК, но после остановки реактора отмечено снижение содержания радионуклидов в ДО и уровня ХА клеток элодеи.

Проведённые ранее лабораторные токсикологические эксперименты с радиоактивными ДО р. Енисей не выявили достоверного отклика цитогенетических и морфометрических параметров элодеи на повышенный уровень техногенных радионуклидов в ДО. Эти факты требуют проведения дополнительных исследований.

Цель исследований – оценка морфометрических параметров и цитогенетических нарушений в корнях водного растения *Elodea canadensis*, выросших на донных отложениях с разным уровнем загрязнения техногенными радионуклидами: полевые исследования и лабораторные эксперименты.

Материалы и методы. Пробы водных растений и ДО отбирали в р. Енисей как вблизи радиоактивных сбросов ГХК, так и выше сбросов ГХК в фоновых районах. Удельную активность радионуклидов ДО измеряли на гамма-спектрометре фирмы Canberra (США). Подготовку проб и учёт клеток с хромосомными aberrациями проводили по стандартной методике. Для лабораторных экспериментов в качестве тест-объекта использовали элодею (*E. canadensis*), которая была отобрана в фоновом районе р. Енисей. В экспериментах регистрировали морфометрические и цитогенетические параметры элодеи.

Результаты. В период 2014-2021 год после остановки ядерного реактора ГХК зарегистрировано снижение суммарного уровня хромосомных aberrаций (ХА) элодеи, отобранной вблизи ГХК по сравнению с периодом работы реактора. В 2021 году повышенный суммарный уровень ХА элодеи, включая aberrации типа «Фрагменты», вблизи сбросов ГХК достоверно отличался от уровня ХА в фоновом районе. Достоверные отличия суммарного уровня ХА элодеи из районов вблизи сбросов ГХК и фоновых районов были отмечены в интервале активности радионуклидов 520-1470 Бк/кг в ДО.

В лабораторных экспериментах фактор повышенной радиоактивности в ДО приводил к уменьшению длины корней элодеи по сравнению с контролем, но не влиял на рост побегов. В эксперименте при длительности облучения элодеи 11 суток наблюдалось достоверное увеличение уровня клеток с ХА и доли блуждающих хромосом относительно контроля.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют, что повышенное содержание техногенных радионуклидов в ДО р. Енисей может влиять на ростовые и цитогенетические параметры элодеи.

Ключевые слова: донные отложения; техногенные радионуклиды; *Elodea canadensis*; хромосомные aberrации; токсикологические эксперименты; морфометрические параметры

Для цитирования. Болсуновский А.Я., Трофимова Е.А., Деметьев Д.В., Деметьева А.С. Влияние повышенного содержания техногенных радионуклидов в донных отложениях реки Енисей на цитогенетические и ростовые показатели водного растения *Elodea canadensis* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 11-37. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-980

Original article

THE EFFECT OF INCREASED CONCENTRATIONS OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER ON CYTOGENETIC AND GROWTH ENDPOINTS OF THE AQUATIC PLANT *ELODEA CANADENSIS*

*A.Y. Bolsunovsky, E.A. Trofimova,
D.V. Dementyev, A.S. Dementyeva*

Background. The high content of artificial radionuclides in bottom sediments (BS) of the Yenisei River is the main source of radiation exposure of aquatic plants and, hence, increased levels of chromosomal aberrations (CAs) in roots of elodea plants close to the discharge site of the Mining-and-Chemical Combine (MCC) compared to the reference regions. These data were obtained when the MCC nuclear reactor was working, but after the reactor shutdown, radionuclide contents of the BS decreased and so did the levels of CAs in elodea cells. The previous laboratory toxicological experiments with the radioactive BS from the Yenisei River did not show any significant response of cytogenetic and morphometric parameters of elodea plants to the increased level of artificial radionuclides in the BS. These facts require further study.

Purpose. The purpose of this work was to assess morphometric parameters and cytogenetic abnormalities in the roots of the aquatic plant *Elodea canadensis* growing on bottom sediments with different levels of contamination by artificial radionuclides: in field studies and laboratory experiments.

Material and methods. Samples of plants and BS were collected from the Yenisei River, both close to the MCC discharge site and upstream, in the reference regions. Activity concentrations of BS radionuclides were measured using a Canberra gamma-spectrometer (U.S.). Sample preparation and detection of cells with chromosomal aberrations were carried out following conventional procedures. Laboratory experiments were performed with elodea (*E. canadensis*) plants collected in the reference region of the Yenisei River. The morphometric and cytogenetic elodea endpoints were recorded in experiments.

Results. From 2014 to 2021, after the shutdown of the nuclear reactor of the MCC, the total level of chromosomal aberrations (CAs) of elodea collected near the

MCC was found to decrease compared to the time before the shutdown of the reactor. In 2021, the increased total level of CAs, including "Fragments", in elodea near the MCC discharge site was significantly different from the level of CAs in the reference area. Significant differences in the total level of CAs between the elodea plants from areas near the MCC discharge site and from reference regions were found within the range of radionuclide activity concentrations in BS of 520-1470 Bq/kg.

In laboratory experiments, the factor of increased radioactivity in BS led to a decrease in the growth of elodea roots compared to the control but did not affect the shoot length growth. In the experiment with elodea irradiated for 11 days, a significant increase was observed in the number of cells with CAs and the proportion of vagrant chromosomes relative to the control.

Conclusion. The results obtained indicate that the increased concentrations of artificial radionuclides in the BS of the Yenisei River can affect the growth and cytogenetic parameters of elodea.

Keywords: bottom sediment; artificial radionuclides; *Elodea canadensis*; chromosomal aberrations; toxicological experiments; morphometric parameters

For citation. Bolsunovsky A.Y., Trofimova E.A., Dementyev D.V., Dementyeva A.S. The Effect of Increased Concentrations of Artificial Radionuclides in Bottom Sediments of the Yenisei River on Cytogenetic and Growth Endpoints of the Aquatic Plant *Elodea canadensis*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 11-37. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-980

Введение

Река Енисей, одна из крупнейших рек мира, в среднем течении загрязнена техногенными радионуклидами, включая трансурановые элементы [1; 11; 17; 24; 28]. Начиная с 1958 года основным источником радиационного загрязнения р. Енисей являлись нормативные и аварийные сбросы вод реакторного и радиохимического заводов Горно-химического комбината (ГХК) госкорпорации «Росатом» (г. Железногорск). После останковки в 2010 году последнего реактора ГХК (АДЭ-2), радиационный фон поймы реки сохраняется на повышенном уровне по причине вовлечения накопившихся техногенных радионуклидов в геологические процессы (накопление осадков, их перемыв и переотложение), а также за счёт фильтрации и дренирования почв в местах расположения береговых бассейнов с радиоактивными отходами [9; 10].

Многочисленные работы по оценке радиационного загрязнения экосистемы реки Енисей выявили накопление искусственных радиоактивных изотопов в биомассе гидробионтов [2; 4; 12-13; 16; 30]. В период рабо-

ты последнего реактора ГХК была показана высокая аккумулирующая способность погруженных макрофитов, в которых регистрировали до 30 техногенных радионуклидов, характерных для сбросов ГХК [2; 16; 30]. Растения, отобранные в зоне сбросов ГХК до 2010 года, характеризовались высоким уровнем цитогенетических нарушений в корневой меристеме, относительно образцов, произраставших выше по течению [3; 7-8; 16]. Цитогенетические нарушения растительных клеток широко используются как индикаторы цито- и генотоксичности при оценке качества окружающей среды, как при натурных исследованиях, так и в лабораторных экспериментах [5; 22]. Увеличение частоты хромосомных aberrаций отражает отклик организма на воздействие экологических факторов различной природы, в том числе радиоактивного загрязнения [15; 20-21; 23; 27].

Выявленный ранее высокий уровень цитогенетических нарушений в корнях элодеи (*Elodea canadensis*) объяснялся увеличением дозы облучения растений, как за счёт внутреннего облучения (накопленные радионуклиды в биомассе), так и внешнего облучения (радионуклиды в донных отложениях) [3, 7, 16]. В связи с остановкой реактора АДЭ-2 и сокращением масштаба радиохимического производства на ГХК, уровень радиационного воздействия на пойму реки уменьшился, о чём свидетельствует снижение накопления радионуклидов в пробах воды, донных отложений (ДО) и биомассе растений р. Енисей [6, 16, 30]. Как следствие этого произошло уменьшение уровня цитогенетических нарушений в корнях элодеи, отобранной вблизи сбросов ГХК в первые годы после остановки реактора (2011-2012 гг) [7]. Наличие долгоживущих техногенных радионуклидов в ДО по течению реки от ГХК, достигающих категории низкоактивных радиоактивных отходов [17] позволяет считать их основным источником радиационного влияния на морфометрические и цитогенетические параметры укоренённых макрофитов. Проведённые ранее краткосрочные лабораторные экотоксикологические эксперименты с радиоактивными ДО реки Енисей не выявили достоверного отклика цитогенетических и морфометрических параметров элодеи на повышенный уровень содержания техногенных радионуклидов [29]. Вероятно, это связано с низкой активностью техногенных радионуклидов в используемых в экспериментах ДО.

Цель данной работы – оценка морфометрических параметров и цитогенетических нарушений в корнях водного растения *Elodea canadensis* Michx, выросших на донных отложениях с разным уровнем загрязнения техногенными радионуклидами: полевые исследования и лабораторные эксперименты.

Материалы и методики исследования

Пробы растений и ДО отбирали в р. Енисей на участке протяжённостью до 100 км вниз по течению реки от г. Красноярск до с. Б. Балчуг в период времени с 2014 по 2021 гг. (Рис.1). Данный участок включает ближнюю зону наблюдения ГХК, в рамках которой были выбраны следующие районы отбора проб: сёла Атаманово и Большой Балчуг в зоне влияния радиоактивных сбросов ГХК; г. Красноярск и с. Есаулово – фоновые районы, расположенные выше по течению от ГХК, характеризующиеся отсутствием загрязнений радиационной природы (Рис.1, Табл.1).

Пробы ДО отбирали из корнеобитаемого слоя глубиной до 20 см и высушивали до постоянной массы при 105°C. Удельную активность радионуклидов ДО измеряли на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). Спектры анализировали с помощью программного обеспечения Genie-2000 (Canberra, США). Результаты приведены в Бк/кг сухой массы. Для лабораторных экспериментов по биотестированию использовали ДО, отобранные в слое 9-12 см с аномальным содержанием ^{137}Cs (14500 Бк/кг, соответствующего категории низкоактивных радиоактивных отходов) на участке вблизи села Б. Балчуг.



Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб донных отложений и биомассы *Elodea canadensis*.

Таблица 1.

Районы отбора проб растений и донных отложений р. Енисей

Населённый пункт	Расстояние от г.Красноярска, км*	Координаты точек отбора	Период отбора
г. Красноярск, (фоновый)	–16	55°58'18»N 92°38'19»E	2014-2016
г. Красноярск, (фоновый)	8	56°02'33»N 92°58'55»E	2016-2021
с. Есаулово, (фоновый)	45	56°08'43»N 93°16'51»E	2014-2018
с. Атаманово	88	56°23'47»N 93°39'03»E	2014-2021
с. Б. Балчуг	98	56°27'59»N 93°41'55»E	2014-2021

Примечание. * – расстояние приведено по лоции судоходных путей

Для оценки радиотоксичности использовали цитогенетические параметры корневой меристемы элодеи канадской *Elodea canadensis* Michx., отобранной в разных районах р. Енисей. Корни фиксировали в фиксаторе Кларка (3:1) в течение 24 часов, затем помещали в 1% ацетоорсеин на 24 часа. Окрашенные корни дважды промывали в 45% растворе уксусной кислоты от избытка красителя, мацерировали в том же растворе при температуре 60°C. Оптимальную длительность мацерации подбирали опытным путём в каждом конкретном случае. Меристему подготовленных корней отделяли скальпелем в капле 45% уксусной кислоты и готовили давленный микропрепарат [19].

Учёт клеток с хромосомными aberrациями проводили при помощи светового микроскопа (Olympus CX31). Было проанализировано от 71 до 139 препаратов для каждого района отбора. Для учёта aberrантных клеток использовали корни с общим числом ана-телофазных клеток не менее 20, суммарно было просмотрено до 11300 клеток для каждого района отбора. Отмечались следующие типы аномалий: фрагменты и мосты (одинарные, двойные и множественные), блуждающие хромосомы, множественные нарушения (наличие в клетке нескольких нарушений разных типов) [25]. К категории «прочее» относили трудноклассифицируемые и редко встречающиеся нарушения (микроядра, многополюсный митоз, асимметричное расхождение хромосом, агглютинация). Частоту клеток с цитогенетическими аномалиями оценивали как отношение числа aberrантных клеток к общему числу просмотренных ана-телофазных клеток. Долю клеток с определённым типом аномалий рассчитывали как отношение числа клеток с данным типом aberrаций к общему числу аномальных клеток.

По причине отсутствия проб элодеи из отдельных районов была произведена группировка и усреднение цитогенетических данных по временным интервалам: 2014-2015, 2016-2018 и 2021. Данные по содержанию техногенных радионуклидов в поверхностном слое ДО приведены как интервалы min-max значений за указанные периоды.

Лабораторные эксперименты по оценке токсичности радиоактивной пробы донных отложений (ДО) р. Енисей проводили с использованием биотеста (*E. canadensis*) в конце мая 2022 года. Элодея, используемая в эксперименте, была ранее отобрана в береговой зоне фонового района р. Енисей, адаптирована и на протяжении нескольких лет культивировалась в лабораторных условиях. Удельная активность техногенного радионуклида ^{137}Cs для аномальной пробы донных отложений (ДО-1) составляла 14500 Бк/кг сух. вес. В качестве контроля служили искусственные ДО (ДО-К), приготовленные согласно OECD Test Guideline 219 (8) [26] со следующим составом: 5% торф, 20% каолин, 75% песок, влажностью 30%, pH 7, без добавления питательной среды. Апикальные побеги элодеи длиной 5 см высаживали в контейнеры, заполненные ДО, по 13 штук на контейнер. Затем, контейнеры с высаженной в них элодеей помещали внутрь прозрачных пластиковых сосудов, заполненный профильтрованной через мембранный фильтр (Shleicher & Schuell, 0,45 μm) водопроводной водой. Тестовые сосуды выдерживали в течение 7 и 11 суток в климатической комнате с искусственным верхним освещением люминесцентными лампами ($3,0 \pm 0,1$ клк), с фотопериодом 16/8 ч, температура воды в сосудах составляла в среднем $20,6 \pm 0,2$ °C.

В лабораторных экспериментах оценивали цитогенетические параметры корневой меристемы элодеи. Пробоподготовку и учёт клеток корневой меристемы с хромосомными aberrациями на стадии ана-телофазы производили по описанной выше методике для природных проб элодеи. Помимо цитогенетического анализа в эксперименте проводили измерения морфометрических параметров. В качестве итоговых параметров оценивали: суммарную длину побегов элодеи (сумма основного побега и боковых); суммарную длину корней (сумма длин всех корней на одном растении); отношение суммарной длины корня к суммарной длине побега; сухую массу побегов.

Накопление, корректировка, систематизация, статистический анализ экспериментальных данных и визуализация полученных результатов осуществлялись с помощью программ Microsoft Office Excel 2013 и PAST 4.11. С учётом размера выборок для оценки нормальности распределения

использовали критерий Шапиро-Уилка. Поскольку распределение данных цитогенетического анализа отличалось от нормального, наличие различий между сравниваемыми группами в пределах одного временного интервала определяли с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. В случае обнаружения статистически значимых различий между выборками, проводилось попарное сравнение совокупностей при помощи U-критерия Манна-Уитни с поправкой Холма. Заданный уровень значимости составлял 0,05. В таблицах представлены средние значения со стандартной ошибкой $M \pm SE$, в скобках указан вклад каждого вида аберраций в общую долю аномалий.

Результаты исследования и обсуждение

Оценка цитогенетических нарушений в корнях водного растения *E. canadensis*, отобранной в разных районах р. Енисей. Ранее отмечали [7; 16], что спустя 2 года после остановки реактора ГХК в 2010 году произошло снижение доли клеток с хромосомными аберрациями (ХА) в корнях элодеи в районе сбросов ГХК с 25-30% до 8-14% (Табл.2). Это объяснялось, в основном, резким снижением содержания активационных техногенных радионуклидов в биомассе растений. При дальнейшем мониторинге цитогенетических параметров элодеи было отмечено снижение суммарного уровня ХА вблизи сбросов ГХК (район Б. Балчуг) в 2014-2015 и 2016-2018 годах до $6,3 \pm 0,7$ и $5,7 \pm 0,8\%$, соответственно (табл.2). Эти средние значения суммарного уровня ХА элодеи вблизи сбросов ГХК (5,7-6,3%) были несколько выше средних значений уровня ХА фоновых районов в этот период времени (3,5-5%), но статистический анализ не выявил достоверной разницы. Однако, учитывая довольно высокий уровень значимости по U-критерию для пары Б. Балчуг-Есаулово в 2014-2015 гг ($p = 0,04$) и для пары Б. Балчуг-Удачный в 2016-2018 гг ($p = 0,02$), можно говорить о тенденции роста уровня ХА в зоне влияния ГХК относительно данных контрольных районов в эти временные интервалы.

Мониторинг цитогенетических параметров элодеи в 2021 году (табл.2) показал стабилизацию значений ХА элодеи вблизи сбросов ГХК (район Б. Балчуг) за последние годы на уровне $6,1 \pm 1,2\%$ и это значение достоверно отличалось от уровня ХА в фоновом районе ($2,4 \pm 0,5\%$). Анализ спектра ХА показал доминирование доли клеток с аберрациями типа «Мосты» до 60-70%, от общего числа аберраций, как для районов вблизи сбросов ГХК, так и для фоновых районов (табл.2).

Таблица 2.

**Частота встречаемости клеток с нарушениями разного типа в корнях
E.canadensis р. Енисей после остановки последнего реактора ГХК**

Район пробоотбора элоден	2012*	2014-2015	2016-2018	2021
Общее количество аномальных клеток, %				
(А) Красноярск	5,5 ± 0,6	5,0 ± 0,6	4,4 ± 1,4	2,4 ± 0,5
(В) Есаулово	6,8 ± 0,7	4,4 ± 0,5	3,5 ± 1,0	–
(С) Атаманово	13,6 ± 1,3^{А, В}***	4,2 ± 0,4	2,5 ± 0,5	3,8 ± 0,8
(D) Б. Балчуг	8,1 ± 0,8	6,3 ± 0,7	5,7 ± 0,8	6,1 ± 1,2^А
Мосты, %				
(А) Красноярск	2,2 ± 0,4 (40)	3,2 ± 0,5 (64)	2,5 ± 1,2 (58)	1,2 ± 0,4 (51)
(В) Есаулово	4,9 ± 0,7 (71)	3,6 ± 0,5 (80)	2,6 ± 0,8 (74)	–
(С) Атаманово	6,4 ± 0,7 (47)^А	2,7 ± 0,2 (62)	0,7 ± 0,4 (28)	1,7 ± 0,4 (45)
(D) Б. Балчуг	5,2 ± 0,6 (64)^А	3,8 ± 0,5 (61)	3,4 ± 0,5 (59)	1,4 ± 0,5 (23)
Блуждающие хромосомы, %				
(А) Красноярск	1,9 ± 0,5 (34)	0,8 ± 0,2 (15)	0,7 ± 0,2 (16)	0,9 ± 0,3 (36)
(В) Есаулово	1,4 ± 0,4 (20)	0,4 ± 0,2 (10)	0,4 ± 0,3 (12)	–
(С) Атаманово	4,4 ± 0,8 (32)_{А, В}	0,3 ± 0,1 (7)	0,7 ± 0,3 (27)	0,6 ± 0,2 (17)
(D) Б. Балчуг	1,1 ± 0,3 (14)	0,6 ± 0,2 (10)	0,8 ± 0,2 (13)	1,4 ± 0,6 (22)
Фрагменты, %				
(А) Красноярск	0 (0)	0,7 ± 0,1 (15)	0,4 ± 0,2 (9)	0,1 ± 0,1 (6)
(В) Есаулово	0,08 ± 0,08 (1)	0,3 ± 0,1 (6)	0,4 ± 0,2 (12)	–
(С) Атаманово	0,06 ± 0,06 (1)	0,8 ± 0,2 (20)^В	0,7 ± 0,3 (29)	1,3 ± 0,6 (33)^А
(D) Б. Балчуг	0 (0)	1,3 ± 0,3 (20)^В	1,0 ± 0,2 (17)^А	3,1 ± 0,8 (50)^А
Множественные, %				
(А) Красноярск	0 (0)	0,2 ± 0,1 (4)	0,1 ± 0,1 (2)	0 (0)
(В) Есаулово	0,1 ± 0,1 (2)	0,1 ± 0,0 (1)	0,1 ± 0,1 (2)	–
(С) Атаманово	0,7 ± 0,2 (5)^А	0,2 ± 0,1 (6)	0,1 ± 0,1 (4)	0,2 ± 0,1 (5)
(D) Б. Балчуг	0,2 ± 0,1 (3)	0,3 ± 0,1 (5)	0,4 ± 0,1 (7)	0,3 ± 0,2 (5)
Прочее, %				
(А) Красноярск	1,4 ± 0,3 (26)	0,1 ± 0,1 (2)	0,6 ± 0,4 (15)	0,2 ± 0,2 (7)
(В) Есаулово	0,4 ± 0,1 (6)	0,1 ± 0,1 (3)	0 (0)	–
(С) Атаманово	2,1 ± 0,4 (15)^В	0,2 ± 0,1 (5)	0,3 ± 0,2 (12)	0 (0)
(D) Б. Балчуг	1,5 ± 0,4 (19)	0,2 ± 0,1 (4)	0,2 ± 0,1 (4)	0 (0)

Примечание. * Данные работы [7] по цитогенетике элодеи, отобранной в р. Енисей в 2011-2012 гг.

** Буквенными индексами (А, В) и жирным шрифтом отмечены средние значения частоты аберраций у образцов элодеи, отобранных в пределах одного временного интервала в зоне влияния ГХК, достоверно превышающие значения из фоновых районов ($p < 0,05$).

По данным работы [7] в 2012 году абберрации типа «Мосты» для районов вблизи ГХК были достоверно выше данного типа абберраций для фоновых районов (Табл.2). В другие годы цитогенетического мониторинга уровень абберраций типа «Мосты» не отличался для районов с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения ДО и фоновых районов. На втором месте по вкладу разных типов абберраций в общее число ХА для районов с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения в период с 2014 по 2021 год были абберрации типа «Фрагменты», которые составляли от 20 до 50% общего уровня ХА. Как следует из данных табл. 2, в период 2014-2021 год, повышенный уровень абберрации типа «Фрагменты» регистрировался для районов вблизи сбросов ГХК (Атаманово, Б. Балчуг) и достоверно отличался от значений для фоновых районов. На третьем месте по вкладу разных типов абберраций следует отметить блуждающие хромосомы, которые для разных районов варьировали от 10 до 30% общего уровня ХА (табл.2). По данным работы [7] в 2012 году уровень блуждающих хромосом района вблизи ГХК был достоверно выше данного типа абберраций для фоновых районов (Табл.2). Однако в другие годы нами не была выявлена достоверная разница в значениях уровня блуждающих хромосом элодеи из радиоактивных и фоновых районов реки Енисей. Возможно это связано с тем, что при микроскопировании клеток элодеи довольно сложно разделить хромосомные абберрации типа «Фрагменты» и блуждающие хромосомы. Другие типы ХА такие как «Множественные» и «Прочее» в среднем по каждой категории не превышали 15% от общего уровня ХА и более высокие достоверные значения этих типов ХА отмечены для районов вблизи сбросов ГХК только в 2012 году (табл. 2). В другие годы мониторинга абберрации типа «Множественные» и «Прочее» достоверно не отличались для всех исследованных районов р. Енисей.

Как уже отмечали, в период наших исследований (2014-2021 гг.) повышенный уровень абберрации типа «Фрагменты» для районов вблизи сбросов ГХК (Атаманово, Б. Балчуг) достоверно отличался от значений для фоновых районов. Но в этот же период (2014-2018 гг.) суммарный уровень ХА элодеи из районов вблизи сбросов ГХК достоверно не отличался от уровня ХА для фоновых районов (табл. 2). Возможно данный тип абберраций «Фрагменты» может считаться одним из параметров цитогенетического отклика элодеи на радиоактивное загрязнение ДО.

В пробах ДО фоновых районов (Красноярск, Есаулово), расположенных выше по течению реки относительно района радиоактивных сбросов ГХК, из техногенных радионуклидов обнаружен только ^{137}Cs с удель-

ной активностью не более 5 Бк/кг (табл. 3). Донные отложения в зоне влияния ГХК (Атаманово, Б. Балчуг) содержали широкий спектр техногенных гамма-излучающих радионуклидов, среди которых основными являлись ^{60}Co , ^{137}Cs , изотопы европия (^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu) и трансурановый радионуклид ^{241}Am . В этой зоне основной вклад в суммарную активность техногенных радионуклидов вносил долгоживущий ^{137}Cs (40-75% от суммарной активности) (табл. 3). Известно, что в период совместной работы реакторного и радиохимического заводов ГХК общая активность техногенных радионуклидов в поверхностных слоях ДО вблизи сбросов комбината составляла 3200 Бк/кг [16], но в аномальных слоях ДО содержание ^{137}Cs достигало 26000 Бк/кг и соответствовало категории низкоактивных радиоактивных отходов [17]. В первые годы после остановки реактора ГХК максимальная суммарная удельная активность техногенных радионуклидов в ДО достигала 1470 Бк/кг для района Атаманово и 520 Бк/кг для района Б. Балчуг (Табл.3). С 2014 по 2018 гг. содержание техногенных радионуклидов в ДО реки вблизи сбросов ГХК понизилось до 300-400 Бк/кг. В 2020-2021 год содержание техногенных радионуклидов в ДО районов вблизи сбросов ГХК увеличилось почти в 2 раза до 610-710 Бк/кг (табл. 3). Увеличение активности техногенных радионуклидов в ДО в 2020-2021 год связано с увеличением масштаба работ с радионуклидами в последние годы на ГХК и, соответственно, с увеличением сброса радионуклидов в р. Енисей [9; 10].

Таблица 3.

Удельная активность техногенных радионуклидов в донных отложениях р. Енисей в местах отбора проб корней *E. canadensis*

Период отбора	Суммарная удельная активность техногенных радионуклидов, Бк/кг сухой массы			
	Красноярск	Есаулово	Атаманово	Б. Балчуг
2011-2012*	1,0 (1,0)**	5,0 (5,0)	300-1470*** (90-750)	210-520 (170-280)
2014-2015	0,1-2,2 (0,1-2,2)	1,4-2,8 (1,4-2,8)	140-440 (110-250)	130-380 (70-140)
2016-2018	0,3 (0,3)	0,4 (0,4)	100-380 (70-140)	80-300 (60-200)
2020-2021	0,3 (0,3)	0,5-1,2 (0,5-1,2)	310-710 (200-300)	210-610 (160-460)

Примечание. * – данные работы [7]; ** – в скобках указана удельная активность ^{137}Cs ; *** – интервал min-max значений суммарной активности техногенных радионуклидов.

Из сравнения данных по уровню ХА в корнях элодеи (табл. 2) и максимального содержания техногенных радионуклидов в ДО (табл. 3) следует, что достоверные отличия суммарного уровня ХА элодеи из районов вблизи сбросов ГХК и фоновых районов были отмечены при максимальных активностях радионуклидов 520-1470 Бк/кг в 2011-2012 году и 610-710 Бк/кг в 2020-2021 году (табл. 3). При содержании радионуклидов менее 500 Бк/кг в ДО (300-400 Бк/кг в период 2014-2018 гг.) достоверных различий суммарного уровня ХА элодеи из районов вблизи сбросов ГХК и фоновых районов не было отмечено. Ранее в статье [16] отмечали повышенные уровни ХА элодеи, отобранной в 2012 и 2015 годах вблизи радиоактивной аномалии с повышенным содержанием ^{137}Cs до 8000 Бк/кг. Результаты настоящей работы (табл. 2 и 3) и ранее опубликованные данные [7; 16] свидетельствуют о влиянии повышенного содержания техногенных радионуклидов в ДО на суммарный уровень ХА элодеи в районах вблизи сбросов ГХК. Отмеченный выше интервал максимальной активности техногенных радионуклидов, вызывающий цитогенетические эффекты в природных условиях, является ориентировочным из-за возможного присутствия химических загрязнителей в ДО и синергического эффекта влияния радиационного и химического факторов на ХА элодеи. В работе Дементьева с соавторами [18] был сделан вывод об отсутствии токсичных концентраций тяжёлых металлов в ДО реки Енисей ниже сбросов ГХК.

Для фоновых районов реки выше ГХК мы регистрируем спонтанный уровень хромосомных аберраций (ХА) в клетках корневой меристемы элодеи, на который возможно оказывают влияние другие нерадиационные факторы, типичные для сбросов миллионного г. Красноярска с развитой промышленностью. Суммарный уровень ХА элодеи в фоновых районах реки варьировал в диапазоне от 2,4 до 5,0% после остановки реактора (табл.2) и не отличался достоверно от значений ХА для элодеи, отобранной в фоновых районах до остановки реактора в 2010 году [16] Подобные исследования по оценке ХА корней водного растения *Phragmites australis* проводили ранее в водоёмах Чернобыльской зоны аварии в 2006-2014 год [23]. Авторы вышеотмеченной работы выявили повышенный уровень ХА до 8% для корней *Phragmites australis*, отобранных в водоёмах с относительно высоким уровнем радиоактивного загрязнения, в то время как для фоновых водоёмов уровень ХА не превышал 2%. Согласно нашим данным (табл. 2), значения суммарного уровня ХА элодеи для всех районов исследований р. Енисей были несколько выше данных по многим Чернобыльским водоёмам, что связано с разными методами учёта типов

ХА. Для растения *Phragmites australis* авторы учитывали только aberrации типа «Мосты», «Фрагменты» и «Множественные нарушения» [23], в то время как для элодеи мы учитывали пять разных типов aberrаций (табл. 2). Исследования растений *Phragmites australis* в разных водоёмах Чернобыльской зоны [23] показали, что с ростом уровня радиоактивного загрязнения водоёма доминируют aberrации типа «Фрагменты» (40-60%) и «Множественные нарушения» (30-40%). Согласно нашим данным, aberrации типа «Фрагменты» в клетках элодеи, отобранной в 2021 году в районе с. Большой Балчуг вблизи ГХК составляли 50% и достоверно отличались от уровня aberrаций данного типа в фоновом районе (табл. 2).

Результаты биотестирования аномальной радиоактивной пробы донных отложений реки Енисей. Проведённые исследования цитогенетических параметров элодеи, вегетирующей на разных участках реки Енисей (табл. 2, 3), позволяют считать содержание техногенных радионуклидов в ДО основным фактором, провоцирующим повышение уровня хромосомных нарушений. В связи с тем, что радиоактивные изотопы имеют неравномерный характер распределения по площади и глубине залегания в пойме р. Енисей, а также затруднительно установить длительность облучения корней растений в природе, нами были проведены лабораторные эксперименты с пробой ДО известной активности, соответствующей категории низкоактивных радиоактивных отходов по ^{137}Cs (14500 Бк/кг) для дополнительного доказательства влияния радиоактивности ДО на жизнедеятельность элодеи.

Анализ морфометрических параметров *E. canadensis* в биотесте разной длительности (7 и 11 суток) с радиоактивной пробой ДО-1 представлен на рис. 2. В эксперименте длительностью облучения 7 суток не было получено достоверных отличий в изменении суммарной длины побегов (рис. 2-а) и суммарной длины корней элодеи (рис. 2-в) при росте на радиоактивной пробе ДО-1 по сравнению с контрольной пробой (ДО-К). Для отношения средней длины корня к средней длине побега установлено достоверное снижение этого параметра при росте на радиоактивной пробе ДО-1 по сравнению с контролем ($p = 0,008$) (рис. 2-г). Так же для растений, выросших на пробе ДО-1 установлены значимые отличия от контроля для сухой массы побегов ($p = 0,043$).

В эксперименте длительностью облучения 11 суток было отмечено достоверное увеличение средних значений суммарной длины побегов элодеи при росте на радиоактивной пробе ДО-1 по сравнению с контролем (рис. 2-а). Однако по параметру «сухая масса побегов» не было отмечено достоверной разницы между радиоактивной пробой ДО-1 и контролем (рис.

2-б), что объясняет увеличение длины побегов при росте на радиоактивных ДО вытягиванием без увеличения массы. В эксперименте длительно-стью 11 суток, в отличие от эксперимента длительно-стью 7 суток, средняя суммарная длина корней достоверно уменьшалась при росте на радиоактивных ДО-1 по сравнению с контролем ($p = 0,013$). Так же были получены достоверные отличия от контроля параметра «отношение средней длины корня к средней длине побега» при росте на радиоактивных ДО-1 (рис. 2-г). Следовательно, рост и облучение элодеи на радиоактивных ДО приводит к снижению роста корней, как следует из уменьшения параметров «средняя суммарная длина корней» и «отношение средней длины корня к средней длине побега» по сравнению с контролем.

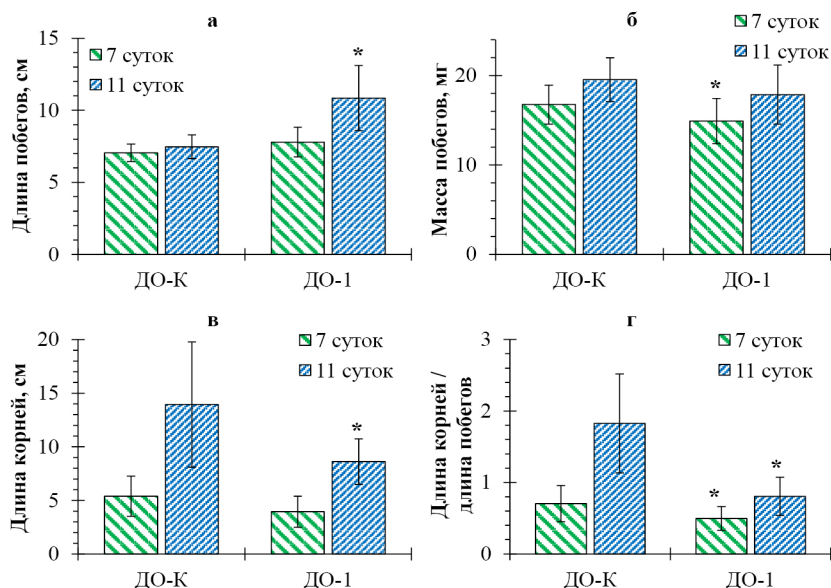


Рис. 2. Морфометрические показатели *Elodea canadensis* в биотесте разной длительности (7 и 11 суток) с радиоактивной пробой донных отложений (ДО-1) и контрольной пробой (ДО-К): **а** – суммарная длина побегов, **б** – сухая масса побегов; **в** – суммарная длина корней, **г** – отношение суммарной длины корней к суммарной длине побегов. * – значимые различия между контрольными (ДО-К) и облучёнными за счёт ^{137}Cs (ДО-1) образцами.

При этом на рост длины побегов элодеи фактор повышенной радиоактивности в ДО не проявился. Ранее отмечалось, что побеги растений

обладают меньшей радиационной чувствительностью по сравнению с корнями [14, 29].

Результаты цитогенетических исследований корневой меристемы *E. canadensis* в экспериментах разной длительности облучения за счёт радиоактивной пробы ДО-1 представлены в таблице 4. Среднее количество клеток с хромосомными aberrациями (ХА) в контроле (ДО-К) в экспериментах длительностью 7 и 11 суток составило $3.8 \pm 0.7\%$ и $4.7 \pm 0.5\%$, соответственно (табл.4). Эти значения уровня ХА не превышали природного фонового уровня ХА для элодеи (табл. 2). В облучённых корнях элодеи за счёт роста на радиоактивных ДО количество клеток с ХА возрастала и варьировала от $6.1 \pm 1.5\%$ до $6.8 \pm 0.6\%$ для временных интервалов облучения 7 и 11 суток, соответственно (табл. 4).

Таблица 4.

Частота встречаемости ана-телофазных клеток корневой меристемы *E. canadensis* с аномалиями митоза в экспериментах с радиоактивными донными отложениями

Хромосомные aberrации	7 суток		11 суток	
	ДО-К	ДО-1	ДО-К	ДО-1
Общее количество аномальных клеток, %	$3,8 \pm 0,7$	$6,1 \pm 1,5$	$4,7 \pm 0,5$	$6,8 \pm 0,6^*$
Фрагменты	$1,95 \pm 0,5$ (52%)	$1,3 \pm 0,5$ (21%)	$1,26 \pm 0,4$ (27%)	$1,36 \pm 0,4$ (20%)
Блуждающие хромосомы	$0,21 \pm 0,1$ (6)	$2,3 \pm 0,7$ (38)*	$1,7 \pm 0,3$ (36)	$3,0 \pm 0,3$ (44)*
Мосты	$0,7 \pm 0,3$ (19)	$1,4 \pm 0,3$ (23)	$0,7 \pm 0,2$ (14)	$1,12 \pm 0,2$ (17)
Множественные	$0,8 \pm 0,4$ (21)	$1,0 \pm 0,4$ (17)	$1,0 \pm 0,2$ (22)	$1,3 \pm 0,4$ (19)
Прочее	$0,1 \pm 0,1$ (2)	$0,1 \pm 0,1$ (1)	$0,1 \pm 0,1$ (1)	0,0 (0)
Фрагменты + блуждающие хромосомы	$2,2 \pm 0,5$ (58%)	$3,6 \pm 1,0$ (59%)	$3,0 \pm 0,5$ (63%)	$4,4 \pm 0,4$ (64%)

Примечание. * – Статистически значимое отличие частоты ХА от контрольного уровня ($p < 0,05$).

В экспериментах с различным временем экспозиции цитогенетических анализ показал повышение уровня клеток с ХА у растений, выращенных на радиоактивных ДО относительно контрольных образцов, однако статистическая значимость различий подтвердилась только на 11 сутки.

В экспериментах разной длительности в спектре ХА элодеи доминировали aberrации типа «Мосты», «Фрагменты», «Множественные нарушения» и «Блуждающие хромосомы» (табл.4). При этом были обнаружены изменения вклада отдельных типов ХА от длительности облучения радиоактивными ДО-1. Показано достоверное увеличение доли блуждающих хромосом у облучённых образцов элодеи до $2,3 \pm 0,7\%$ и $3,0 \pm 0,3\%$, по сравнению с контрольными пробами на 7 и 11 сутки. В то же время aberrации типа «Фрагменты» в клетках облучённых растений статистически значимо не отличалась от контрольных значений, что не согласуется с ранее отмеченным достоверным увеличением данной категории aberrаций при анализе спектра ХА элодеи, произрастающей на радиоактивных ДО реки Енисей вблизи сбросов ГХК (табл. 2). Следует отметить, что суммарный вклад двух aberrаций типа «Фрагменты + блуждающие хромосомы» в проведённых экспериментах был на уровне 60%. Ранее отмечали, что при микроскопировании клеток элодеи довольно сложно разделить хромосомные aberrации типа «Фрагменты» и «Блуждающие хромосомы». Среди других типов ХА можно отметить увеличение среднего уровня aberrаций типа «Мосты» до $1,4 \pm 0,3\%$ для облучённых корней, по сравнению с контролем ($0,7 \pm 0,3\%$), но разница была статистически недостоверна (табл.4). В остальных случаях значимые различия типов ХА отсутствовали. Принимая во внимание достоверное увеличение доли блуждающих хромосом в экспериментах с радиоактивными ДО и достоверное увеличение уровня фрагментов при анализе спектра ХА элодеи, произрастающей на радиоактивных ДО реки Енисей, а также учитывая методические сложности раздельного учёта этих типов ХА, можно принять суммарный уровень aberrаций типа «Фрагменты + Блуждающие хромосомы» одним из параметров цитогенетического отклика элодеи на радиоактивное загрязнение ДО.

В результате проведённых экспериментов показано влияние радиоактивной пробы ДО реки Енисей на морфометрические и цитогенетические параметры элодеи. Следует отметить, что в тестируемой пробе ДО содержание техногенных радионуклидов (14500 Бк/кг) на порядок превышало максимальное содержание техногенных радионуклидов в ДО реки вблизи сбросов ГХК (1470 Бк/кг), в местах отбора проб элодеи (табл. 3). Однако в природных условиях корни элодеи могут получать радиоактивное облучение длительностью десятки дней и месяцы, в отличие от краткосрочных лабораторных экспериментов длительностью 7-11 дней.

Ранее в 2013 году подобные эксперименты по оценке токсичности ДО реки Енисей с использованием элодеи в качестве биотеста проводила Зо-

тина с соавторами [29]. Эти эксперименты по биотестированию ДО методически (включая время экспозиции, которое составляло 10 суток) были близки к условиям наших экспериментов (длительностью 7-11 суток). В вышеотмеченных экспериментах [29] для такого ростового параметра как побеги элодеи была получена противоречивая информация: длина побегов элодеи для отдельных проб ДО отличалась от средней длины побегов в контроле как в сторону увеличения, так и уменьшения длины, но при этом сухая масса побегов достоверно не отличалась от сухой массы побегов в контроле. Аналогичный случай был отмечен и в наших экспериментах (рис. 2). Минимальная средняя длина корней (в два раза меньше длины корней в контроле) отмечена при биотестировании пробы ДО с максимальным содержанием техногенных радионуклидов на уровне 1000 Бк/кг [29], что возможно связано с ингибированием роста корней за счёт радиационного фактора. В этой работе отмечено, что длина корней элодеи является более чувствительным параметром к действию токсических факторов, чем длина побегов. Однако корреляционный анализ не выявил зависимости всех ростовых параметров, а также суммарного уровня хромосомных аберраций от содержания техногенных радионуклидов в пробах ДО. Возможно это связано с тем, что из 9 тестируемых проб ДО [29] только одна содержала техногенные радионуклиды на уровне 1000 Бк/кг, 4 пробы были фоновые (0.5 Бк/кг) и 4 пробы ДО содержали техногенные радионуклиды на уровне близко к фоновым (48-114 Бк/кг). На основании выше рассмотренных экспериментов, можно предположить влияние содержания техногенных радионуклидов в ДО на морфометрические параметры элодеи только при уровнях 1000 Бк/кг и выше, что согласуется с данными наших экспериментов (рис. 2).

Заключение

Повышенное содержание техногенных радионуклидов в донных отложениях (ДО) вниз по течению реки от Горно-химического комбината (ГХК) ГК Росатом, достигающее на отдельных участках категории низкоактивных радиоактивных отходов, является основным источником радиационного облучения укоренённых водных растений. Остановка последнего ядерного реактора в 2010 году и сокращение масштаба радиоактивных сбросов ГХК в р. Енисей привело к снижению регистрируемого суммарного уровня хромосомных аберраций (ХА) в корневой меристеме *E. canadensis*, произрастающей вблизи ГХК в период 2014-2021 гг. В 2021 году повышенный суммарный уровень ХА элодеи, отобранной вблизи

сбросов ГХК, достоверно отличался от уровня ХА у растений из фоновых районов, аналогично ранее опубликованным данным для 2012 года. Среди разных типов ХА повышенный уровень aberrаций типа «Фрагменты» для районов вблизи сбросов ГХК достоверно отличался от значений для фоновых районов в период наших исследований. Из сравнения данных по уровню ХА в клетках корневой меристемы элодеи и максимального содержания техногенных радионуклидов в ДО реки следует, что достоверные отличия суммарного уровня ХА элодеи из районов вблизи сбросов ГХК и фоновых районов были отмечены в диапазоне максимальной активности радионуклидов 520-1470 Бк/кг.

Фактор повышенной радиоактивности ДО (14500 Бк/кг) в лабораторных экспериментах приводил к уменьшению длины корней элодеи по сравнению с контролем, но не влиял на рост побегов. В эксперименте при длительности облучения элодеи 11 суток за счёт радиоактивных ДО наблюдалось достоверное увеличение уровня клеток с ХА и доли блуждающих хромосом относительно контроля. Учитывая методическую сложность в дифференциации aberrаций типа «Фрагменты» и «Блуждающие хромосомы» для клеток элодеи, можно принять суммарный уровень их сочетания за один из параметров цитогенетического отклика элодеи на радиоактивное загрязнение ДО в лабораторном эксперименте и в природных условиях. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о влиянии удельного содержания техногенных радионуклидов в ДО р. Енисей выше определенного уровня на морфометрические и цитогенетические параметры элодеи.

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

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2024-0024).

Conflict of interest statement. The authors have no conflicts of interest to declare.

Funding. The study was funded by State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. FWES-2024-0024).

Список литературы

1. Болсуновский А.Я., Ермаков А.И., Мясоедов Б.Ф., Новиков А.П., Соболев А.И. Новые данные по содержанию трансурановых элементов в донных

- отложениях реки Енисей // Доклады Академии наук. 2002. Т. 387, № 2. С. 233-236.
2. Болсуновский А.Я., Суковатый А.Г. Радиоактивное загрязнение водных организмов реки Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината // Радиационная биология. Радиоэкология. 2004. Т. 44. № 3. С. 393-398.
 3. Болсуновский А.Я., Муратова Е.Н., Суковатый А.Г., Пименов А.В., Санжараева Е.А., Зотина Т.А., Корнилова М.Г. Радиоэкологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т.47, № 1. С. 63-73.
 4. Болсуновский А.Я., Трофимова Е.А., Дементьев Д.В., Карпов А.Д. Интенсивность накопления урана-238 представителями разных экологических уровней экосистемы р. Енисей // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. №. 2. С.161-171. <https://doi.org/10.17223/19988591/34/11>
 5. Даев Е.В., Дукельская А.В., Барабанова Л.В. Цитогенетические методы индикации экологической напряженности в водных и наземных биосистемах // Экологическая генетика. 2014. Т.12, № 2. С.4-12.
 6. Лунёва К.В., Крышев А.И. Анализ радиоэкологического воздействия Красноярского горно-химического комбината на объекты речной биоты в 2000-2012 гг. // Радиация и риск. 2014. Т. 23. № 1, С. 89-96.
 7. Медведева М.Ю., Болсуновский А.Я., Зотина Т.А. Цитогенетические нарушения у водного растения *Elodea canadensis* в зоне техногенного загрязнения р. Енисей // Сибирский экологический журнал. 2014. Т.21, № 4. С.561-572.
 8. Муратова Е.Н., Горячкина О.В., Корнилова М.Г., Пименов А.В., Седельникова Т.С., Болсуновский А.Я. Цитогенетическое изучение водных растений акватории Енисея в зоне радиационного загрязнения // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2014. № 5. С.510-517. <https://doi.org/10.7868/S0002332914050099>
 9. Отчет по экологической безопасности ГХК за 2021 год. Железногорск, 2022. 48 с. https://sibghk.ru/images/pdf/eco/ghk_corep_2021.pdf
 10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2020 году. Ежегодник. Росгидромет, ФГБУ «НПО «Тайфун». Обнинск. 2021. 329 с. https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2020.pdf
 11. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.М., Болсуновский А.Я., Ковалев С.И., Косолапова Л.Г., Мельгунов М.С., Рапуга В.Ф. Зако-

- номерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. Новосибирск, Изд-во СО РАН. Филиал "Гео". 2004. 286 с.
12. Трофимова Е.А., Зотина Т.А., Болсуновский А.Я. Оценка переноса техногенных радионуклидов в трофических сетях реки Енисей // Сибирский экологический журнал. 2012. №4. С.497-504.
 13. Трофимова Е.А., Зотина Т.А., Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я. Накопление техногенных радионуклидов хищными и мирными рыбами реки Енисей // Вопросы радиационной безопасности. 2014. № 4. С. 55-61.
 14. Arts G.H.P., Belgers J.D.M., Hoekzema C.H., Thissen J.T.N.M. Sensitivity of submerged freshwater macrophytes and endpoints in laboratory toxicity tests // Environ. Pollut. 2008. Vol.153. P. 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.07.019>
 15. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E., Iniatkina E., Kladko Yu., Petrichenkov M. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma-radiation // Journal of environmental radioactivity. 2019. Vol. 207. P. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.014>
 16. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E. Biomonitoring of radioactive contamination of the Yenisei River using aquatic plants // Journal of environmental radioactivity. 2020. Vol. 211. № 106100. P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106100>
 17. Bolsunovsky A.Ya., Dementyev D.V., Vakhrushev V.I. Transport of artificial radionuclides over long distances downstream along the Yenisei River during the 1966 extreme flood event // Doklady Earth Sciences. 2021. Vol. 498, Part 2. P. 514-518. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21060052>
 18. Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Y., Borisov R.V., Trofimova E.A. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the Yenisei River near Krasnoyarsk // Bull. Tomsk Polytech. Univ. Geo Assets Eng. 2015. Vol. 326, № 5. P. 91-98. <http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/1578/1431>
 19. Fukui Kiichi, Nakayama Shigeki. Plant Chromosomes: Laboratory Methods. 1996, 288 p.
 20. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Plants as a tool for the environmental health assessment // Encyclopedia of environmental health. 2011. P. 239-248.
 21. Geras'kin S.A., Oudalova A.A., Kim J.K., Dikarev V.G., Dikareva N.S. Cytogenetic effect of low dose γ -radiation in *Hordeum vulgare* seedlings: non-linear dose-effect relationship // Radiat. Environ. Biophys. 2007. Vol. 46. P. 31-41. <https://doi.org/10.1007/s00411-006-0082-z>
 22. Grant W.F. Chromosome aberrations in plants as a monitoring system // Environmental Health Perspectives. 1978. Vol. 7. P. 37-43. <https://doi.org/10.1289/ehp.782737>

23. Gudkov D.I., Shevtsova N.L., Pomortseva N.A., Dzyubenko E.V., Kaglyan A.E., Nazarov A.B. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone // Journal of environmental radioactivity. 2016. Vol. 151. P. 438-448. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.09.004>
24. Nosov A.V. Analysis of the radiation environment on the Enisei River after decommissioning of straight-through reactors at the Krasnoyarsk mining-chemical complex // Atom. Energy. 1996. Vol. 81. P. 670-674. <https://doi.org/10.1007/BF02407062>
25. Rank J. The method of *Allium* anaphase-telophase chromosome aberration assay // Ekologija. 2003. Vol.1. P. 38-42.
26. Sediment-water chironomid toxicity test using spiked water. Test Guideline No. 219. Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. 2004. OECD Publishing, Paris.
27. Shevtsova N.L., Gudkov D.I., Cytogenic effects of long-term radiation on higher aquatic plants within the Chernobyl accident Exclusion Zone // Radioprotection. 2009. Vol. 44. P. 937-940. <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095167>
28. Vakulovsky S.M., Kryshev I.I., Nikitin A.I., Savitsky Y.V., Malyshev S.U., Tertyshnik E.G. Radioactive contamination of the Yenisey River // Journal of environmental radioactivity. 1995. Vol. 29. P. 225-236. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00033-7](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00033-7)
29. Zotina T.A., Trofimova E.A., Medvedeva M.Yu., Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya. Use of the aquatic plant *Elodea canadensis* to assess toxicity and genotoxicity of Yenisei River sediments // Environmental Toxicology and Chemistry. 2015. Vol. 34, No. 10. P. 2310-2321. <https://doi.org/10.1002/etc.3057>
30. Zotina T.A., Trofimova E.A., Dementyev D.V. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia) // Journal of Environmental Radioactivity. 2019. Vol. 208-209. № 106028. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106028>

References

1. Bolsunovsky A.Ya., Ermakov A.I., Myasoedov B.F., Novikov A.P., Sobolev A.I. New data on the content of transuranic elements in bottom sediments of the Yenisei River. *Reports of the Academy of Sciences*, 2002, vol. 387, no. 2, pp. 233-236.
2. Bolsunovsky A.Ya., Sukovaty A.G. Radioactive contamination of aquatic organisms of the Yenisei River in the zone of influence of the Mining-Chemical Combine. *Radiation Biology. Radioecology*, 2004, vol. 44, no. 3, pp. 393-398.
3. Bolsunovsky A.Ya., Muratova E.N., Sukovaty A.G., Pimenov A.V., Sanzharaeva E.A., Zotina T.A., Kornilova M.G. Radioecological monitoring of the Yenisei

- River and cytogenetic characteristics of the aquatic plant *Elodea canadensis*. *Radiation Biology. Radioecology*, 2007, vol. 47, no. 1, pp. 63-73.
4. Bolsunovsky, A.Ya.; Trofimova, E.A.; Dementiev, D.V.; Karpov, A.D. Intensity of uranium-238 accumulation by representatives of different ecological levels of the Yenisei River ecosystem. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*, 2016, no. 2, pp. 161-171. <https://doi.org/10.17223/19988591/34/11>
 5. Daev E.V., Dukelskaya A.V., Barabanova L.V. Cytogenetic methods of ecological tension indication in aquatic and terrestrial Biosystems. *Ecological Genetics*, 2014, vol. 12, no. 2, pp. 4-12.
 6. Luneva, K.V.; Kryshev, A.I. Analysis of radioecological impact of Krasnoyarsk Mining and Chemical Combine on the river biota objects in 2000-2012. *Radiation and Risk*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 89-96.
 7. Medvedeva M.Yu., Bolsunovsky A.Ya., Zotina T.A. Cytogenetic disorders in the aquatic plant *Elodea canadensis* in the zone of anthropogenic pollution of the Yenisei River. *Siberian Ecological Journal*, 2014, vol. 21, no. 4, pp. 561-572.
 8. Muratova E.N., Goryachkina O.V., Kornilova M.G., Pimenov A.V., Sedelnikova T.S., Bolsunovsky A.Ya. Cytogenetic study of aquatic plants of the Yenisei water area in the zone of radiation contamination. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*, 2014, no. 5, pp. 510-517. <https://doi.org/10.7868/S0002332914050099>
 9. MCC Environmental Safety Report for 2021. Zheleznogorsk, 2022, 48 p. https://sibghk.ru/images/pdf/eco/ghk_ecorep_2021.pdf
 10. *Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2020*. Roshydromet, NPO 'Typhoon'. Obninsk, 2021, 329 p. https://www.rpatyphoon.ru/upload/medialibrary/187/ezhegodnik_ro_2020.pdf
 11. Sukhorukov F.V., Degermendzhi A.G., Belolipetsky V.M., Bolsunovsky A.Ya., Kovalev S.I., Kosolapova L.G., Melgunov M.S., Raputa V.F. *Regularities of distribution and migration of radionuclides in the valley of the Yenisei River*. Novosibirsk, Izd-vo SO RAS. Geo Branch. 2004. 286 c.
 12. Trofimova E.A., Zotina T.A., Bolsunovsky A.Ya. Assessment of the transfer of anthropogenic radionuclides in the trophic networks of the Yenisei River. *Siberian Ecological Journal*, 2012, no. 4, pp. 497-504.
 13. Trofimova E.A., Zotina T.A., Dementiev D.V., Bolsunovsky A.Ya. Accumulation of anthropogenic radionuclides by predatory and peaceful fish of the Yenisei River. *Voprosy Radiation Safety*, 2014, no. 4, pp. 55-61.
 14. Arts G.H.P., Belgers J.D.M., Hoekzema C.H., Thissen J.T.N.M. Sensitivity of submerged freshwater macrophytes and endpoints in laboratory toxicity tests.

- Environ. Pollut.*, 2008, vol. 153, pp. 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.07.019>.
15. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E., Iniatkina E., Kladko Yu., Petrichenkov M. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma-radiation. *Journal of environmental radioactivity*, 2019, vol. 207, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.014>
 16. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E. Biomonitoring of radioactive contamination of the Yenisei River using aquatic plants. *Journal of environmental radioactivity*, 2020, vol. 211, no. 106100, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106100>
 17. Bolsunovsky A.Ya., Dementyev D.V., Vakhrushev V.I. Transport of artificial radionuclides over long distances downstream along the Yenisei River during the 1966 extreme flood event. *Doklady Earth Sciences*, 2021, vol. 498, part 2, pp. 514-518. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21060052>
 18. Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Y., Borisov R.V., Trofimova E.A. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the Yenisei River near Krasnoyarsk. *Bull. Tomsk Polytech. Univ. Geo Assets Eng.*, 2015, vol. 326, no. 5, pp. 91-98. <http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/1578/1431>
 19. Fukui Kiichi, Nakayama Shigeki. Plant Chromosomes: Laboratory Methods, 1996, 288 p.
 20. Geras'kin S., Evseeva T., Oudalova A. Plants as a tool for the environmental health assessment. *Encyclopedia of environmental health*, 2011, pp. 239-248.
 21. Geras'kin S.A., Oudalova A.A., Kim J.K., Dikarev V.G., Dikareva N.S. Cytogenetic effect of low dose γ -radiation in *Hordeum vulgare* seedlings: non-linear dose-effect relationship. *Radiat. Environ. Biophys.*, 2007, vol. 46, pp. 31-41. <https://doi.org/10.1007/s00411-006-0082-z>
 22. Grant W.F. Chromosome aberrations in plants as a monitoring system. *Environmental Health Perspectives*, 1978, vol. 7, pp. 37-43. <https://doi.org/10.1289/ehp.782737>
 23. Gudkov D.I., Shevtsova N.L., Pomortseva N.A., Dzyubenko E.V., Kaglyan A.E., Nazarov A.B. Radiation-induced cytogenetic and hematologic effects on aquatic biota within the Chernobyl exclusion zone. *Journal of environmental radioactivity*, 2016, vol. 151, pp. 438-448. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.09.004>
 24. Nosov A.V. Analysis of the radiation environment on the Enisei River after decommissioning of straight-through reactors at the Krasnoyarsk mining-chemical complex. *Atom. Energy*, 1996, vol. 81, pp. 670-674. <https://doi.org/10.1007/BF02407062>
 25. Rank J. The method of *Allium* anaphase-telophase chromosome aberration assay. *Ekologija*, 2003, vol. 1, pp. 38-42.

26. Sediment-water chironomid toxicity test using spiked water. Test Guideline No. 219. Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. 2004. OECD Publishing, Paris.
27. Shevtsova N.L., Gudkov D.I., Cytogenic effects of long-term radiation on higher aquatic plants within the Chernobyl accident Exclusion Zone. *Radioprotection*, 2009, vol. 44, pp. 937-940. <https://doi.org/10.1051/radiopro/20095167>
28. Vakulovsky S.M., Kryshev I.I., Nikitin A.I., Savitsky Y.V., Malyshev S.U., Tertyshnik E.G. Radioactive contamination of the Yenisey River. *Journal of environmental radioactivity*, 1995, vol. 29, pp. 225-236. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00033-7](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00033-7)
29. Zotina T.A., Trofimova E.A., Medvedeva M.Yu., Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya. Use of the aquatic plant *Elodea canadensis* to assess toxicity and genotoxicity of Yenisei River sedim ents. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2015, vol. 34, no. 10, pp. 2310-2321. <https://doi.org/10.1002/etc.3057>
30. Zotina T.A., Trofimova E.A., Dementyev D.V. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia). *Journal of Environmental Radioactivity*, 2019, vol. 208-209, no. 106028. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106028>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Болсуновский Александр Яковлевич, д-р биол. наук, заведующий лабораторией радиоэкологии
Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
radecology@gmail.com

Трофимова Елена Александровна, м.н.с. лаборатории радиоэкологии
Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
e.trofimova11@yandex.ru

Дементьев Дмитрий Владимирович, канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории радиоэкологии

Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
dementyev@gmail.com

Дементьева Алена Сергеевна, ведущий инженер лаборатории радиоэкологии

Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация
aileenpetrova@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander Ya. Bolsunovsky, Dr. Sc. (Biology), Head of Radioecology Laboratory

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS
50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation
radecology@gmail.com
SPIN-code: 1611-7686
Researcher ID: P-8028-2015
Scopus Author ID: 6602465853

Elena A. Trofimova, Junior Researcher, Radioecology Laboratory

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS
50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation
e.trofimova11@yandex.ru
SPIN-code: 7291-7039
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-4916>
Scopus Author ID: 42662341100

Dmitry V. Dementyev, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Radioecology Laboratory

*Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS
50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation
dementyev@gmail.com
SPIN-code: 4626-1423
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7016-8592>
Researcher ID: S-4807-2017
Scopus Author ID: 6507497346*

Alena S. Dementyeva, Leading Engineer, Radioecology Laboratory
*Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS
50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk 660036, Russian Federation
aileenpetrova@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1786-7893>
Researcher ID: K-8244-2018*

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 27.05.2024

Received 05.03.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 27.05.2024

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914

УДК 577.19:542.8



Научная статья

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОНСЕРВИРОВАНИЯ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ (*ARONIA MELANOCARPA*)

*К.Ш. Казимова, Е.К. Растегаев, Ф.Ю. Ахмадуллина,
Ю.В. Щербакова, Г.Г. Шуматбаев, Р.К. Закиров*

Обоснование. Для изучения антиоксидантных свойств растительных экстрактов чаще всего на практике используют фотометрические и люминесцентные методы анализа, несмотря на присущие им недостатки. Представлял интерес исследовать перспективность использования электрохимического метода оценки антиокислительной активности фитоэкстрактов – кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, а также редко используемый на практике биологический метод – метод биотестирования. Это позволит не только оценить согласованность результатов по антиоксидантному потенциалу исследуемых фитоэкстрактов, полученных различными методами анализа, но и ответить на вопрос о соотношении водорастворимых и не растворимых в воде биологически активных веществ, обладающих антиоксидантной активностью, в данном растительном сырье.

Цель. Целью работы являлась оценка антиоксидантного потенциала водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных, замороженных и сушеных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*).

Материалы и методы. Объект исследования – водные и этанольные экстракты на основе свежесобранных, высушенных и замороженных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) сорта «Черноокая», относящегося к наиболее распространенным крупноплодным сортами отличающегося высокой урожайностью и морозоустойчивостью. Плоды изучаемого сорта аронии черноплодной собраны в период созревания (конец августа-сентябрь) на территории Республики Татарстан Зеленодольского района (приусадебный участок). Фитоэкстракты были получены методом однократной мацерации с перемешиванием, используя в качестве экстрагентов дистиллированную воду и 96% этанол.

Интегральную антиоксидантную активность водных и этанольных извлечений измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, используя в качестве стандарта рутин.

Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила.

При проведении биотестирования стимулирующее или ингибирующее действие исследуемых фитоэкстрактов на биологическую модель (*Paramecium caudatum*) оценивали, определяя ее стрессоустойчивость к пероксиду водорода.

Результаты. Плоды аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, характеризуются высокими антиоксидантными свойствами. При этом, антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных, в среднем на 15,5%, что, вероятно, обусловлено более высоким содержанием антиоксидантов различной природы, растворимых в этаноле. Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми. Тенденцию роста стрессоустойчивости парамеций с повышением концентрации экстрактов, в интервале последних от 0,036 до 0,07 мг/мл, более выраженное для водных экстрактов, характеризующихся более высокой антирадикальной активностью.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показали хорошее согласование экспериментальных результатов, полученных методами биотестирования и кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, подтвердившее перспективность и целесообразность использования последнего для оценки антиоксидантной активности фитоэкстрактов. Установлен высокий антиоксидантный потенциал плодов аронии черноплодной сорта «Черноокая», произрастающей на территории Республики Татарстан, а также предпочтительность замораживания исследованного фитосырья в качестве перспективного метода консервирования при целевом получении водных биологически активных препаратов.

Ключевые слова: *Aronia melanocarpa*; экстракция; мацерация; методы определения антиоксидантной активности; кулонометрия; биотестирование

Для цитирования. Казимова К.Ш., Растегаев Е.К., Ахмадуллина Ф.Ю., Щербакowa Ю.В., Шуматбаев Г.Г., Закиров Р.К. Влияние способа консервирования на антиоксидантный потенциал экстрактов на основе плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 38-59. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914

Original article

INFLUENCE OF PRESERVATION METHOD ON ANTIOXIDANT POTENTIAL OF EXTRACTS BASED ON *ARONIA MELANOCARPA* FRUITS

**C.Sh. Kazimova, E.K. Rastegaev, F.Yu. Akhmadullina,
Yu.V. Shcherbakova, G.G. Shumatbaev, R.K. Zakirov**

Background. To study the antioxidant properties of plant extracts, photometric and luminescent methods of analysis are most often used in practice, despite their inherent shortcomings. It was of interest to investigate the prospects of using an electrochemical method for assessing the antioxidant activity of phytoextracts - coulometric titration with electrogenerated bromine, as well as a biological method rarely used in practice - the biotesting method. This will make it possible not only to assess the consistency of the results on the antioxidant potential of the studied phytoextracts obtained by various methods of analysis, but also to answer the question about the ratio of water-soluble and water-insoluble biologically active substances with antioxidant activity in a given plant material.

Purpose. The purpose of the work was to assess the antioxidant potential of aqueous and alcoholic extracts based on natural, frozen and dried chokeberry fruits (*Aronia melanocarpa*).

Materials and methods. The object of the study is aqueous and ethanol extracts based on freshly picked, dried and frozen fruits of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) variety "Chernookaya", which is one of the most common large-fruited varieties characterized by high yield and frost resistance. The fruits of the studied chokeberry variety were collected during the ripening period (end of August-September) on the territory of the Republic of Tatarstan Zelenodolsk region (garden plot). Phytoextracts were obtained by single maceration with stirring using distilled water and 96% ethanol as extractants.

The integrated antioxidant activity of aqueous and ethanol extracts was measured by coulometric titration with electrogenerated bromine, using rutin as a standard.

Antiradical activity was determined by a colorimetric method using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl reagent.

*During biotesting, the stimulating or inhibitory effect of the studied phytoextracts on a biological model (*Paramecium caudatum*) was assessed by determining its stress resistance to hydrogen peroxide.*

Results. *The conducted studies showed good agreement between the experimental results obtained by the methods of biotesting and coulometric titration with electrogenerated bromine, which confirmed the promise and feasibility of using the latter to evaluate the antioxidant activity of phytoextracts. The fruits of chokeberry, growing on the territory of the Republic of Tatarstan, are characterized by high antioxidant properties. At the same time, the antioxidant potential of alcoholic extracts is significantly higher than aqueous extracts, on average by 15.5%, which is probably due to the higher content of antioxidants of various natures soluble in ethanol. The study of the antiradical properties of the extracts under study revealed a slight excess of the antiradical characteristics of aqueous phytoextracts compared to alcoholic ones. The tendency of increasing stress resistance of paramecium with increasing concentration of extracts, in the range of the latter from 0.036 to 0.07 mg/ml, is more pronounced for aqueous extracts characterized by higher anti-radical activity.*

Conclusion. *Thus, the results obtained confirm the high antioxidant potential of chokeberry fruits growing on the territory of the Republic of Tatarstan, as well as the preference for freezing the studied phytomaterials as a promising method of preservation for the targeted production of aqueous biologically active preparations.*

Keywords: *Aronia melanocarpa; extraction; maceration; methods for determining antioxidant activity; coulometry; biotesting*

For citation. *Kazimova C.Sh., Rastegaev E.K., Akhmadullina F.Yu., Shcherbakova Yu.V., Shumatbaev G.G., Zakirov R.K. Influence of Preservation Method on Antioxidant Potential of Extracts based on Aronia melanocarpa Fruits. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 38-59. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-914*

Введение

К настоящему времени накоплен достаточно большой объем многообещающей информации, касающейся биохимической ценности плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) [2; 13; 14; 15; 18] (рис. 1), которая не только не снижает, а, напротив, способствует росту исследовательской активности как за рубежом, так и в нашей стране.



Рис. 1. Антиоксидантные свойства плодов аронии черноплодной

Это связано с возможностью разработки новых форм и более эффективных средств лечебного и лечебно-профилактического назначения, способствующих повышению сопротивляемости организма человека к воздействию негативных экофакторов окружающей среды.

Для изучения антиоксидантных и антирадикальных свойств фитоэкстрактов как в отечественной, так и в зарубежной практике наибольшее распространение получили фотометрические и люминесцентные методы анализа, несмотря на присущие им недостатки [1; 16]. В первом случае не все определяемые этим методом восстановители активны по отношению к свободным радикалам в условиях *in vivo*, что связано с большой кислотностью модельной системы. Кроме того, данным методом трудно определять липофильные антиоксиданты. Что касается хемилюминесцентного метода, он характеризуется высокой продолжительностью и зависимостью интенсивности хемилюминесценции от pH среды. Поэтому представлял интерес исследовать перспективность использования электрохимического метода для оценки антиоксидантной активности фитоэкстрактов и, в первую очередь, метода кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, позволяющего охватить больший спектр антиокислителей включая, органические кислоты, флавоноиды, каротиноиды, антоцианы [12], а также пока редко используемый в практике биологический метод оценки качества фитоэкстрактов – метод биотестирования, отличающийся высокой чувствительностью, позволяющий достоверно оценить как биостимулирующее, так и токсикологическое действие исследуемых препаратов, учитывая, что известные вышеуказанные методы оценки антиоксидантной активности (люминесцентные, фотометрические, электро-химические и др.) являются косвенными, результаты которых не всегда сопоставимы из-за различия используемых индикаторных систем [7].

Цель исследования. Целью работы являлась оценка антиоксидантного потенциала водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных, замороженных и сушеных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*).

Материалы и методы исследования

Объект исследования – водные и этанольные экстракты на основе свежесобранных, высушенных и замороженных плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) сорта «Черноокая», относящегося к наиболее распространенным крупноплодным сортами отличающегося высокой урожайностью и морозоустойчивостью. Плоды изучаемого сорта аронии черноплодной собраны в период созревания (конец августа-сентябрь) на территории Республики Татарстан Зеленодольского района (приусадебный участок).

Для получения сушеного фитосырья плоды подвергались конвективной сушке при 40-50 °C в течение 2-2,5 суток.

Заморозку фитосырья осуществляли при температуре -18°C.

В качестве экстрагентов использовали дистиллированную воду и 96% - этанол. Фитоэкстракты были получены методом однократной мацерации с перемешиванием [5]. Параметры процесса экстрагирования: соотношение сырья: растворитель 1:6, интенсивность перемешивания 500 об/мин, продолжительность процесса экстракции 90 мин, температурный режим экстрагирования составил 65 °C при получении водных извлечений (экстрагент – дистиллированная вода) и 45 °C при получении спиртовых экстрактов (экстрагент – 96% этанол). Размер частиц растительного сырья лежал в пределах 5 мм. Полученные экстракты после охлаждения фильтровали через бумажный фильтр.

Интегральную антиоксидантную активность (ИАА) водных и этанольных извлечений измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, используя в качестве стандарта рутин [8]. Сопоставление результатов, полученных в серии опытов, осуществляли на основании приведенных характеристик антиоксидантной активности фитоэкстрактов, согласно [6], для чего в каждом опыте определяли концентрацию экстрактивных веществ (АСВ) весовым методом по стандартной методике [4]. Аналитические измерения проводили, используя непосредственно полученные экстракты без дополнительного концентрирования.

Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила при длине волны 517 нм в кювете толщиной 0,5 см. Использовали извлечения с концентрацией экстрактивных веществ 0,5%. В качестве раствора сравнения использовали 80% этанол. Антирадикальную активность образцов фитоэкстрактов выражали в процентах ингибирования DPPH [17].

При проведении биотестирования стимулирующее или ингибирующее действие исследуемых фитоэкстрактов на биологическую модель оценивали, определяя ее стрессоустойчивость к пероксиду водорода, который является клеточным ядом, инициирующим перекисное окисление липидов мембраны клетки. Пероксид водорода в экспериментальных исследованиях использовали в концентрации 1,5%. В качестве тест-объекта выступала хорошо изученная и широко используемая в области оценки качества агропромышленной продукции, а также в фармакологии для скрининга лекарственных средств антиоксидантного действия равноресничная инфузория *Paramecium caudatum* [11]. Оценку стрессоустойчивости инфузорий осуществляли после их культивирования в течение 3 дней в среде Лозин-Лозинского с добавлением экстрактов аронии черноплодной. Оценку уровня влияния исследуемых фитоэкстрактов осуществляли по интенсивности бездвиженности (смертности) парameций при воздействии стрессора [11, 20].

Все вышеперечисленные эксперименты проводили не менее чем в 3-кратной повторности.

Результаты и обсуждение

Результаты кулонометрического титрования электрогенерированным бромом изучаемых водных и спиртовых экстрактов на основе нативного фитосырья представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели антиоксидантного потенциала экстрактов натуральных плодов аронии черноплодной

Экстрагент: дистиллированная вода				Экстрагент: этанол 96%			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
5,77	264,91 262,78 269,95	265,88 ± 3,68	46,08	10,55	590,13 587,22 591,81	589,72 ± 2,32	55,90
5,82	243,72 248,54 242,93	245,06 ± 3,03	42,11	15,95	819,28 839,01 824,88	827,72 ± 10,17	51,90
5,62	252,69 257,84 258,54	256,35 ± 3,19	45,61	8,05	438,66 447,21 441,73	442,53 ± 4,33	54,97
5,58	249,48 245,65 247,32	247,45 ± 1,92	44,35	18,36	869,94 885,52 894,78	883,41 ± 12,55	48,12

На их основании были получены приведенные (соотнесенные к единице массы экстрактивных веществ в каждом опыте) характеристики антиоксидантной активности исследуемых фитоэкстрактов (рис. 2).

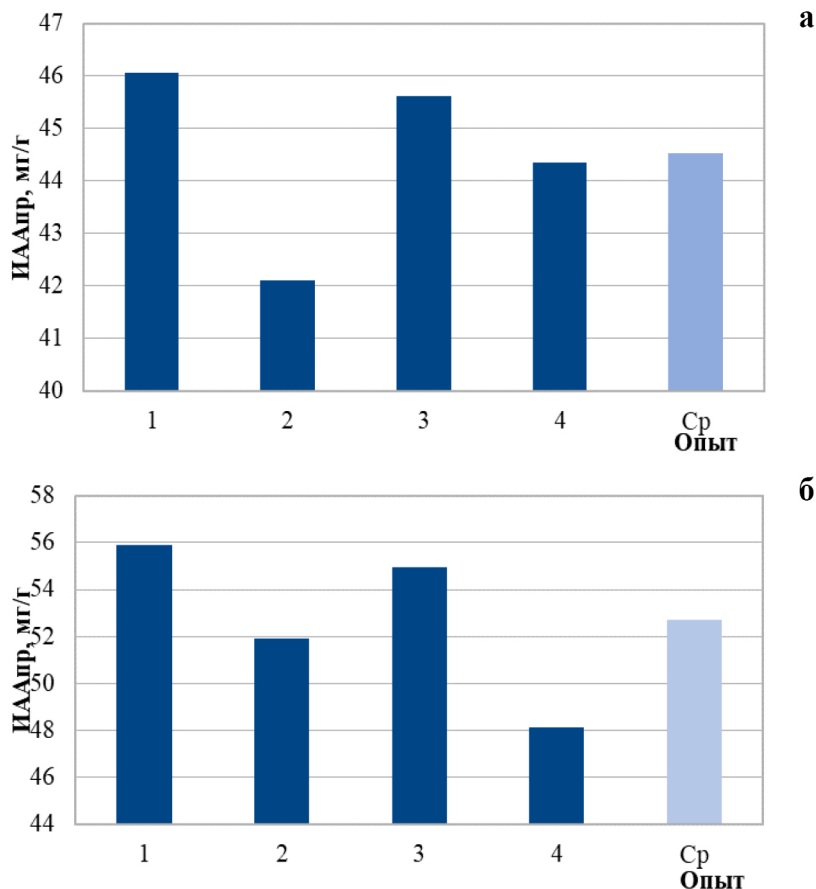


Рис. 2. Приведенные антиоксидантные характеристики экстрактов: а – водные; б – этанольные.

Согласно полученным данным, плоды аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, характеризуются высокими антиоксидантными свойствами. При этом антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных, в среднем на 15,5%,

что, вероятно, обусловлено более высоким содержанием антиоксидантов различной природы, растворимых в этаноле.

Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми (рис. 3).

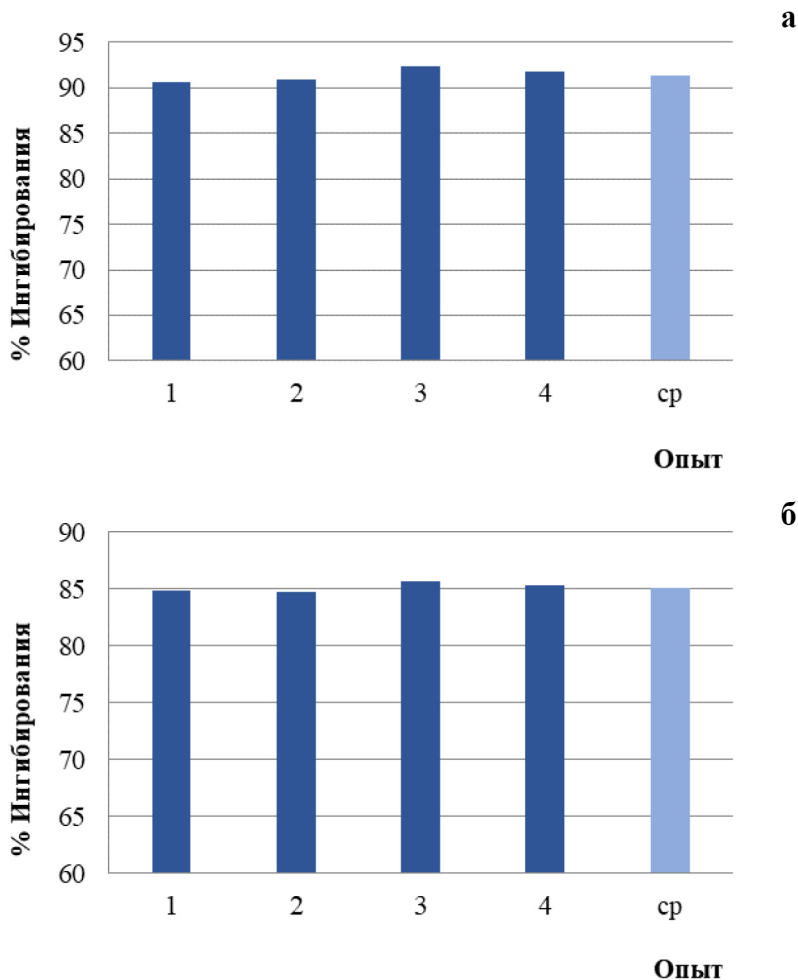


Рис. 3. Антирадикальная активность экстрактов:
а – водные; б – этанольные

Экспериментально установленное расхождение в данных, полученных двумя методами, можно объяснить следующим. Величина интегральной антиоксидантной активности фитоэкстрактов, определяемая методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, охватывает суммарно биологически активные вещества различной природы, обладающие антиоксидантной активностью, растворимые как в дистиллированной воде, так и 96%-этаноле, и согласно полученным данным, последний является более эффективным экстрагентом, позволяющим извлечь большее количество экстрактивных веществ, проявляющих восстановительные свойства. Что касается экстрактивных веществ, обладающих антирадикальными свойствами, они преобладают в водных извлечениях, согласно DPPH-методу. И их хорошая согласованность с результатами по антиоксидантной активности водных извлечений, которую оценивали по стрессоустойчивости инфузорий *Paramecium caudatum* по отношению к стрессору пероксиду водорода, подтверждает это (табл. 2).

Являясь эукариотическими организмами, они проявляют свойства как отдельного организма, так и клетки, вследствие чего они могут выступать и как интегральные датчики для оценки влияния совокупности экофакторов, и как одноклеточные тест-организмы при оценке цитотоксичности. Кроме того, с помощью инфузорий возможно оценить влияние не только водорастворимых соединений, но и соединений, растворимых в ряде органических растворителей.

Не последнюю роль при выборе биотеста играли его достаточно большие размеры, обеспечивающие возможность их визуального наблюдения при микроскопировании (кратность увеличения в экспериментах составляла 40), а также сравнительно низкая затратность их содержания в лабораторных условиях [2].

Для корректной оценки результатов биотестирования сопоставление полученных данных осуществляли на основании относительных временных характеристик обездвиживания биотестов по отношению к контролю, приняв за 100% временной период гибели инфузорий *Paramecium caudatum* в опытах без добавления исследуемых экстрактов с последующим усреднением (рис. 4).

Следует отметить тенденцию роста стрессоустойчивости парамеций с повышением концентрации экстрактов, в интервале последних от 0,036 до 0,07 мг/мл, более выраженное для водных экстрактов, характеризующихся более высокой антирадикальной активностью.

Таблица 2.

**Результаты биотестирования экстрактов на основе
натурального фитосырья**

Концентрация экстракта, мг/мл	Время гибели инфузорий под действием стрессора, сек	
	Водные экстракты	Этанольные экстракты
Эксперимент 1		
Контроль (0)	47,6±6	92,5±12
0,0075	104±12	150±8
0,015	97,5±15	146,5±11
0,022	105±11	155±12
0,030	115±9	139±12
0,036	173±12	190,5±12
0,043	177,5±12	181±12
0,050	177±12	238,5±6
0,057	155±15	207±12
0,063	187±13	195±7
0,070	-	181,5±4
Эксперимент 2		
Контроль (0)	82,5±17	73±13
0,0075	130±11	115±8
0,015	139±12	125±8
0,022	135±12	136,5±11
0,030	158,5±8	136,5±15
0,036	203±11	185,5±11
0,043	217,5±17	185±4
0,050	187,5±7	176±12
0,057	204±12	192±12
0,063	179±12	181±17
0,070	191±12	187±18
Эксперимент 3		
Контроль (0)	70±4	75±6
0,0075	132±5	131±5
0,015	131±12	144±8
0,022	139±12	148±12
0,030	150±18	148,5±11
0,036	195±17	193±15
0,043	217±11	187±11
0,050	187,5±14	193±11
0,057	194±22	194±17
0,063	239±14	180±12
0,070	205±14	198±12

Пероксид водорода, клеточный яд, инициирует свободно-радикальное окисление липидов, основного компонента биомембраны. Учитывая радикальный механизм перекисного окисления липидов, экстракты с более высоким содержанием биологически активных веществ, обладающих антирадикальной активностью, должны в большей степени повышать стрессоустойчивость тест-объекта, что характерно для водных экстрактов плодов аронии черноплодной. Очевидно, водорастворимые флавонолы и флавононы, а также антоцианы, которые практически не растворимы в спирте, в условиях стресса защищают липиды от перекисаии [19].

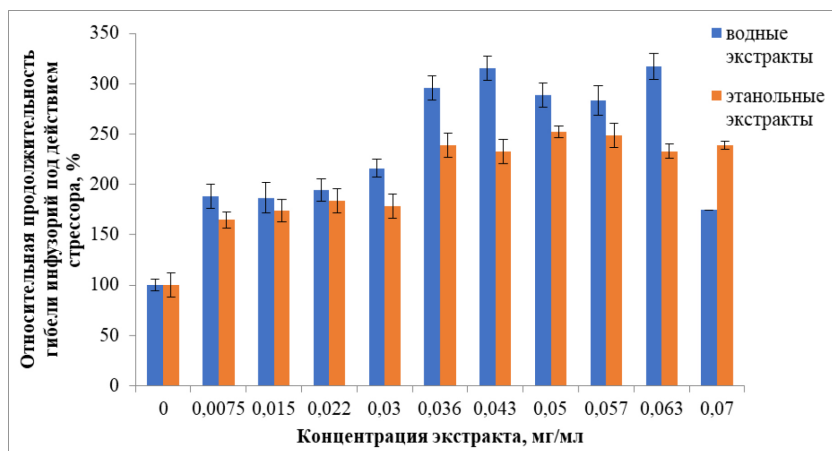


Рис. 4. Влияние концентрации водных и спиртовых экстрактов на основе натуральных плодов аронии черноплодной на гибель парameций под действием стрессора

Что касается определения ИАА фитопрепаратов, проведенные экспериментальные исследования подтвердили перспективность и правомерность использования метода кулонометрического титрования электрогенерированным бромом для сравнительной оценки суммарного содержания в них антиокислителей, различающихся не только природой, но и механизмом ингибирования окислительных процессов. В связи с этим, данный аналитический метод был использован в работе для изучения влияния способа консервирования плодов аронии черноплодной на антиоксидантные свойства водных и спиртовых извлечений, учитывая термолабильность некоторых биологически активных веществ, входящих в состав объекта исследования.

Была проведена серия экспериментов по определению ИАА водных и этанольных экстрактов сушеных и замороженных плодов черноплодной рябины с последующей обработкой полученных результатов аналогично вышеописанному (табл. 3).

Таблица 3.

**ИАА водных и этанольных экстрактов на основе сушеных
и замороженных плодов аронии черноплодной**

Экстрагент: дистиллированная вода							
Замороженное сырье				Высушенное сырье			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
6,64	359,3 363,22 358,44	360,32 ± 2,54	54,26	14,43	573,99 589,23 578,03	580,42 ± 7,89	40,21
5,80	339,35 336,32 334,75	336,80 ± 2,33	58,06	6,56	288,68 298,77 282,62	290,02 ± 8,15	44,21
6,06	339,35 336,32 338,61	357,57 ± 2,00	58,96	17,50	701,80 702,18 705,75	703,24 ± 8,65	40,18
6,56	362,7 364,66 360,00	362,45 ± 2,34	55,17	7,73	348,58 342,22 338,36	343,05 ± 5,16	44,36
Экстрагент: 96% этанол							
Замороженное сырье				Высушенное сырье			
АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г	АСВ, %	ИАА, мг/100 мл экстракта	ИААср, мг/100 мл экстракта	ИАА, мг/г
9,66	470,85 470,85 456,80	466,17 ± 8,12	48,25	8,03	261,32 265,25 255,72	260,76 ± 4,78	32,47
11,83	616,14 611,54 611,65	613,11 ± 2,62	51,82	14,62	440,02 438,02 432,28	436,77 ± 9,86	29,87
7,03	337,51 329,8 334,34	333,88 ± 3,87	47,49	12,53	416,10 416,74 408,28	413,71 ± 4,71	33,01
14,32	719,25 735,90 725,23	726,79 ± 8,43	50,75	8,50	285,24 394,12 292,05	290,47 ± 4,64	34,09

Табличные данные свидетельствуют о хорошей воспроизводимости результатов, характеризующих антиоксидантный потенциал (ИААпр) фитоэкстрактов на основе как натуральных плодов аронии (табл. 1), так и после различных способов их консервирования и подтверждают предположение о влиянии обработки фитосырья на антиоксидантные свойства его извлечений, что более наглядно демонстрирует ниже представленный графический материал.

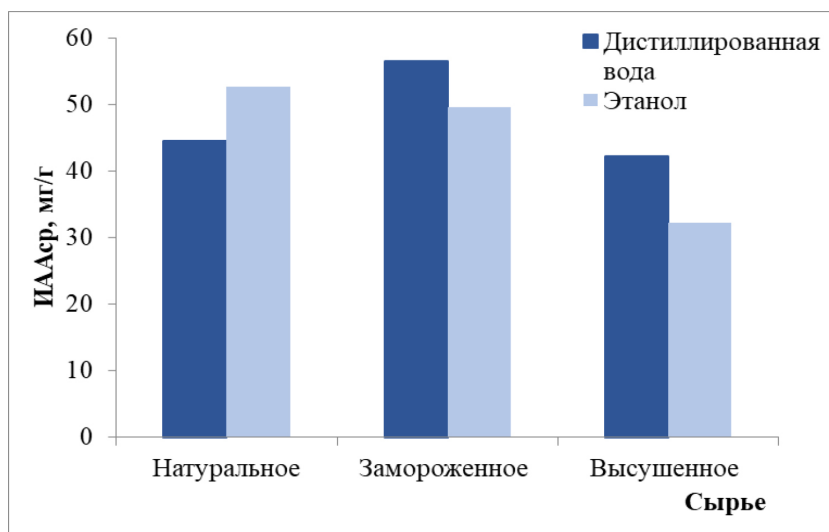


Рис. 5. Усредненные приведенные характеристики ИАА фитоэкстрактов

Анализ результатов по антиоксидантной активности извлечений из сушеных плодов аронии черноплодной показал, что данный способ при ранее указанном режиме консервации практически не влияет на антиокислительный потенциал водных экстрактов изучаемого фитосырья. Однако антиоксидантная активность спиртовых экстрактов в этом случаев среднем снижается на 34-38% по сравнению с этанольными извлечениями из натуральных и замороженных плодов аронии, что, вероятно, связано с превалированием термолабильных компонентов антиоксидантной системы *Aronia melanocarpa*, растворимых в этаноле.

При заморозке плодов аронии в стационарных морозильных камерах при температуре -18°C наблюдается значительное повышение антиоксидантной активности водных извлечений, что согласуется с литера-

турными данными [10], указывающими на рост содержания фенолов, флавоноидов в замороженных плодах, что обусловлено деструктивными процессами, происходящими в клетке в результате перехода свободной воды фитосырья в кристаллический лед. Более того, заморозка плодов индуцирует синтез ненасыщенных жирных кислот, обладающих антиоксидантной активностью [10]. Повреждение клеточной стенки способствует высвобождению клеточного содержимого, ускоряя процесс экстрагирования. Что касается спиртовых извлечений из замороженных плодов аронии, их антиоксидантная активность сопоставима с данными, относящимися к аналогичным экстрактам на основе натурального фитосырья.

Заключение

По результатам кулонометрического титрования электрогенерированным бромом водных и спиртовых экстрактов на основе нативного, замороженного и высушенного фитосырья были получены приведенные (соотнесенные к единице массы экстрактивных веществ в каждом опыте) характеристики антиоксидантной активности исследуемых фитоэкстрактов, согласно которым антиоксидантный потенциал спиртовых извлечений существенно выше водных.

Изучение антирадикальных свойств исследуемых извлечений выявило незначительное превышение антирадикальных характеристик водных фитоэкстрактов по сравнению со спиртовыми.

Экспериментально установленное расхождение в данных объясняется различным принципом методов: чувствительность различных методов к различным группам веществ.

Также получена хорошая согласованность по антиоксидантной активности водных извлечений, которую оценивали по стрессоустойчивости инфузорий *Paramecium caudatum* к стрессору - пероксиду водорода.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высокий антиоксидантный потенциал плодов аронии черноплодной, произрастающей на территории Республики Татарстан, а также предпочтительность замораживания исследованного фитосырья в качестве перспективного метода консервирования при целевом получении водных биологически активных препаратов.

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

Список литературы

1. Андреева В. Ю. и др. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной // Фармация. 2013. №. 3. С. 19-21.
2. Виноходов Д.О. Научные основы биотестирования с использованием инфузорий: автореф. дисс. д.б.н. СПб., 2007. С. 3-4.
3. Гареева Г. М., Хасанова Л. А., Хасанова З. М. Целебные свойства аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2018. №. 2. С. 36-38.
4. ГОСТ Р 54607.4-2015. Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 4. Методы определения влаги и сухих веществ. М., 2019. 8 с.
5. Казимова К. Ш., Растегаев Е. К., Щербакова Ю. В., Никитин Е. Н., Ахмадуллина Ф. Ю. Оценка влияния метода экстрагирования на антиоксидантную активность этанольных экстрактов плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) // Бутлеровские сообщения. 2022. Т. 72. № 12. С.170-175. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-12-170>
6. Казимова К.Ш., Сметанин Д.А., Ахмадуллина Ф.Ю., Щербакова Ю.В. Биологическая ценность плодов *Sorbus aucuparia* и *Aronia melanocarpa* // Химия и технология растительных веществ. Киров, 2022. С. 83.
7. Мелехова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева. М.: Академия, 2010. 288 с.
8. Рутин – стандартный образец. ТУ 9369-141-04868244-07. Технические условия.
9. Самыгин Г.А. Причины вымерзания растений. Москва: Наука, 1974. 192 с.
10. Стрюкова А. Д., Макарова Н. В. Замороженные ягоды—эффективный антиоксидант в течение всего года // Пищевая промышленность. 2013. №. 3. С. 28-31.
11. Щербакова Ю. В. и др. Метод биотестирования для контроля качества молочного сырья при промышленных режимах термообработки // Химическая безопасность. 2020. Т. 4. №. 2. С. 282-292. <https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
12. Щербакова Ю.В., Ахмадуллина Ф.Ю., Егорова Е.А. Перспективы использования метода гальваностатической кулонометрии для оценки интегральной антиоксидантной активности молока и кисломолочной продукции. Монография. Казань: КНИТУ, 2019. 128 с.
13. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. *Aronia melanocarpa* Flavonol Extract—Antiradical and Immunomodulating

- Activities Analysis // Plants. 2023. Vol. 12 (16), 2976. <https://doi.org/10.3390/plants12162976>
14. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. Antioxidative and Immunomodulating Properties of Aronia melanocarpa Extract Rich in Anthocyanins // Plants. 2022. Vol. 11 (23), 3333. <https://doi.org/10.3390/plants11233333>
 15. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Parfenov A., Sharonova N., Nikitin E., Zobov V. Radical Scavenging Actions and Immunomodulatory Activity of Aronia melanocarpa Propylene Glycol Extracts // Plants. 2021. Vol. 10 (11), 2458. <https://doi.org/10.3390/plants10112458>
 16. Jurikova T. et al. Fruits of black chokeberry Aronia melanocarpa in the prevention of chronic diseases // Molecules. 2017. Vol. 22, No. 6. P. 944. <https://doi.org/10.3390/molecules22060944>
 17. Kazimova K., Akhmadullina F, Shcherbakova Y, Nikitin E., Akulov A., Determination of Integral Antioxidant Activity of Phytoextracts on Rowan Fruits (Sorbus aucuparia) by Coulometric Titration // Asian Journal of Chemistry. 2022. Vol. 34, No. 11. P. 2989–2993. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23601>
 18. Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (Aronia melanocarpa)–A review on the characteristic components and potential health effects // Planta medica. 2008. Vol. 74, No. 13. P. 1625-1634. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088306>
 19. Mutha, R.E., Tatiya, A.U. & Surana, S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview // Futur. J. Pharm. Sci. 2021. Vol. 7, No. 25. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00161-8>
 20. Sirotina K., Kazimova K., Shcherbakova Y., Akhmadullina F., Nikitin E. Study of the antioxidant activity of rowan extracts (Sorbus aucuparia) by biotesting method // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2022, Vol. 949, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032>

References

1. Andreeva V.Yu. et al. Methodology for the determination of anthocyanins in the fruits of chokeberry. *Pharmacia*, 2013, no. 3, pp. 19-21.
2. Vinokhodov D.O. *Scientific bases of biotesting with the use of infusoria*. SPb., 2007, pp. 3-4.
3. Gareeva G. M., Khasanova L. A., Khasanova Z. M. Healing properties of chokeberry (Aronia melanocarpa). *Bulletin of M. Akmulla Bashkir State Pedagogical University*, 2018, no. 2, pp. 36-38.
4. GOST R 54607.4-2015. Public catering services. Methods of laboratory control of public catering products. Part 4. Methods for the determination of moisture and dry matter. M., 2019, 8 p.

5. Kazimova K. Sh., Rastegaev E. K., Shcherbakova Y. V., Nikitin E. N., Akhmadullina F. Yu. Evaluation of the influence of the extraction method on the antioxidant activity of ethanol extracts of fruits of chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *Butler Communications*, 2022, vol. 72, no. 12, pp.170-175. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/22-72-12-170>
6. Kazimova K.Sh., Smetanin D.A., Akhmadullina F.Yu., Shcherbakova Yu.V. Biological value of *Sorbus aucuparia* and *Aronia melanocarpa* fruits. *Chemistry and technology of plant substances*. Kirov, 2022, p. 83.
7. Melekhova O.P. *Biological control of the environment: bioindication and biotesting* / O.P. Melekhova, E.I. Sarapultseva. Moscow: Academy, 2010, 288 p.
8. Rutin - standard sample. TOU 9369-141-04868244-07. Technical conditions.
9. Samygin G.A. *Causes of plant extinction*. Moscow: Nauka, 1974, 192 p.
10. Stryukova A. D., Makarova N. V. Frozen berries-effective antioxidant throughout the year. *Food Industry*, 2013, no. 3, pp. 28-31.
11. Scherbakova Yu. V. et al. Biotesting method for quality control of dairy raw materials under industrial modes of heat treatment. *Chemical Safety*, 2020, vol. 4, no. 2, pp. 282-292. <https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020>
12. Scherbakova Y.V., Akhmadullina F.Y., Egorova E.A. *Prospects of using the method of galvanostatic coulometry to assess the integral antioxidant activity of milk and sour-milk products*. Monograph. Kazan: KNITU, 2019, 128 p.
21. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. *Aronia melanocarpa* Flavonol Extract—Antiradical and Immunomodulating Activities Analysis. *Plants*, 2023, vol. 12 (16), 2976. <https://doi.org/10.3390/plants12162976>
22. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Nikitin E., Zobov V. Antioxidative and Immunomodulating Properties of *Aronia melanocarpa* Extract Rich in Anthocyanins. *Plants*, 2022, vol. 11 (23), 3333. <https://doi.org/10.3390/plants11233333>
23. Bushmeleva K., Vyshtakalyuk A., Terenzhev D., Belov T., Parfenov A., Sharonova N., Nikitin E., Zobov V. Radical Scavenging Actions and Immunomodulatory Activity of *Aronia melanocarpa* Propylene Glycol Extracts. *Plants*, 2021, vol. 10 (11), 2458. <https://doi.org/10.3390/plants10112458>
24. Jurikova T. et al. Fruits of black chokeberry *Aronia melanocarpa* in the prevention of chronic diseases. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 6, p. 944. <https://doi.org/10.3390/molecules22060944>
25. Kazimova K., Akhmadullina F, Shcherbakova Y, Nikitin E., Akulov A., Determination of Integral Antioxidant Activity of Phytoextracts on Rowan Fruits (*Sorbus aucuparia*) by Coulometric Titration. *Asian Journal of Chemistry*, 2022, vol. 34, no. 11, pp. 2989–2993. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2022.23601>

26. Kulling S. E., Rawel H. M. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*)—A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta medica*, 2008, vol. 74, no. 13, pp. 1625-1634. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1088306>
27. Mutha, R.E., Tatiya, A.U. & Surana, S.J. Flavonoids as natural phenolic compounds and their role in therapeutics: an overview. *Futur. J. Pharm. Sci.*, 2021, vol. 7, no. 25. <https://doi.org/10.1186/s43094-020-00161-8>
28. Sirotina K., Kazimova K., Shcherbakova Y., Akhmadullina F., Nikitin E. Study of the antioxidant activity of rowan extracts (*Sorbus aucuparia*) by biotesting method. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2022, vol. 949, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Казимова Камила Шухратовна, младший научный сотрудник лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства

*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова
ФИЦ Казанский научный центр РАН*

*ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан, Российская Федерация
camilakazimova@yandex.ru*

Растегаев Егор Константинович, инженер-исследователь кафедры «Теоретических основ теплотехники»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

*ул. Карла Маркса, 68, г. Казань, 420029, Республика Татарстан, Российская Федерация
alecvolturil@yandex.ru*

Ахмадуллина Фарида Юнусовна, старший преподаватель кафедры «Промышленной биотехнологии»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация

AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru

Щербакова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Промышленной биотехнологии»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация

balakirevajulia3@mail.ru

Шуматбаев Георгий Геннадьевич, инженер исследователь лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН

ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан, Российская Федерация

g-shumatbaev@mail.ru

Закиров Рустем Каюмович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленной биотехнологии»

Казанский национальный исследовательский технологический университет

ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация

zakrus@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kamila Sh. Kazimova, Junior Researcher, Laboratory of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture

Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation

camilakazimova@yandex.ru

SPIN-code: 9769-3201

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5442-0620>

ResearcherID: HGU-5633-2022

Scopus Author ID: 57433671500

Egor K. Rastegaev, Research Engineer at the Department of Theoretical Fundamentals of Heat Engineering

Kazan National Research Technological University

68, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

alecvolturi1@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0031-8468>

Farida Yu. Akhmadullina, Senior Lecturer at the Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6538-5616>

Yulia V. Shcherbakova, PhD in Biological sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

balakirevajulia3@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7534-7119>

Georgiy G. Shumatbaev, Research Engineer of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture

Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences

8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation

g-shumatbaev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1199-3178>

ResearcherID: A-7886-2019

Scopus Author ID: 56471945300

Rustem K. Zakirov, PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Department of Industrial Biotechnology

Kazan National Research Technological University

72, Karla Marksa, Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation

zakrus@mail.ru

SPIN-code: 6512-3102

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3771-4077>

Scopus Author ID: 8933764000

Поступила 18.01.2024

После рецензирования 13.03.2024

Принята 01.04.2024

Received 18.01.2024

Revised 13.03.2024

Accepted 01.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-916

УДК 57.577.15:595.773:632.95.025.8



Научная статья

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ АКТИВНОСТИ ГЛУТАТИОН-S-ТРАНСФЕРАЗЫ У *MUSCA DOMESTICA* L.

К.Ю. Маслакова, Л.Я. Янгирова, Е.А. Силиванова

Обоснование. Являясь носителем множества патогенов, комнатная муха *Musca domestica* L. может представлять серьезные угрозы для здоровья человека и животных. *M. domestica* хорошо подходит в качестве модельного организма для изучения физиологии и биохимии насекомых, механизмов формирования инсектицидной резистентности, а также разработки и испытаний действия инсектицидов. Во всем мире обеспокоены проблемой устойчивости насекомых к инсектицидам, в связи с этим изучение ферментов насекомых очень важно для более полного понимания механизмов, лежащих в основе устойчивости к инсектицидным препаратам.

Цель. Изучить онтогенетический профиль активности глутатион-S-трансферазы у *Musca domestica* L.

Материалы и методы. Активность глутатион-S-трансферазы определяли на разных стадиях онтогенетического развития *M. domestica* у лабораторных (ТУ и UF) линий и природных (Nov и Nik) популяций с использованием субстрата 1-хлор-2,4-динитробензола при 340 нм в режиме кинетика. Удельную активность рассчитывали с учетом неферментативного преобразования субстрата, фактора разведения гомогената, содержания белка в пробе и выражали как изменение оптической плотности за 1 минуту на мг белка.

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют об изменениях в активности глутатион-S-трансферазы в процессе жизненного цикла *M. domestica*, как у лабораторных линий, так и у природных популяций. Различия наблюдаются между разными стадиями онтогенетического развития. Активность фермента у ТУ линии выше, чем у UF линии практически на всех стадиях жизненного цикла насекомого. Среди природных активность выше у Nov популяции.

Заключение. Выявленные отличия между особями природных популяций, скорее всего, обусловлены разной инсектицидной нагрузкой в местах сбора

насекомых. Отличия между особями лабораторных линий и природных популяций могут быть опосредованы разным набором генетической информации, передающейся из поколения в поколение. Связано это может быть с экспрессией отдельных изоформ, поскольку на экспрессию ферментов могут влиять различные факторы, в том числе и факторы окружающей среды, так что на генетическом уровне могут быть выбраны качественно различные формы и дифференциально экспрессированы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке программ по контролю численности насекомых.

Ключевые слова: комнатная муха; онтогенез; фермент; антиоксидантная система; окислительный стресс; инсектицидная резистентность

Для цитирования. Маслакова К.Ю., Янгирова Л.Я., Силиванова Е.А. Онтогенетический профиль активности глутатион-S-трансферазы у *Musca domestica* L. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 60-79. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-916

Original article

ONTOGENETIC PROFILE OF THE GLUTATHIONE S-TRANSFERASE ACTIVITY IN *MUSCA DOMESTICA* L.

K. Yu. Maslakova, L. Ya. Yangirova, E. A. Silivanova

Background. *Musca domestica* L. can transmit pathogens, and therefore poses serious threats to human and animal health. *M. domestica* is known as a model organism for studying the physiology and biochemistry of insects, the mechanisms of insecticidal resistance, as well as the development and testing of insecticides. The issue of insecticide resistance in insects is a concern all over the world; therefore, the study of insect enzymes is very important for a more complete understanding of the mechanisms underlying resistance to insecticides.

Purpose. To study the ontogenetic profile of glutathione-S-transferase activity in *Musca domestica* L.

Materials and methods. The glutathione-S-transferase activity was determined in *M. domestica* of laboratory (TY and UF) and field (Nov and Nik) strains at different ontogenetic stages. 1-Chloro-2,4-dinitrobenzene was used as the substrate and the optical density was recorded at 340 nm in kinetic mode. Specific activity was calculated taking into account the non-enzymatic transformation of the substrate,

the dilution factor of the homogenate, and the protein content in the sample and was expressed as the change in optical density in 1 minute per mg of protein.

Results. The results obtained indicate changes in glutathione-S-transferase activity during the life cycle of *M. domestica*, both in laboratory and in field strains. Differences are observed between different stages of ontogenetic development. The enzyme activity in insects of the Lab TY strain was higher than that of the UF strain at almost all stages of the insect life cycle. For field strains, the GST activity was higher in specimens of the Nov strain compared to that of the Nik strain.

Conclusion. The differences of the GST activities in flies between two field strains may be due to differences in insecticidal load in the insect catching locations. The identified differences between flies of the laboratory and field strains may be associated with different genetic information. This may be related to the expression of certain enzyme isoforms, since the expression of enzymes can be influenced by various factors, including environmental factors, so that qualitatively different forms can be selected at the genetic level and differentially expressed. The results can be applied to the design of insect population management programs.

Keywords: housefly; ontogenesis; enzyme; antioxidant system; oxidative stress; insecticidal resistance

For citation. Maslakova K.Yu, Yangirova L.Ya., Silivanova E.A. Ontogenetic Profile of the Glutathione-S-Transferase Activity in *Musca domestica* L. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 60-79. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-916

Введение

Комнатная муха *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) – синантропное насекомое, являющееся переносчиком более 100 различных заболеваний [9]. Являясь носителем множества патогенов, *M. domestica* может представлять большую опасность как для людей, так и для животных [9; 18]. Устойчивость к инсектицидам среди популяций комнатных мух является серьезной проблемой, с которой сталкиваются во всем мире [7]. В связи с этим, изучение ферментных систем насекомых очень важно для понимания механизмов, которые лежат в основе устойчивости к инсектицидам.

Насекомые обладают набором различных поведенческих, биохимических, физиологических, генетических и метаболических механизмов для борьбы с токсичными химическими веществами, что может приводить к устойчивости [22]. Глутатион-S-трансферазы (GSTs) (EC 2.5.1.18) – это разнообразное семейство ферментов, повсеместно встречающихся в аэробных организмах [6]. GSTs катализируют реакцию конъюгации восста-

новленного глутатиона с широким спектром электрофильных соединений [19, 10]. Большой интерес к GSTs насекомых обусловлен, разумеется, их влиянием на метаболизм инсектицидов и развитие к ним устойчивости, поскольку это семейство ферментов играет решающую роль в детоксикации инсектицидных препаратов и ксенобиотиков [17]. На сегодняшний день активность GST связана с устойчивостью ко всем основным классам инсектицидов [20]. Помимо этого, фермент также может принимать участие во внутриклеточном транспорте, биосинтезе гормонов и защите от окислительного стресса [6]. В суперсемействе GST выделяют три субсемейства изоформ: цитозольные, митохондриальные и микросомальные [2]. Аннотация геномов *Anopheles gambiae* и *Drosophila melanogaster* выявила полный спектр семейства ферментов GST у насекомых [6]. У насекомых встречаются цитозольные и микросомальные GST [6]. Цитозольные GSTs хорошо охарактеризованы и разделены на шесть классов: Theta, Zeta, Omega, Sigma, Delta и Epsilon [21]. Delta и Epsilon специфичны для насекомых [8]. Два этих класса участвуют в нейтрализации токсинов окружающей среды и играют важную роль в адаптации насекомых к окружающей среде [6; 21]. Уровни отдельных ферментов могут сильно варьироваться на протяжении всей жизни насекомого. Известно об изменении активности GST у беспозвоночных в зависимости от возраста [19].

Цель работы. Изучить онтогенетический профиль активности глутатион-S-трансферазы у *M. domestica* L.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на лабораторных культурах и природных популяциях *M. domestica*. Лабораторные культуры Тюменской (Lab TY) и Уфимской (Lab UF) линий получены из Новосибирского аграрного университета в 2009 году и из лаборатории биохимии адаптивности насекомых Института биохимии и генетики УФИЦ РАН в 2023 году, соответственно. Особи природных популяций Nov и Nik были отловлены в мае-сентябре в 2023 года в животноводческих помещениях ООО «Новиково» (с. Новикова, Исетский район) и СПК «Таволжан» (с. Никулино, Сладковский район) Тюменской области соответственно, в работе были использованы особи первого поколения, полученного в условиях инсектария. Активность GST определяли на разных стадиях онтогенетического развития насекомого: яйца (Eg), личинки I, II и III возраста (суточные личинки (L1), личинки 3-4 суток (L3-4) и 5-6 суток (L5-6) соответственно), куколки (Pup), суточные окрыленные особи (Adult1) и имаго в возрасте

5-6 дней с разделением по полу (AdultF и AdultM) (рисунок 1). Культивирование и содержание насекомых осуществляли согласно правилам, изложенным Беньковской Г. В. [1].

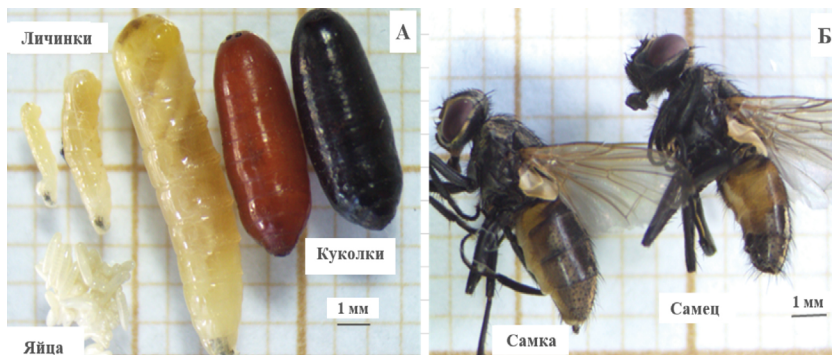


Рис. 1. *M. domestica* на преимагинальных (А) и имагинальной (Б) стадиях развития под микроскопом стерео MC-2-Zoom, видеоокуляр TourCam UCMOS05100KPA, увеличение WF 20×.

Гомогенизацию тканей осуществляли на лабораторном гомогенизаторе Bioprep-24R (Allsheng, Китай) при +4°C. В качестве среды выделения использовали 0,1M фосфатный буфер pH 7,6, содержащий 1mM EDTA, 1mM PTU, 1mM PMSF, 1mM DTE и Triton-X100. Полученные гомогенаты центрифугировали при 12000 g в течение 2 мин, а затем отбирали супернатант для дальнейших исследований. Активность GST определяли в 96-луночных микропланшетах (MiniMed, Россия) на микропланшетном фотометре Multiskan FC (Thermo Fisher Scientific Inc., Финляндия) при 340 нм в режиме кинетика. В качестве субстрата использовали CDNB (1-хлор-2,4-динитробензол). Рассчитывали удельную активность с учетом неферментативного преобразования субстрата, фактора разведения гомогената, содержания белка в пробе и выражали как изменение оптической плотности за 1 минуту на мг белка ($\Delta OD/\text{мин}/\text{мг}$ белка). Расчет осуществляли при помощи программы для обработки результатов определения активности глутатион-S-трансферазы (FAGT) [3]. Количественное содержание белка определяли методом Lowry О. Н. [16]. Статистическая обработка включала вычисление среднего значения и стандартного отклонения, и использование двустороннего дисперсионного анализа ANOVA с применением критерия Данна для множественных сравнений ($p \leq 0,05$).

Результаты исследования

Активность GST у *M. domestica* UF линии варьировала от $1,62 \pm 0,28$ до $3,68 \pm 0,88$, у TY – от $2,53 \pm 0,29$ до $4,82 \pm 0,44$ (ΔOD/мин/мг белка ± ст. откл). Наименьшая активность была зарегистрирована на стадии L1 у обеих лабораторных линий. Пик активности фермента у UF линии наблюдался на стадии L5-6. У TY линии наиболее высокие значения зафиксированы на стадии Pup, а затем наблюдалось резкое снижение активности у суточных особей и нарастание активности у 5-6 суточных имаго (рисунок 2).

Статистически значимое увеличение активности фермента по сравнению со стадией Eg было обнаружено на следующих стадиях развития *M. domestica* UF линии: L5-6 – в 1,82 раз; Pup – в 1,79 раз; Adult1 – в 1,44 раз; AdultF – в 1,63 раз; AdultM – в 1,61 раз. Обнаружено возрастание активности фермента по сравнению с L1 на следующих стадиях: L5-6 – в 2,28 раз; Pup – в 2,25 раз; Adult1 – в 1,81 раз; AdultF – в 2,04 раз; AdultM – в 2,01 раз. Также, возрастание активности наблюдалось и в сравнении с L3-4 на стадиях: L5-6 – в 1,67 раз; Pup – в 1,65 раз; Adult1 – в 1,33 раз; AdultF – в 1,50 раз; AdultM – в 1,48 раз. У Adult1 по сравнению со стадией Pup активность GST снизилась в 1,25 раз.

У TY линии *M. domestica* обнаружено статистически значимое увеличение активности фермента по сравнению со стадией Eg на следующих стадиях: L3-4 – в 1,52 раз; Pup – в 1,75 раз; AdultF – в 1,30 раз; AdultM – в 1,50 раз. Обнаружено возрастание активности по сравнению с L1 на следующих стадиях: L3-4 – в 1,66 раз; Pup – в 1,90 раз; AdultF – в 1,41 раз; AdultM – в 1,64 раз. Активность GST на стадии L5-6 достоверно ниже по сравнению с: L3-4 – в 1,47 раз; Pup – в 1,69 раз; AdultF – в 1,25 раз; AdultM – в 1,45 раз. На стадии Adult1 наблюдается снижение активности GST по сравнению со стадией L3-4 в 1,39 раз. Снижение активности наблюдается на стадиях Adult1 и AdultF в сравнении со стадией Pup в 1,60 раз и в 1,35 раз соответственно. Зафиксировано возрастание активности у AdultM в 1,38 раз по сравнению с Adult1.

Активность GST у *M. domestica* Nov популяции варьировала от $1,52 \pm 0,08$ до $4,61 \pm 0,82$, у Nik – от $1,92 \pm 0,20$ до $3,91 \pm 0,39$ (ΔOD/мин/мг белка ± ст. откл). У обеих природных популяций пик активности наблюдался у AdultF, а наименьшая активность была зарегистрирована у L1. У Nov популяции активность GST нарастала со стадии L1 до L5-6, затем снижалась до Adult1 и резко возрастала у AdultF. У Nik популяции наблюдалась аналогичная зависимость (рисунок 2).

Статистически значимое увеличение активности фермента по сравнению со стадией Eg было обнаружено на следующих стадиях развития *M. domestica* Nik популяции: L3-4 – в 1,41 раз; L5-6 – в 1,51 раз; Pup – в 1,46

раз; Adult1 – в 1,41 раз; AdultF в – 1,63 раз; AdultM в – 1,55 раз. Активность GST была достоверно выше по сравнению с L1 на стадиях: L3-4 – в 1,76 раз; L5-6 – в 1,88 раз; Pup – в 1,82 раз; Adult1 – в 1,76 раз; AdultF – в 2,04 раз; AdultM – в 1,94 раз. Отмечено достоверное возрастание активности на стадии AdultF в сравнении со стадией L3-4 в 1,16 раз. Увеличение активности фермента в сравнении с Adult1 зарегистрировано у AdultF – в 1,16 раз.

У Nov популяции *M. domestica* достоверное увеличение GST зарегистрировано на следующих стадиях в сравнении со стадией Eg: L3-4 – в 1,37 раз; L5-6 – в 1,71 раз; Pup – в 1,42 раз; Adult1 – в 1,37 раз; AdultF – в 1,82 раз; AdultM – в 1,80 раз. Активность фермента достоверно выше по сравнению с L1 на стадиях: L3-4 – в 2,28 раз; L5-6 – в 2,86 раз; Pup – в 2,37 раз; Adult1 – в 2,30 раз; AdultF – в 3,04 раз; AdultM – в 3,01 раз. Наблюдается достоверное увеличение активности GST по сравнению с L3-4: L5-6 – в 1,25 раз; AdultF – в 1,33 раз; AdultM – в 1,32 раз. Обнаружено снижение активности по сравнению со стадией L5-6: Pup – в 1,20 раз; Adult1 – в 1,24 раз. Наблюдается увеличение активности GST у AdultF в 1,28 раз, а у AdultM в 1,27 раз в сравнении со стадией Pup. Увеличивается GST и на стадии AdultF (в 1,32 раз) и AdultM (в 1,31 раз) по сравнению с Adult1.

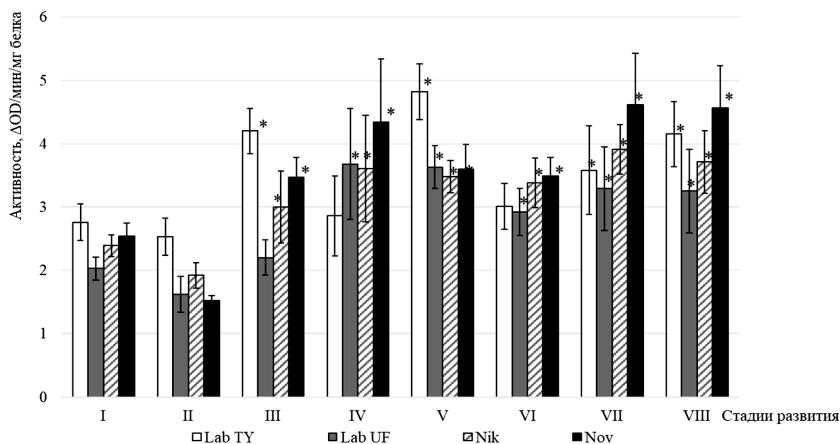


Рис. 2. Удельная активность глутатион-S-трансферазы у *M. domestica* лабораторных линий и природных популяций на разных стадиях развития (ΔOD/мин/мг белка ± S.D.). Стадии развития: I - яйцо, II - личинка 1 сут, III - личинка 3-4 сут, IV - личинка 5-6 сут, V - куколка, VI - имаго 1 сут, VII - имаго самки 5-6 сут, VII - имаго самцы 5-6 сут. Звездочкой обозначены статистически значимые отличия по сравнению со стадией яйца аналогичной линии (p<0,05, критерий Данна).

На рисунке 3 активность GST показана в виде цветовой схемы, где отчетливо можно увидеть разницу в активности фермента между линиями/популяциями на разных стадиях развития *M. domestica*.

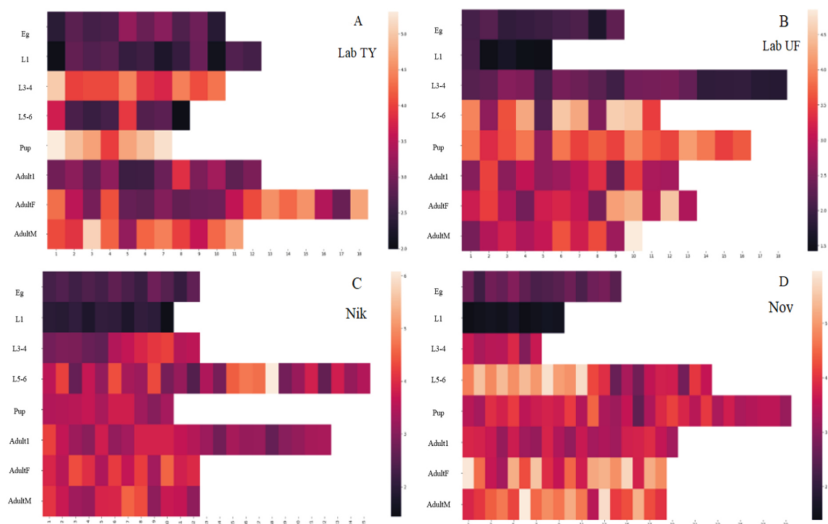


Рис. 3. Активность GST у особей *M. domestica* на разных стадиях развития:

А – лабораторная TY линия ; В – лабораторная UF линия; С – природная популяция Nik; D – природная популяция Nov. Ось ординат – стадии развития, ось абсцисс – номера проб; интенсивность цвета отражает значение активности (наиболее темный цвет соответствует наименьшему значению).

Нами также была проведена сравнительная оценка всех стадий развития между лабораторными линиями и природными популяциями по критерию Данна ($p \leq 0,05$). Обнаружены статистически достоверные различия на стадии Eg между: Nik и TY; Nik и UF; Nov и UF; TY и UF. На стадии L1 между: Nik и Nov; Nik и TY; Nov и TY; TY и UF. На стадии L3-4 между: Nik и TY; Nik и UF; Nov и UF; TY и UF. На стадии L5-6 между: Nik и Nov; Nik и TY; Nov и TY. На стадии Pup между: Nik и TY; Nov и TY; TY и UF. На стадии Adult1 между: Nik и TY; Nik и UF; Nov и TY; Nov и UF. На стадии AdultF между: Nik и UF; Nov и TY; Nov и UF. На стадии AdultM между: Nik и Nov; Nov и UF; TY и UF.

Обсуждение

Изменение активности ферментов детоксикации в онтогенезе насекомых определяет их способность адаптироваться к инсектицидной нагрузке

на разных стадиях своего развития [23; 24]. Значительную роль в устойчивости к инсектицидам могут играть также ферменты антиоксидантной системы. Результаты исследования Kolawole A. O. с соавторами [13] подтверждают гипотезу о том, что антиоксидантные системы модулируются в ответ на цитотоксичность, опосредованную окислительным стрессом от инсектицидов. Результаты нашего исследования показали, что активность GST изменяется в процессе развития *M. domestica* как в лабораторной, так и природной среде обитания.

В более ранних работах [4] для *M. domestica* описаны изменения в активности некоторых антиоксидантных ферментов на протяжении онтогенетического развития. Было показано, что активность S-трансфераз примерно в 3 раза выше во время второго личиночного возраста, чем в яйцах. В дальнейшем активность фермента уменьшалась и оставалась относительно низкой. Повторное снижение активности наблюдалось по завершении метаморфоза. Результаты нашего исследования показывают, что активность GST в L3-4 TY линии возросла в 1,52 раза по сравнению со стадией яйца. У особей UF линии данной стадии развития достоверных отличий не обнаружено. Касаясь природных популяций, у L3-4 Nov активность фермента возросла в 1,37 раз по сравнению со стадией яйца, а у L3-4 Nik – в 1,41 раз. Papadopoulos A. I. с соавторами [19] исследовали характер активности GST в процессе развития *Apis mellifera macedonica* L. Было обнаружено, что активность фермента присутствует на всех стадиях развития. Самая высокая активность наблюдалась во взрослой стадии, а самая низкая – в яйце. Кинетические характеристики фермента также изменяются по мере развития насекомого. Авторами было выдвинуто предположение, что увеличение активности GST у взрослых *A. mellifera* может быть вызвано экспрессией отдельных изоформ фермента, что, возможно, связано с изменением кормовой базы взрослой особи, периодом размножения и/или другими факторами. Это предположение также может быть уместно в отношении объекта нашего исследования – *M. domestica*.

Уровень активности GST у Уфимской линии *M. domestica* возрастает до стадии L5-6, а затем наблюдается постепенное снижение ферментативной активности. Такое возрастание активности может быть связано с переходом из личиночной стадии в стадию куколки. Личинки запасают достаточное количество питательных веществ, которые требуются для перестройки тканей и органов. Kaleka A. S. с соавторами [12] сообщает, что на стадиях развития личинки потребляют больше пищи, чтобы ускорить переход во взрослую форму. Куколка же не питается, поэтому энергию для жизнео-

беспечения она должна получать из той пищи, которую она потребляла, будучи личинкой, поэтому у личинок уровень антиоксидантов имеет решающее значение для последующих стадий развития.

В исследовании Dmochowska-Ślęzak K. с соавторами [5] изучалась способность *Osmia bicornis* L. инактивировать свободные радикалы во время развития насекомых. Исследование проводили на самцах и самках пчел от личиночной стадии до имаго. Определяли активность супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы, глутатион-S-трансферазы, а также содержание глутатиона и общий антиоксидантный статус. Было показано, что наибольшие значения изучаемых показателей обнаруживались на стадиях питания – у личинок и у активных имаго обоих полов. Высокие уровни активности ферментов у имаго *O. bicornis* авторы объясняют усилением митохондриальной активности из-за высоких энергетических потребностей на этой стадии, особенно во время полета. Результаты нашего исследования указывают на достаточно высокую активность GST у L5-6 и имаго в сравнении со стадиями Eg, L1 и L3-4 у обеих природных популяций. Наблюдается снижение активности на стадии куколки, а затем нарастание у имаго.

Исследование Wongtrakul J. [25] демонстрирует, что изоформы GST одного и того же класса могут иметь совершенно разную субстратную специфичность. Kostaropoulos I. с соавторами [14] изучена онтогенетическая картина суммарной активности GST у *Tenebrio molitor* по отношению к трем различным субстратам. Исследование показало, что различные изоформы фермента проявляют разные, хотя и частично перекрывающиеся, субстратные специфичности. Наибольшая активность фермента обнаруживалась на стадии куколки, что можно объяснить следующим. Куколки сами по себе неподвижны, поэтому они являются наиболее уязвимыми к неблагоприятным условиям окружающей среды. Данная стадия характеризуется повышенным биосинтезом, следовательно, высокая ферментативная активность может означать высокую способность к детоксикации, и как следствие, защиту важных путей биосинтеза от ингибирования токсичными эндо- и экзогенными веществами. В нашей работе пик активности GST у обеих природных популяций был зарегистрирован не на стадии куколки, а у взрослых особей – самок 5-6 сутки. Наименьшая активность была зафиксирована у суточных личинок также у обеих природных популяций.

В исследовании Sahoo A. с соавторами [21] проведена оценка состояния антиоксидантной защиты во время личиночного развития *Antheraea mylitta*. Результаты работы указывают на прогрессивное снижение окислительной угрозы во время личиночного онтогенеза. Высокая активность супероксид-

дисмутазы и каталазы, наблюдаемая у личинок 1-го возраста, указывает на адаптивный антиоксидантный ответ. Предполагается, что ранние личинки (1-3 возрастные стадии) подвергаются значительной прооксидантной атаке и получают защиту от ферментативных антиоксидантов. Напротив, более взрослые личинки получают комбинированную защиту от ферментативных и неферментативных антиоксидантов. Авторы также предполагают, что окислительный стресс во время развития личинок *A. mylitta* зависит от стадии и, соответственно, антиоксидантная защита играет стратегическую роль в обеспечении защиты развивающихся личинок.

Результаты нашего исследования показывают, что активность GST у ТУ линии выше, чем у UF линии практически на всех стадиях жизненного цикла насекомого. Среди природных популяций активность выше у Nov. Наблюдаемые различия, по нашему мнению, могут быть опосредованы разным набором генетической информации лабораторных линий и природных популяций, передающейся из поколения в поколение. Связано это может быть с экспрессией отдельных изоформ, поскольку на экспрессию ферментов могут влиять различные факторы, в том числе инсектициды и факторы окружающей среды, так что на генетическом уровне могут быть выбраны качественно различные формы и дифференциально экспрессированы. У насекомых подтверждена индуцированная экспрессия генов GST. Так, например, показано, что у *Spodopteralitura* уровни транскрипции нескольких генов GST значительно повышались после воздействия хлорпирифоса [26].

Универсальным электрофильным субстратом для всех классов GST является CDNB, однако, каждый класс может различаться по своей аффинности или специфической активности по отношению к данному конкретному субстрату [11]. В работе Kostaropoulos I. [15] у *Tenebrio molitor* профили онтогенетической активности субстратов DCNB и CDNB были сходны, активность GST оставалась неизменной на личиночной стадии и достигала максимума у только что появившихся куколок. После этого конъюгирующая активность фермента с DCNB начала неуклонно снижаться, а конъюгирующая активность с CDNB оставалась постоянной на протяжении всей стадии куколки, за которой последовало снижение во взрослой фазе. Два насекомых (*Lucilia cuprina* и *Aedes aegypti*) демонстрируют сходную онтогенетическую модель с найденной для *Tenebrio molitor*, то есть наибольшая активность GST проявляется на стадии куколки. Объясняют это двояко: во-первых, тем, что куколки неподвижны и, следовательно, более уязвимы к неблагоприятным условиям внешней среды, в том числе и к присутствию токсических веществ; во-вторых, по-

вышенный биосинтез и строительство взрослых тканей на стадии куколки [25] и, следовательно, высокая специфическая активность могут означать высокую способность к детоксикации и, как следствие, защиту важных и решающих путей биосинтеза от ингибирования экзо- или эндогенными токсическими веществами.

Заключение

Результаты исследования указывают на изменение активности глутатион-S-трансферазы на разных стадиях жизненного цикла *M. domestica* как лабораторной линии, так и природной популяции, что может влиять на способность насекомых адаптироваться к инсектицидной нагрузке на разных стадиях развития [25]. Согласно полученным результатам, у особей природной популяции Nov (у личинок 5-6 сут и имаго) активность GST была выше, чем у представителей лабораторных линий и природной популяции Nik, а лабораторная линия Lab UF отличалась наименьшей активностью фермента, что было статистически значимо на стадиях яйца, личинки 3-4 сут и имаго. Выявленные отличия между особями природных популяций, скорее всего, обусловлены разной инсектицидной нагрузкой в местах сбора насекомых и изменением экспрессии отдельных изоформ исследуемого фермента. Дальнейшие наши исследования будут нацелены: на оценку полиморфизма генов, кодирующих глутатион-S-трансферазу, и изучение изоформ исследуемого фермента на разных стадиях жизненного цикла комнатной мухи; а также на изучение более широкого спектра ферментов детоксикации и антиоксидантной системы в онтогенезе. Согласно полученным ранее результатам и результатам данной работы, комнатные мухи наиболее восприимчивы к действию токсикантов на стадии яйца и личинки I возраста.

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

Информация о финансировании. Работа выполнена Всероссийским научно-исследовательским институтом ветеринарной энтомологии и арахнологии ТюмНЦ СО РАН в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FWRZ-2022-0022).

Список литературы

1. Беньковская Г. В. Принципы содержания лабораторных линий насекомых // Биомика. 2017. Т. 9. № 1. С. 24-32.

2. Калинина Е. В., Чернов Н. Н., Новичкова М. Д. Роль глутатиона, глутатион-трансферазы и глутаредоксина в регуляции редокс-зависимых процессов // Успехи биологической химии. 2014. Т. 54. С. 299-384.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023617030. FAGT / Л. Я. Янгирова. – Заявка №2023615987. Дата поступления 28 марта 2023 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 4 апреля 2023 г.
4. Allen R. G., Oberley L. W., Elwell J. H. Developmental patterns in the antioxidant defenses of the housefly, *Musca domestica* // Journal of Cellular Physiology, 1991, vol. 146, no. 2, pp. 270-276. <https://doi.org/10.1002/jcp.1041460212>
5. Dmochowska-Ślęzak K., Giejdasz K., Fliszkiewicz M., Żółtowska K. Variations in antioxidant defense during the development of the solitary bee // *Osmia bicornis*. Apidologie, 2015, vol. 46, no. 4, pp. 432-444. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0333-y>
6. Enayati A. A., Ranson H., Hemingway J. Insect glutathione transferases and insecticide resistance // Insect Molecular Biology, 2005, vol. 14, no. 1, pp. 3-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2004.00529.x>
7. Freeman J. C., Ross D. H., Scott J. G. Insecticide resistance monitoring of house fly populations from the United States // Pesticide Biochemistry and Physiology, 2019, vol. 158, pp. 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.04.006>
8. Friedman R. Genomic organization of the glutathione S-transferase family in insects // Molecular Phylogenetics and Evolution, 2011, vol. 61, no. 3, pp. 924-932. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.08.027>
9. House Fly (Diptera: Muscidae): Biology, Pest Status, Current Management Prospects, and Research Needs / Geden C. J., Nayduch D., Scott J. G., Burgess E. R., IV, Gerry A. C., Kaufman P. E., Thomson J., Pickens V., Machtinger E. T. // Journal of Integrated Pest Management, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 1-38. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa021>
10. Detection and functional characterization of sigma class GST in *Phlebotomus argentipes* and its role in stress tolerance and DDT resistance / Hassan F., Singh K. P., Ali V., Behera S., Shivam P., Das P., Dinesh D. S. // Scientific Reports, 2019, vol. 9, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56209-0>
11. Molecular Evolution of the Glutathione S-Transferase Family in the *Bemisia tabaci* Species Complex / Harari O. A., Santos-Garcia D., Musseri M., Moshitzky P., Patel M., Visendi P., Seal S., Sertchook R., Malka O., Morin S. // Genome Biology and Evolution, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 3857-3872. <https://doi.org/10.1093/gbe/evaa002>
12. Larval Development and Molting / Kaleka A. S., Kaur N., Kour Bali G. Edible Insects, 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85530>

13. Kolawole A. O., Olajuyigbe F. M., Ajele J. O., Adedire C. O. Activity of the Antioxidant Defense System in a Typical Bioinsecticide-and Synthetic Insecticide-treated Cowpea Storage Beetle *Callosobrochus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae) // International Journal of Insect Science, 2014, vol. 6, pp. 99-108. <https://doi.org/10.4137/IJIS.S19434>
14. Kostaropoulos I., Mantzari A. E., Papadopoulos A. I. Alterations of some glutathione S-transferase characteristics during the development of *Tenebrio molitor* (Insecta: Coleoptera) // Insect Biochemistry and Molecular Biology, 1996, vol. 26, no. 8-9, pp. 963-969. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(96\)00063-X](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(96)00063-X)
15. Glutathione S-transferase in the defence against pyrethroids in insects / Kostaropoulos I., Papadopoulos A. I., Metaxakis A., Boukouvala E., Papadopoulou-Mourkidou E. // Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2001, vol. 31, no. 4-5, pp. 313-319. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(00\)00123-5](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(00)00123-5)
16. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J. Protein measurement with Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry, 1951, vol. 193, pp. 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
17. Masoud H. M. M., Helmy M. S., Darwish D. A., Ibrahim M. A. Purification, characterization, and enzyme kinetics of a glutathione S transferase from larvae of the camel tick *Hyalomma dromedarii* // Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 2023, vol. 21, no. 1, p. 28. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00486-w>
18. House Flies Are Underappreciated Yet Important Reservoirs and Vectors of Microbial Threats to Animal and Human Health / Nayduch D., Neupane S., Pickens V., Purvis T., Olds C. // Microorganisms, 2023, vol. 11, no. 3, p. 583. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030583>
19. Glutathione S-transferase in the developmental stages of the insect *Apis mellifera macedonica* / Papadopoulos A. I., Polemitou I., Laifi P., Yiangou A., Tantanaki C. // Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology, 2004, vol. 139, no. 1-3, pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2004.09.009>
20. Pavlidi N., Vontas J., Van Leeuwen T. The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors // Current Opinion in Insect Science, 2018, vol. 27, pp. 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.04.007>
21. Shou-min, F. Insect glutathione S-transferase: a review of comparative genomic studies and response to xenobiotics // Bulletin of Insectology, 2012, vol. 65, pp. 265-271.
22. Insights into insecticide-resistance mechanisms in invasive species: Challenges and control strategies / Siddiqui J. A., Fan R., Naz H., Bamisile B. S., Hafeez

- M., Ghan M. I., Wei Y., Xu Y., Chen X. // *Frontiers in physiology*, 2023, vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278>
23. Silivanova E. A., Levchenko M. A. The activity of hydrolytic enzymes in different life stages of the house fly *Musca domestica* L. // *Theory and practice of parasitic disease control*, 2019, vol. 20, pp. 589-593. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.589-593>
24. Silivanova E. A., Levchenko M. A., Shumilova P. A., Plashkina V. A. Phosphatase and acetylcholinesterase activities in different stages of the life cycle of the housefly *Musca domestica* L. // *Euroasian Entomological Journal*, 2020, vol. 19, pp. 124-130. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.19.3.02>
25. Wongtrakul J., Janphen K., Saisawang C., Ketterman A. J. Interaction of Omega, Sigma, and Theta glutathione transferases with p38b mitogen-activated protein kinase from the fruit fly, *Drosophila melanogaster* // *Journal of Insect Science*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1093/jis/14.1.60>
26. Expression profiles of glutathione Stransferase superfamily in *Spodoptera litura* tolerated to sublethal doses of chlorpyrifos / Zhang N., Liu J., Chen S.-N., Huang L.-H., Feng Q.-L., Zheng S.-C. // *Insect Science*, 2016, vol. 23, pp. 675-687. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12202>

References

1. Benkovskaya G. V. Printsipy soderzhaniya laboratornykh liniy nasekomykh [Principles of keeping laboratory insect lines]. *Biomika*, 2017, vol. 9, no. 1, pp. 24-32.
2. Kalinina Ye. V., Chernov N. N., Novichkova M. D. Rol' glutatona, glutatio-transferazy i glutaredoksina v regulyatsii redoks-zavisimykh protsessov [The role of glutathione, glutathione transferase and glutaredoxin in the regulation of redox-dependent processes]. *Uspekhi biologicheskoy khimii*, 2014, vol. 54, pp. 299-384.
3. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2023617030. FAGT [Certificate of state registration of a computer program No. 2023617030. FAGT] / L. Ya. Yangirova. – Zayavka №2023615987. Data postupleniya 28 marta 2023 g. Zaregistrirovano v Reyestre programm dlya EVM 4 aprelya 2023 g. [Application No. 2023615987. Date of receipt: March 28, 2023. Registered in the Register of Computer Programs on April 4, 2023].
4. Allen R. G., Oberley L. W., Elwell J. H. Developmental patterns in the antioxidant defenses of the housefly, *Musca domestica*. *Journal of Cellular Physiology*, 1991, vol. 146, no. 2, pp. 270-276. <https://doi.org/10.1002/jcp.1041460212>
5. Dmochowska-Ślęzak K., Giejdasz K., Fliszkiewicz M., Żółtowska K. Variations in antioxidant defense during the development of the solitary bee *Osmia*

- bicornis*. *Apidologie*, 2015, vol. 46, no. 4, pp. 432-444. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0333-y>
6. Enayati A. A., Ranson H., Hemingway J. Insect glutathione transferases and insecticide resistance. *Insect Molecular Biology*, 2005, vol. 14, no. 1, pp. 3-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2583.2004.00529.x>
 7. Freeman J. C., Ross D. H., Scott J. G. Insecticide resistance monitoring of house fly populations from the United States. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2019, vol. 158, pp. 61-68. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.04.006>
 8. Friedman R. Genomic organization of the glutathione S-transferase family in insects. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2011, vol. 61, no. 3, pp. 924-932. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2011.08.027>
 9. House Fly (Diptera: Muscidae): Biology, Pest Status, Current Management Prospects, and Research Needs / Geden C. J., Nayduch D., Scott J. G., Burgess E. R., IV, Gerry A. C., Kaufman P. E., Thomson J., Pickens V., Machtinger E. T. *Journal of Integrated Pest Management*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 1-38. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa021>
 10. Molecular Evolution of the Glutathione S-Transferase Family in the *Bemisia tabaci* Species Complex / Harari O. A., Santos-Garcia D., Musseri M., Moshitzky P., Patel M., Visendi P., Seal S., Sertchook R., Malka O., Morin S. *Genome Biology and Evolution*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 3857-3872. <https://doi.org/10.1093/gbe/evaa002>
 11. Detection and functional characterization of sigma class GST in *Phlebotomus argentipes* and its role in stress tolerance and DDT resistance / Hassan F., Singh K. P., Ali V., Behera S., Shivam P., Das P., Dinesh D. S. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56209-0>
 12. Larval Development and Molting / Kaleka A. S., Kaur N., Kour Bali G. *Edible Insects*, 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85530>
 13. Kolawole A. O., Olajuyigbe F. M., Ajele J. O., Adedire C. O. Activity of the Antioxidant Defense System in a Typical Bioinsecticide-and Synthetic Insecticide-treated Cowpea Storage Beetle *Callosobrochus maculatus* F. (Coleoptera: Chrysomelidae). *International Journal of Insect Science*, 2014, vol. 6, pp. 99-108. <https://doi.org/10.4137/IJIS.S19434>
 14. Kostaropoulos I., Mantzari A. E., Papadopoulos A. I. Alterations of some glutathione S-transferase characteristics during the development of *Tenebrio molitor* (Insecta: Coleoptera). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 1996, vol. 26, no. 8-9, pp. 963-969. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(96\)00063-X](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(96)00063-X)
 15. Glutathione S-transferase in the defence against pyrethroids in insects / Kostaropoulos I., Papadopoulos A. I., Metaxakis A., Boukouvala E., Papadopoulos

- lou-Mourkidou E. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2001, vol. 31, no. 4-5, pp. 313-319. [https://doi.org/10.1016/s0965-1748\(00\)00123-5](https://doi.org/10.1016/s0965-1748(00)00123-5)
16. Lowry O. H., Rosebrough N. J., Farr A. L., Randall R. J. Protein measurement with Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 1951, vol. 193, pp. 265-275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)
17. Masoud H. M. M., Helmy M. S., Darwish D. A., Ibrahim M. A. Purification, characterization, and enzyme kinetics of a glutathione S transferase from larvae of the camel tick *Hyalomma dromedarii*. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 2023, vol. 21, no. 1, p. 28. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00486-w>
18. House Flies Are Underappreciated Yet Important Reservoirs and Vectors of Microbial Threats to Animal and Human Health / Nayduch D., Neupane S., Pickens V., Purvis T., Olds C. *Microorganisms*, 2023, vol. 11, no. 3, p. 583. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11030583>
19. Glutathione S-transferase in the developmental stages of the insect *Apis mellifera macedonica* / Papadopoulos A. I., Polemitou I., Laifi P., Yiangou A., Tannanaki C. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2004, vol. 139, no. 1-3, pp. 87-92. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2004.09.009>
20. Pavlidi N., Vontas J., Van Leeuwen T. The role of glutathione S-transferases (GSTs) in insecticide resistance in crop pests and disease vectors. *Current Opinion in Insect Science*, 2018, vol. 27, pp. 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.04.007>
21. Shou-min F. Insect glutathione S-transferase: a review of comparative genomic studies and response to xenobiotics. *Bulletin of Insectology*, 2012, vol. 65, pp. 265-271.
22. Insights into insecticide-resistance mechanisms in invasive species: Challenges and control strategies / Siddiqui J. A., Fan R., Naz H., Bamisile B. S., Hafeez M., Ghan M. I., Wei Y., Xu Y., Chen X. *Frontiers in physiology*, 2023, vol. 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1112278>
23. Silivanova E. A., Levchenko M. A. The activity of hydrolytic enzymes in different life stages of the house fly *Musca domestica* L. *Theory and practice of parasitic disease control*, 2019, vol. 20, pp. 589-593. <https://doi.org/10.31016/978-5-9902340-8-6.2019.20.589-593>
24. Silivanova E. A., Levchenko M. A., Shumilova P. A., Plashkina V. A. Phosphatase and acetylcholinesterase activities in different stages of the life cycle of the housefly *Musca domestica* L. *Euroasian Entomological Journal*, 2020, vol. 19, pp. 124-130. <https://doi.org/10.15298/euroasentj.19.3.02>

25. Wongtrakul J., Janphen K., Saisawang C., Ketterman A. J. Interaction of Omega, Sigma, and Theta glutathione transferases with p38b mitogen-activated protein kinase from the fruit fly, *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Science*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1093/jis/14.1.60>
26. Expression profiles of glutathione Stransferase superfamily in Spodoptera litura tolerated to sublethal doses of chlorpyrifos / Zhang N., Liu J., Chen S.-N., Huang L.-H., Feng Q.-L., Zheng S.-C. *Insect Science*, 2016, vol. 23, pp. 675-687. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12202>

ВКЛАД АВТОРОВ

Маслакова К.Ю.: разработка концепции исследования, проведение исследования, анализ результатов, составление черновика рукописи, написание рукописи.

Янгирова Л.Я.: статистический анализ данных.

Силиванова Е.А.: разработка концепции исследования, редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kseniya Yu. Maslakova: development of study conception, conducting research, analysis of results, drafting of the manuscript, writing of the manuscript.

Liana Ya. Yangirova: statistical data analysis.

Elena A. Silivanova: development of study conception, editing of the draft of the manuscript.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Маслакова Ксения Юрьевна, аспирант, младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ВНИИВЭА – филиал ТюмНЦ СО РАН)
Институтская, 2, г. Тюмень, 625041, Российская Федерация
k.y.maslakova@gmail.com

Янгирова Лиана Януровна, аспирант, младший научный сотрудник
Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ВНИИВЭА – филиал ТюмНЦ СО РАН)

*Институтская, 2, г. Тюмень, 625041, Российская Федерация
Lianochka137@mail.ru*

Силиванова Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ВНИИВЭА – филиал ТюмНЦ СО РАН)

*Институтская, 2, г. Тюмень, 625041, Российская Федерация
easylva@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kseniya Yu. Maslakova, Graduate Student, Junior Researcher

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ASRIVEA – Branch of Tyumen Scientific Centre SB RAS)

2, Institutskaya Str., Tyumen, 625041, Russian Federation

k.y.maslakova@gmail.com

SPIN-code: 8761-2244

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9688-5207>

ResearcherID: AGU-9470-2022

Liana Ya. Yangirova, Graduate Student, Junior Researcher

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ASRIVEA – Branch of Tyumen Scientific Centre SB RAS)

2, Institutskaya Str., Tyumen, 625041, Russian Federation

Lianochka137@mail.ru

SPIN-code: 4705-4470

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7546-485X>

ResearcherID: HHN-5767-2022

Elena A. Silivanova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher

All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Branch of Federal State Institution Federal Research Cen-

*tre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences (ASRIVEA – Branch of Tyumen Scientific Centre SB RAS)
2, Institutskaya Str., Tyumen, 625041, Russian Federation
easylva@gmail.com
SPIN-code: 2036-6650
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0872-8509>
ResearcherID: C-8266-2015
Scopus Author ID: 57203024713*

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 23.04.2024

Принята 30.04.2024

Received 29.03.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 30.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-976

УДК 636.5.033:636.084.4



Научная статья

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ КОРМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЕЙ НА ФОНЕ ПРИРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

*Г.К. Дускаев, Б.С. Нуржанов,
Ш.Г. Рахматуллин, К.Н. Атландерова*

Обоснование. В последние годы растительные кормовые добавки привлекают все большее внимание как естественная альтернатива антибиотикам-стимуляторам роста в птицеводстве, которые могут быть включены в корма в сушеном, твердом и измельченном виде или в виде экстрактов. Среди растительных добавок растет интерес к эфирным маслам для использования в кормлении, поскольку было показано, что они обладают гораздо более высокой биологической активностью по сравнению с сырьем, из которого они были извлечены. Коричный альдегид — основной компонент эфирных масел (до 90 %) и кассии (до 75 %), обуславливающий их запах.

Материалы и методы. Объекты исследования: цыплята-бройлеры кросса Arbor Acres, коричный альдегид. Для эксперимента было отобрано 180 голов 7-дневных цыплят-бройлеров, которых методом аналогов разделили на 4 группы ($n = 45$). Контрольная группа (С) получала основной рацион (ОР), I опытная группа (СА-I) (ОР + коричный альдегид 15 мг/кг корма /сут), II опытная группа (СА-II) (ОР + коричный альдегид 30 мг/кг корма /сут), III опытная группа (СА-III) (ОР + коричный альдегид 55 мг/кг корма /сут). Кормление опытной птицы проводилось 2 раза в сутки, учет поедаемости — ежесуточно. Декапитации птицы под нембуталовым эфиром производили на 42-е сут. Послеубойную анатомическую разделку тушек осуществляли по методике ВНИТИП. Гематологические показатели (число и вид лейкоцитов) учитывали на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Кумай). Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 (“Dirui Industrial Co., Ltd”, Кумай).

Результаты. Цыплята-бройлеры из СА-III группы на 4,66%, 6,91 и 3,47% больше поедали комбикорма относительно контрольной, СА-I и СА-II групп. В среднем за период эксперимента бройлеры СА-II и СА-III групп имели превосходство над птицей из контрольной группы по среднесуточному приросту живой массы на 4,94 и 8,47%, по абсолютному – на 4,93 и 7,98%. Высокой предубойной живой массой характеризовались бройлеры из опытных групп СА-II и СА-III, так по данному показателю они превосходили группу С на 4,50 и 7,27%.

Заключение. Включение в рацион цыплят-бройлеров коричневого альдегида в количестве 15-55 мг способствовало увеличению поедаемости корма, живой массы, на фоне более низкого расхода корма на прирост 1 кг живой массы и усилению антиоксидантного статуса организма.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры; коричневый альдегид; живая масса; биохимия крови; антиоксидантные показатели; белые клетки крови

Для цитирования. Дускаев Г.К., Нуржанов Б.С., Рахматуллин Ш.Г., Атландерова К.Н. Результаты оценки эффективности потребления корма сельскохозяйственной птицей на фоне природных растительных веществ // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 80-94. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-976

Original article

RESULTS OF ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF FEED CONSUMPTION BY FARM POULTRY AGAINST THE BACKGROUND OF NATURAL PLANT SUBSTANCES

G.K. Duskaev, B.S. Nurzhanov,
S.G. Rakhmatullin, K.N. Atlanderova

Background. In recent years, plant feed additives have received increasing attention as a natural alternative to antibiotic growth promoters in poultry production, which can be included in feed in dried, solid and ground form or as extracts. Among herbal supplements, there is growing interest in essential oils for use in nutrition as they have been shown to have much higher biological activity compared to the raw materials from which they were extracted. Cinnamaldehyde is the main component of essential oils (up to 90%) and cassia (up to 75%), which determines their smell.

Materials and methods. *Objects of study:* Arbor Acres cross broiler chickens, cinnamaldehyde. For the experiment, 180 heads of 7-day-old broiler chickens were selected, which were divided into 4 groups using the analogue method ($n = 45$). Control group (C) received the basic diet (BR), experimental group I (CA-I) (RR + cinnamaldehyde 15 mg/kg feed/day), experimental group II (CA-II) (RR + cinnamaldehyde 30 mg/day kg of feed/day), III experimental group (CA-III) (OR + cinnamaldehyde 55 mg/kg of feed/day). Feeding of the experimental birds was carried out 2 times a day, and food intake was recorded daily. Birds were decapitated under nembutal ether on the 42nd day. Post-mortem anatomical cutting of carcasses was carried out according to the VNITIP method. Hematological parameters (number and type of leukocytes) were taken into account using an automatic hematological analyzer URIT-2900 Vet Plus (URIT Medical Electronic Group Co., Ltd, China). Biochemical analysis of blood serum was performed on an automatic biochemical analyzer CS-T240 (Dirui Industrial Co., Ltd, China).

Results. Broiler chickens from the CA-III group ate feed by 4.66%, 6.91 and 3.47% more relative to the control, CA-I and CA-II groups. On average, during the experimental period, broilers of the CA-II and CA-III groups had superiority over birds from the control group in terms of average daily live weight gain by 4.94 and 8.47%, and in absolute terms - by 4.93 and 7.98%. Broilers from experimental groups CA-II and CA-III were characterized by high pre-slaughter live weight, so in this indicator they exceeded group C by 4.50 and 7.27%.

Conclusion. Inclusion of cinnamaldehyde in the diet of broiler chickens in an amount of 15-55 mg contributed to an increase in feed palatability and live weight, against the background of lower feed consumption per 1 kg of live weight gain and an increase in the antioxidant status of the body.

Keywords: broiler chickens; cinnamaldehyde; live weight; blood biochemistry; antioxidant indicators; white blood cells

For citation. Duskaev G.K., Nurzhanov B.S., Rakhmatullin S.G., Atlanderova K.N. Results of Assessment of the Efficiency of Feed Consumption by Farm Poultry Against the Background of Natural Plant Substances. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 80-94. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-976

Введение

Птицеводство постоянно сталкивается с необходимостью разработки стратегий управления, позволяющих оптимизировать продуктивность цыплят при одновременном соблюдении требований безопасности пищевых продуктов. Традиционно противомикробные препараты широко исполь-

зовались для улучшения здоровья и показателей роста домашней птицы, однако повышенная осведомленность общественности о риске развития перекрестной устойчивости патогенов к антибиотикам привела к постепенному отказу от антибиотиков для терапевтического и профилактического применения у животных и птиц [19, с. 2-3]. В связи с чем растительные кормовые добавки, также известные в народе как фитобиотики или растительные компоненты, вызывают все больший интерес как экономически эффективные органические соединения с доказанным положительным воздействием на здоровье кишечника цыплят-бройлеров [24, с. 180-181; 22, с. 4169]. В последние годы растительные кормовые добавки привлекают все большее внимание как естественная альтернатива антибиотикам-стимуляторам роста в птицеводстве, которые могут быть включены в корма в сухом, твердом и измельченном виде или в виде экстрактов [11, с. 31]. Среди растительных добавок растет интерес к эфирным маслам для использования в кормлении, поскольку было показано, что они обладают гораздо более высокой биологической активностью по сравнению с сырьем, из которого они были извлечены [21, с. 3]. Эфирные масла рассматриваются в качестве стимуляторов роста в рационах домашней птицы с сильной антимикробной и антикокцидиальной активностью [23, с. 53; 24, с. 179; 7, с. 540].

Хотя положительный эффект многих разработанных растительных кормовых добавок был хорошо продемонстрирован в разных исследованиях [14, с. 68-69; 9, с. 2486-2487], общее мнение таково, что их дозы внесения сильно колеблются, и результаты сильно различаются. Кроме того, необходимо более четко определить механизм их действия, оптимальные комбинации соединений, что приведет к максимизации показателей и поддержанию продуктивности животных, при сокращении использования антибиотиков в животноводстве.

Цель исследования – изучить влияние различных доз коричневого альдегида на эффективность потребления корма сельскохозяйственной птицей и основные производственные показатели.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в виварии центра коллективного пользования (ЦКП) с использованием научного оборудования ФНЦ БСТ РАН, период проведения февраль – август 2022 года. Объекты исследования: цыплята-бройлеры кросса Arbor Acres, коричневый альдегид. В предыдущих исследованиях [8, с. 3] нами было установлено, что это вещество, вторичный метаболит растений, обладает антибактериальными и анти-QS качествами.

Для эксперимента было отобрано 180 голов 7-дневных цыплят-бройлеров, которых методом аналогов разделили на 4 группы ($n = 45$). Контрольная группа (С) получала основной рацион (ОР), I опытная группа (СА-I) (ОР + коричневый альдегид 15 мг/кг корма /сут), II опытная группа (СА-II) (ОР + коричневый альдегид 30 мг/кг корма /сут), III опытная группа (СА-III) (ОР + коричневый альдегид 55 мг/кг корма /сут). Во время эксперимента вся птица находилась в одинаковых условиях содержания. Формирование общих рационов (ОР) для подопытной птицы в ходе исследований проводилось с учетом рекомендаций ВНИТИП [10, с.14]. Кормление опытной птицы проводилось 2 раза в сутки, учет поедаемости – ежесуточно. Декапитации птицы под нембуталовым эфиром производили на 42-е сут. Послеубойную анатомическую разделку тушек осуществляли по методике ВНИТИП [10, с. 25].

Образы крови для гематологических исследований отбирали в вакуумные пробирки с антикоагулянтом (EDTA-K3), для биохимических исследований – в вакуумные пробирки с активатором свертывания (тромбин). Гематологические показатели (число и вид лейкоцитов) учитывали на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай). Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 (“Dirui Industrial Co., Ltd”, Китай).

Статистическую обработку проводили с помощью программы IBM «SPSS Statistics Version 20», рассчитывая среднюю величину (М), среднеквадратичное отклонение (σ), ошибку стандартного отклонения (m). Уровень значимости считали достоверным при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Цыплята-бройлеры сравниваемых групп существенно отличались по живой массе за период выращивания (таблица 1).

Таблица 1.

Динамика живой массы цыплят-бройлеров, г

Период эксперимента	Группа			
	С	СА-I	СА-II	СА-III
Начало эксперимента	261,60±7,9	261,60±13,1	261,60±13,4	261,60±10,7
1 нед	580,40±17,8	592,80±24,0	602,00±27,3	605,60±17,4
2 нед	1135,60±15,8	1175,20±67,7	1186,80±74,7	1125,60±35,5
3 нед	1902,40±18,9	1950,60±125,9	1938,00±122,0	1867,20±76,3
4 нед	2519,60±101,8	2384,80±190,1	2631,60±129,2	2590,40±142,7
5 нед	2974,80±122,8	2928,00±170,1	3108,80±154,1	3191,33±53,1*

В начале опыта живая масса птиц изучаемых групп была равная, но уже в первую неделю исследования птица, поедающая с основным рационом коричный альдегид, превосходила контрольный молодняк по живой массе на 2,13-4,34%. На четвертую неделю эксперимента наименьшую живую массу имели бройлеры из группы СА-I, так по данному показателю они уступали контролю на 5,65%, группе СА-II на 10,34% и группе СА-III на 8,62%.

В конце эксперимента молодняк группы СА-III, получавший с основным рационом коричный альдегид в количестве 55 мг по живой массе, достоверно превосходил аналогов из контроля, I и II групп на 6,78% ($p \leq 0,05$), 8,25 и 2,58%.

В среднем за период эксперимента бройлеры СА-II и СА-III групп имели превосходство над птицей из контрольной группы по среднесуточному приросту живой массы на 4,94 и 8,47%, по абсолютному – на 4,93 и 7,98% (таблица 2).

Таблица 2.

Продуктивность и расход корма цыплят-бройлеров за период опыта

Группа	Среднесуточный прирост за 5 недель, г	Абсолютный прирост, г	Расход корма на прирост 1 кг живой массы, кг
С	77,52±6,3	2713,20±222,8	1,82
СА-I	75,78±4,4	2666,40±170,1	1,81
СА-II	81,35±4,2	2847,20±147,9	1,75
СА-III	84,09±1,3	2929,73±53,1	1,77

Меньше всего расходовали комбикорма на 1 кг прироста живой массы птица из групп СА-II и СА-III на 3,84 и 2,74% по сравнению с группой С.

Цыплята-бройлеры из СА-III группы на 4,66%, 6,91 и 3,47% больше поедали комбикорма относительно контрольной, СА-I и СА-II групп (таблица 3).

Таблица 3.

Основные производственные показатели

Показатель	Группа			
	С	СА-I	СА-II	СА-III
Поедаемость корма, г	4933,40±405,1	4816,60±307,3	4994,60±259,5	5174,60±93,8
Сохранность поголовья, %	96	98	98	97
ЕРЕФ (Европейский индекс продуктивности)	409,30±33,29	410,90±24,18	461,70±23,05*	460,15±7,02*

Лучшая сохранность поголовья была отмечена в опытных группах и варьировала в пределах 1-2% по сравнению с контролем. Наибольшее значение Европейского индекса продуктивности наблюдали у птицы из СА-II и СА-III по сравнению с группой С на 12,8 и 12,42%.

Анализ биохимического состава сыворотки крови цыплят-бройлеров, показал, что в группе СА-III были наиболее высокие значения общего белка на 31,70 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой контроля (таблица 4).

Таблица 4.

Биохимические показатели сыворотки крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	С	СА-I	СА-II	СА-III
Общий белок, г/л	31,64±1,65	29,24±1,78	33,52±2,18	41,67±1,79*
Альбумин, г/л	15,00±0,41	16,25±0,75	15,25±0,85	16,25±1,25
Глюкоза, ммоль/л	11,09±0,68	7,66±0,87*	10,52±0,37	9,93±0,67
АСТ, Ед/л	279,23±22,94	205,83±29,83	294,93±20,67	276,55±16,35
АЛТ, Ед/л	35,40±1,95	26,15±3,08*	43,05±1,02*	50,15±1,33*
Креатинин, мкмоль/л	20,80±1,12	25,28±2,16	22,93±1,78	27,65±2,42*
Билирубин общий, мкмоль/л	1,17±0,17	1,40±0,13	1,08±0,10	2,27±0,11**
Триглицериды, ммоль/л	0,14±0,01	0,22±0,02**	0,19±0,04	0,22±0,01**
Холестерин, ммоль/л	2,93±0,09	2,65±0,23	2,94±0,21	2,76±0,29
Мочевина, ммоль/л	0,38±0,13	1,90±0,29**	2,18±0,36**	3,33±0,41**
Мочевая кислота, мкмоль/л	112,60±16,75	191,60±11,92	191,35±10,50**	143,40±19,16
Кальций, мкмоль/л	2,62±0,11	3,12±0,10*	2,46±0,17	3,72±0,13*
Железо, мкмоль/л	19,00±1,38	26,55±2,72*	26,33±2,12*	17,55±0,82
Фосфор, ммоль/л	1,25±0,11	1,00±0,07	1,15±0,09	1,38±0,17
Магний, ммоль/л	0,79±0,04	0,95±0,06	0,95±0,15	0,83±0,04

Также у птицы из группы СА-I и СА-III наблюдалось повышение в крови альбумина на 8,33 % ($p \leq 0,05$) относительно контроля. Содержание аланинаминотрансферазы увеличилось во СА-II и СА-III группах на 21,61% ($p \leq 0,05$) и 41,66 % ($p \leq 0,05$) по сравнению с группой С. Наибольшая концентрация АСТ отмечена в группе СА-II, так по изучаемому параметру они преобладали над контролем на 5,62%.

Бройлеры группы С достоверно уступали аналогам из СА-I и СА-III групп по содержанию в крови общего билирубина на 19,6 и 94,01% ($p \leq 0,01$), триглицерида – на 57,14% ($p \leq 0,01$). По содержанию в крови мочевины контрольная группа уступала опытным бройлерами соответственно на 1,52 ммоль/л, 1,8 и 2,95 ммоль/л.

Содержание железа повышалось в группах с минимальной и средней дозой введения коричневого альдегида на 39,73 и 38,57 % ($p \leq 0,05$) в сравнении с группой контроля. Птица из группы СА-I и СА-III по количеству кальция в крови превосходила контрольных цыплят на 19,08 и 41,98%.

Бройлеры контрольной (С) группы по накоплению в крови нейтрофилов существенно уступали аналогам из опытных групп на 63,7%, 98,15 ($p \leq 0,01$) и 58,65% ($p \leq 0,05$) (таблица 5).

Таблица 5.

Изменения белых клеток крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	С	СА-I	СА-II	СА-III
Лейкоциты, 10^9 кл/л	45,62±2,05	42,36±5,72	50,17±5,87	44,58±4,12
Нейтрофилы NEU, 10^9 кл/л	12,48±1,36	20,43±5,65	24,73±2,98 **	19,80±2,06*
Лимфоциты, 10^9 кл/л	24,28±0,44	15,42±2,49*	20,13±3,70	22,10±5,88
Моноциты, 10^9 кл/л	0,42±0,03	0,50±0,18	0,56±0,15	0,41±0,17
Эозинофилы, 10^9 кл/л	2,88±0,09	5,62±2,34	4,47±1,11	2,07±0,63
Базофилы, 10^9 кл/л	0,23±0,04	0,31±0,15	0,21±0,04	0,10±0,02*

При этом наибольшее количество лейкоцитов было обнаружено в крови группы СА-II, что на 9,97% выше контрольных значений. Установлено снижение концентрации лимфоцитов в группе СА-I на 36,49% ($p \leq 0,05$) и увеличение базофилов на 34,78% относительно контроля.

При скормливания коричневого альдегида показатель малонового диальдегида в крови птицы из опытных групп СА-I – СА-III был выше, чем в группе С на 35,52% ($p \leq 0,01$), 26,31 ($p \leq 0,05$) и 52,63% ($p \leq 0,01$) соответственно (таблица 6).

Таблица 6.

Антиоксидантные показатели крови цыплят-бройлеров

Показатель	Группа			
	С	СА-I	СА-II	СА-III
Малоновый диальдегид, мкМоль/л	0,76±0,04	1,03±0,04**	0,96±0,04*	1,16±0,03**
Супероксиддисмутаза, %	54,58±3,62	50,43±3,72	55,05±3,60	50,98±1,93
Каталаза, мкМоль H ₂ O ₂ /л/мин	51,20±3,67	71,95±3,37**	54,18±0,66*	52,35±3,03

Высокие показатели активности каталазы были отмечены в крови бройлеров из опытных групп, так по данному показателю они превосходили сверстников из группы С на 40,52% ($p \leq 0,01$), 5,82 ($p \leq 0,05$) и 2,24%.

Обсуждение

Коричный альдегид – основной компонент эфирных масел (до 90 %) и кассии (до 75 %), обуславливающий их запах. Он имеет слабую токсичность и подтвержденную эффективность в экспериментах на более чем 40 разнообразных видов зерновых культур, что позволяет использовать в агропромышленном комплексе [1, с. 26].

Зарубежными учеными было проведено несколько исследований с использованием трав, специй и эфирных масел (коричный альдегид), которые продемонстрировали противоречивые результаты в отношении продуктивности цыплят. Хотя в большинстве случаев исследования показали, что растительные кормовые добавки оказывают положительное влияние на прирост массы тела и коэффициент конверсии корма у цыплят [16, с. 132; 25, с. 2163]. В нашем опыте были получены схожие данные, так бройлеры СА-II и СА-III групп, получавшие с основным рационом коричный альдегид имели превосходство над птицей из С группы по приросту живой массы за сутки на 4,94 и 8,47%, по абсолютному – на 4,93 и 7,98%. Добавки с эфирными маслами значительно улучшали прибавку в весе в обеих рационах, но улучшения были больше в диете с дробленной пшеницей, на что указывает значительное взаимодействие формы пшеницы и эфирных масел [4, с. 130].

Возможным механизмом, стоящим за этими положительными эффектами, является способность растительных добавок, таких как коричный альдегид, увеличивать секрецию эндогенных пищеварительных ферментов, что приводит к улучшению переваривания питательных веществ и, следовательно, к повышению продуктивности [2, с. 2520]. В эксперименте было установлено, что введение максимального количества альдегида птице из СА-III группы способствовало повышению поедаемости комбикорма относительно контрольной, СА-I и СА-II групп соответственно на 4,66%, 6,91 и 3,47%. Аналогичные результаты были получены Amad A.A. et al., которые сообщали, что растительные кормовые добавки улучшают перевариваемость питательных веществ в подвздошной кишке в возрасте 21, 35 и 42 дней [18, с. 214; 3, с. 1228].

Биохимические параметры крови находились в рамках ожидаемого диапазона, и признаков токсичности не наблюдалось. Case G.L. et al., Ronchi A. et al, было доказано, что у птиц, которых кормили эфирными маслами, снижалась концентрация холестерина в сыворотке крови и что гипохолестеринемический эффект был обусловлен содержащимися в маслах соединениями, которые обладают способностью ингибировать активность 3-гидрокси-3-метилглутарилкоэнзим-редуктазы печени, ключевого регу-

лирующего фермента в синтезе холестерина [20, с. 358; 21, с. 135-136]. В нашем исследовании также наблюдалось снижение количества холестерина на 5,80-9,55% относительно контрольной группы.

Антиоксидантную стабильность организма цыплят можно улучшить с помощью эфирных масел. Karadas F et al., Bravo D et al. скармливали бройлерам Ross 308 смесь карвакрола, коричневого альдегида и живицы из стручкового перца и обнаружили значительное увеличение концентрации в печени каротиноидов и коэнзима Q10 в возрасте 21 года. Они установили, что эфирные масла могут усиливать иммунные реакции [15, с. 133; 5, с. 1534]. Добавление эфирных масел улучшало уровень пролиферации лимфоцитов в сыворотке крови, уровень иммуноглобулинов (Ig) G, IgA, IgM, C3 и C4 у поросят. Halas V. et al. иностранные ученые пришли к выводу, что добавление эфирных масел поросётам-отъёмышам и птице усиливает как неспецифический клеточный, так и гуморальный иммунный ответ [12, с. 280; 13, с. 183]. Общая антиоксидантная способность плазмы крови была значительно усилена при введении эфирных масел растений по линейной схеме. В частности, скармливание растительной добавкой в количестве 150 мг / кг корма показала повышение каталазы плазмы на 20% по сравнению с контролем [17, с. 118]. Улучшение антиоксидантного статуса также может быть результатом индукции активности антиоксидантных ферментов, однако это требует специального изучения.

Заключение

1. Введение в рацион цыплят-бройлеров коричневого альдегида в дозе 55 мг/кг корма /сут содействовало росту живой массы (на 6,78%, $p \leq 0,05$) цыплят-бройлеров, потреблению корма (на 4,66%), съедобной части туши (на 8,40 % ($p \leq 0,05$), на фоне небольшого расхода корма на прирост 1 кг живой массы (на 2,74%) в сравнении с контрольной группой.

2. Внесение изучаемой добавки в максимальной дозе в основной рацион бройлеров способствовало повышению в крови общего белка на 31,70 % ($p \leq 0,05$), аланинаминотрансферазы на 41,66 % ($p \leq 0,05$), триглицерида – на 57,14% ($p \leq 0,01$), на фоне снижения нейтрофилов на 58,65% ($p \leq 0,05$), лимфоцитов на 4,11% относительно контроля.

3. Уровень антиоксидантов в организме цыплят-бройлеров повысился, что привело к снижению активности супероксиддисмутазы и уровня малонового диальдегида в сыворотке крови у групп СА-I и СА-III. Одновременно с этим наблюдалось увеличение активности каталазы на 40,91 и 2,24%, по сравнению с контрольной группой.

Заключение комитета по этике. Содержание птицы и процедуры при выполнении экспериментов соответствовали требованиям инструкций и рекомендациям российского регламента (Приказ МЗ СССР № 755 от 12.08.1977) и The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). Были предприняты все усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить число используемых образцов.

Информированное согласие. Не применимо

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00036, <https://rscf.ru/project/22-16-00036/>

Список литературы / References

1. Восканян О.С. Использование эфирных масел для профилактики микозов / О.С. Восканян, А.В. Морозова, Т.В. Петришина // Тенденции развития науки и образования. 2019. № 55(4). С. 25-27. <https://doi.org/10.18411/lj-10-2019-59> [Voskanyan O.S. Use of essential oils for the prevention of mycoses / O.S. Voskanyan, A.V. Morozova, T.V. Petrishina. *Trends in the development of science and education*, 2019, no. 55(4), pp. 25-27. <https://doi.org/10.18411/lj-10-2019-59>]
2. Abdel-Wareth A.A.A., Lohakare J.D. Productive performance, egg quality, nutrients digestibility, and physiological response of bovans brown hens fed various dietary inclusion levels of peppermint oil. *Anim. Feed Sci. Technol*, 2020, vol. 267, pp. 1–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114554>
3. Amad A.A., Manner K., Wendler K.R., Neumann K., Zentek J. Effects of a phytogenic feed additive on growth performance and ileal nutrient digestibility in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 2011, vol. 90, pp. 2811-2816. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01515>
4. Amerah A.M., Péron A., Zaefarian F., Ravindran V. Influence of whole wheat inclusion and a blend of essential oils on the performance, nutrient utilisation, digestive tract development and ileal microbiota profile of broiler chickens. *British Poultry Science*, 2011, vol. 52, pp. 124–132. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.548791>
5. Bravo D., Pirgozliev V., Rose S.P. A mixture of carvacrol, cinnamaldehyde, and capsicum oleoresin improves energy utilization and growth performance of broiler chickens fed maize-based diet. *Journal of Animal Science*, 2014, vol. 92, pp. 1531–1536. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6244>

6. Case G.L., He L., Mo H., Elson C.E. Induction of geranyl pyrophosphate pyrophosphatase activity by cholesterol-suppressive isoprenoids. *Lipids*, 1995, vol. 30, pp. 357-359. <https://doi.org/10.1007/BF02536045>
7. Chalhouni R, Belgacem A, Trabelsi I, Bouatour Y and Bergaoui R. Effect of dietary supplementation with probiotic or essential oils on growth performance of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*, 2013, vol. 12, pp. 538–544. <https://doi.org/10.3923/ijps.2013.538.544>
8. Deryabin D., Inchagova K., Rusakova E., & Duskaev G. Coumarin's anti-quorum sensing activity can be enhanced when combined with other plant-derived small molecules. *Molecules*, 2021, vol. 26(1). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26010208>
9. Duskaev G., Rakhmatullin S., Kvan O. Effects of *Bacillus cereus* and coumarin on growth performance, blood biochemical parameters, and meat quality in broilers. *Veterinary World*, 2020, vol. 13(11), pp. 2484-2492. <https://doi.org/10.14202/VETWORLD.2020.2484-2492>
10. Fisnin V.I., Egorov I.A., Lenkova T.N., Okolelova T.M., Ignatova G.V., Shevyakov A.N. et al. Methodical instructions on optimization of recipes for mixed fodders for agricultural poultry. M., 2009, 45 p.
11. Gadde U., Kim W.H., Oh S.T., Lillehoj H.S. Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry: A review. *Anim. Health Res. Rev.*, 2017, vol. 18, pp. 26–45. <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>
12. Halas V., Nocht I., Pásti Z., Szabó C., Tóthi R., Tossenberger J., et al. Cellular immune response of weaned pigs fed diet supplemented with an essential oil. *Agric Conspec Sci.*, 2011, vol. 76, pp. 279-282. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>
13. Hengxiao Zhai, Hong Liu, Shikui Wanga, Jinlong Wua, Anna-Maria Klunterb Potential of essential oils for poultry and pigs. *Animal Nutrition*, 2018, vol. 4, issue 2, pp. 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>
14. Inchagova K.S., Duskaev G.K., Deryabin D.G. Quorum sensing inhibition in *chromobacterium violaceum* by amikacin combination with activated charcoal or small plant-derived molecules (pyrogallol and coumarin). *Microbiology*, 2019, vol. 88(1), pp. 63-71. <https://doi.org/10.1134/S0026261719010132>
15. Karadas F., Pirgozliev V., Rose S.P., Dimitrov D., Oduguwa O., Bravo D. Dietary essential oils improve the hepatic antioxidative status of broiler chickens. *British Poultry Science*, 2014, vol. 55, pp. 329–334. <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.891098>
16. Khattak F., Ronchi A., Castelli P., Sparks N. Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass

- quality of broiler chickens. Poultry Science, 2014, vol. 93, pp. 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>
17. Paraskeuas V., Fegeros K., Palamidi I., Hunger C., Mountzouris K.C. Growth performance, nutrient digestibility, antioxidant capacity, blood biochemical biomarkers and cytokines expression in broiler chickens fed different phytogetic levels. Anim. Nutr., 2017, no. 3, pp. 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.01.005>
 18. Pirgozliev V., Bravo D., Mirza M.W., Rose S.P. Growth performance and endogenous losses of broilers fed wheat-based diets with and without essential oils and xylanase supplementation. Poultry Science, 2015, vol. 94, pp. 1227–1232. <https://doi.org/10.3382/ps/peu017>
 19. Ricke S.C., Dittoe D.K., Richardson K.E. Formic acid as an antimicrobial for poultry production: A review. Front. Vet. Sci., 2020, no. 7, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00563>
 20. Ronchi A., Castelli P., Sparks N. Effects of natural blend of essential oil on growth performance, blood biochemistry, cecal morphology, and carcass quality of broiler chickens. Poultry Science, 2014, vol. 93, pp. 132–137. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03387>
 21. Van Der Klis, J. D., and E. Vinyeta-Punti. The potential of phytogetic feed additives in pigs and poultry. Proceedings of 18th Congress of the European Society of Veterinary & Comparative Nutrition, At Utrecht, Netherlands, 2014, vol. 18. <https://doi.org/10.13140/2.1.3111.3602>
 22. Yausheva E., Kosyan D., Duskaev G., Kvan O., Rakhmatullin S. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine. Biointerface Research in Applied Chemistry, 2019, vol. 9, pp. 4168–4171. <https://doi.org/10.33263/BRIAC94.168171>
 23. Yitbarek M.B. Phytogetics as feed additives in poultry production: A review. Int. J. Extensive Res., 2015, no. 3, pp. 49–60.
 24. Zhai H., Liu H., Wang S., Wu J., Klunter A.M. Potential of essential oils for poultry and pigs. Anim. Nutr., 2018, no. 4, pp. 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>
 25. Zhang Y., Gong J., Yu H., Guo Q., Defelice C., Hernandez M., et al. Alginate-whey protein dry powder optimized for target delivery of essential oils to the intestine of chickens. Poult Sci., 2014, vol. 93, pp. 2514–2525. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.311>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, профессор РАН, первый заместитель директора

*ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
gduskaev@mail.ru*

Нуржанов Баер Серекпаевич, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник
*ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
baer.nurzhanov@mail.ru*

Рахматуллин Шамиль Гафиуллинович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
*ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
shahm2005@rambler.ru*

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, специалист Испытательного центра ЦКП
*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

Galimzhan K. Duskaev, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 January Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
gduskaev@mail.ru
SPIN-code: 7297-3319
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>
Researcher ID: N-4454-2014
Scopus Author ID: 56192764700*

Baer S. Nurzhanov, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences*
29, 9 January Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
baer.nurzhanov@mail.ru
SPIN-code: 2532-5211
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3240-6112>
Researcher ID: ADY-8495-2022
Scopus Author ID: 57200915613

Shamil G. Rakhmatullin, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences*
29, 9 January Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
shahm2005@rambler.ru
SPIN-code: 9510-6646
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0143-9499>
Researcher ID: I-9707-2014
Scopus Author ID: 57202292965

Ksenia N. Atlanderova, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher,
Specialist of the Testing Center of the Center for Shared Use
*Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences*
29, 9 January Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
atlander-kn@mail.ru
SPIN-code: 9463-1130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3977-4831>
Researcher ID: AAD-1680-2021
Scopus Author ID: 57212198216

Поступила 28.02.2024

После рецензирования 05.04.2024

Принята 12.04.2024

Received 28.02.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 12.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-939

УДК 619:618.19-002.1:[578.8]:636.2



Научная статья

ФЕНО-ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И ВИРУЛЕНТНОСТИ У БАКТЕРИЙ *ESCHERICHIA COLI*, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОЛОКА КОРОВ С СУБКЛИНИЧЕСКИМ МАСТИТОМ

В.И. Плешакова, Н.А. Лещёва, Т.И. Лоренгель

Традиционная антибиотикотерапия маститов коров зачастую приводит к возникновению моно и полирезистентных штаммов микроорганизмов. Поэтому выяснение этиологической роли антибиотикорезистентных культур *E. coli* в патогенезе субклинического мастита является актуальной проблемой имеющей теоретическую новизну и практическое значение.

Цель исследования – изучить фено-генотипические характеристики антибиотикорезистентности и вирулентные свойства бактерий *Escherichia coli*, выделенных из молока коров с субклиническим маститом. Диагностику субклинической формы мастита проводили общепринятыми методами. Чувствительность к антибактериальным препаратам определяли диско-диффузионным методом. В результате молекулярно-генетических исследований установлено, что в 59% случаев из проб молока коров с субклиническим маститом были выделены культуры *Escherichia coli*, резистентные к некоторым антибиотикам аминогликозидной группы (канамицин, гентамицин, амикацин, тобрамицин и стрептомицин), фторхинолонам 2-го поколения (ципрофлоксацин) и тетрациклинам. У 95,74% культур *E. coli* детектировались гены вирулентности *fitA*, а в 81,91% культур *fitH*, которые кодируют белки адгезии *E. coli* к эндотелиальным клеткам. Изучение фармакодинамических механизмов резистентности позволило выявить продуцирование бета-лактамаз расширенного спектра у 69,14% культур *E. coli*. Кроме того, данная работа явилась одной из первых попыток показать широкое распространение антибиотикорезистентных культур *E. coli* при субклинических маститах в регионе.

Ключевые слова: субклинический мастит; *Escherichia coli*; фено-генотипические характеристики; антибиотикорезистентность

Для цитирования. Плешакова В.И., Лещёва Н.А., Лоренгель Т.И. Фено-генотипические детерминанты антибиотикорезистентности и вирулентности у бактерий *Escherichia coli*, выделенных из молока коров с субклиническим маститом // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 95-109. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-939

Original article

PHENO-GENOTYPIC DETERMINANTS OF ANTIBIOTIC RESISTANCE AND VIRULENCE IN *ESCHERICHIA COLI* BACTERIA ISOLATED FROM THE MILK OF COWS WITH SUBCLINICAL MASTITIS

V.I. Pleshakova, N.A. Lescheva, T.I. Lorengel

The traditional antibiotic therapy for cow mastitis often leads to the emergence of mono- and multi-resistant strains of microorganisms. Therefore, elucidating the etiological role of antibiotic-resistant E. coli cultures in the pathogenesis of subclinical mastitis is an urgent problem of theoretical novelty and practical significance.

*The **purpose** of the study is to explore the pheno-genotypic characteristics of antibiotic resistance and virulent properties of Escherichia coli bacteria isolated from the milk of cows with subclinical mastitis. Diagnosis of subclinical mastitis was carried out using generally accepted methods. Sensitivity to antibacterial drugs was determined by the disk diffusion method. As a result of the studies, it was found out that Escherichia coli cultures were isolated in 59% of milk samples from cows with subclinical mastitis. The isolated cultures were resistant to some antibiotics of the aminoglycoside group (kanamycin, gentamicin, amikacin, tobramycin and streptomycin), 2nd generation fluoroquinolones (ciprofloxacin) and tetracyclines. The molecular genetic studies showed that *fimA* virulence genes were detected in 95,74% of isolated E. coli cultures, and *fimH* genes were detected in 81.91% of cultures. They encode adhesion proteins of E. coli to endothelial cells. The study of pharmacodynamic mechanisms of resistance revealed the production of extended spectrum beta-lactamases in 69,14% of E. coli cultures. In addition, this work was one of the first attempts to show the widespread prevalence of antibiotic-resistant E. coli cultures in subclinical mastitis in the region.*

Keywords: subclinical mastitis; *Escherichia coli*; pheno-genotypic characteristics; antibiotic resistance

For citation. Pleshakova V.I., Lescheva N.A., Lorengel T.I. *Pheno-Genotypic Determinants of Antibiotic Resistance and Virulence in Escherichia coli Bacteria Isolated from the Milk of Cows with Subclinical Mastitis. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 95-109. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-939*

Введение

Перевод молочного скотоводства на промышленную технологию содержания наряду с положительными ветеринарно-санитарными, хозяйственно-экономическими аспектами выявил и ряд негативных тенденций, связанных, прежде всего, с резким снижением адаптивных и иммунологических функций организма животных [3; 7; 10; 19; 20]. Вследствие этого произошло резкое увеличение инфекционной патологии, обусловленной условно-патогенной и патогенной микрофлорой. К таким болезням бактериальной этиологии относится мастит коров, который развивается вследствие воздействия полиэтиологических и полифакторных причин и наносит существенный экономический ущерб. Рядом авторов показано, что наиболее важную роль в этиологии воспаления молочной железы у коров (до 85-90% всех случаев) играют стрептококки, стафилококки и несколько реже бактерии группы кишечной палочки [1; 5; 10; 15]. В тоже время, некоторые исследователи, определяющую роль в возникновении маститов отводят микроорганизмам *Escherichia coli* (коли-маститы) [4; 17].

Необходимо отметить, что в настоящее время традиционная терапия мастита заключается в использовании антибиотиков, которые относятся к наиболее часто применяемым лекарственным средствам. Вместе с тем, многими исследователями показано, что широкое применение антибактериальных препаратов в ветеринарии и медицине привело к возникновению к ним моно- и полирезистентности среди патогенных и условно-патогенных микроорганизмов [4; 8; 9; 12-14; 19]. В последнее время установлено резкое повышение фенотипической и генотипической устойчивости изолятов *E. coli*, к некоторым используемым противомикробным препаратам, в особенности, к тетрациклину, пенициллину, эритромицину, клиндамицину [2; 4; 16; 17; 20]. Поэтому выяснение этиологической роли антибиотикорезистентных культур *E. coli* в патогенезе субклинического мастита у коров является актуальной проблемой имеющей не только теоретическое, но и практическое значение.

Кроме того, важную роль в этиопатогенезе маститов коров, многие авторы отводят наличию различных вирулентных детерминант, и в част-

ности адгезинов, токсинов, ферментов и др., которые позволяют бактериям противостоять иммунной системе и поддерживать инфекционный процесс [15,16,18].

Учитывая вышеизложенное, целью представленного исследования явилось изучение фено-генотипических характеристик антибиотикорезистентности и вирулентных свойств бактерий *Escherichia coli*, выделенных из молока коров с субклиническим маститом.

Материал и методы исследования

Исследование проводили в животноводческих хозяйствах по содержанию крупного рогатого скота молочного направления, на базе ОмГАУ, БУ Омская областная ветеринарная лаборатория, а также в Уральском научно-исследовательском институте ФГБНУ УрФАНИЦУрО РАН. Диагностику заболевания коров субклинической формой мастита проводили в соответствии с рекомендациями «Наставление по диагностике, терапии и профилактике мастита у коров», с помощью клинических методов, реакции с 5%-ным димасином, пробой отстаивания, бактериологического анализа секрета молочных желез. Из всей совокупности выборки исследованных животных к больным субклинической формой мастита относили коров при наличии положительной реакции на быстрый маститный тест, по пробе отстаивания, путем подсчета количества соматических клеток и присутствия возбудителей мастита в секрете вымени.

Биоматериал (секрет молочных желез от коров с признаками субклинического мастита) помещали в стерильные транспортные контейнеры. Исследованию было подвергнуто 94 пробы, из которых выделено 59 культур *E. coli*.

Посев биоматериала производили на следующие питательные среды: 5% агар с кровью барана (основа колумбийский агар, Bio-Rad, производство Франция, кровь барана дефибринированная, EQO laboratories, производство Шотландия); желточно-солевой агар (питательный агар для культивирования микроорганизмов); ГРМ-агар (ФБУН ГНЦ ТМБ, производство Россия); хромогенный агар (Uri Selectu, Bio-Rad, производство Франция) и агар Сабуро с 2% глюкозы и хлорамфениколом (SJFUN diagnostics, производство Германия).

Идентификацию выделенных культур бактерий производили методом MALDI-TOF масс-спектрометрии (время пролетная матрично-ассоциированная лазерная десорбционная ионизационная масс-спектрометрия) на приборе Viter MS (Bio Mericux производство Франция). Далее масс-спек-

тры рибосомальных белков сравнивали с базой данных с использованием программного обеспечения Myla.

Чувствительность к антибиотическим препаратам определяли диско-диффузионным методом по стандартной методике, описанной в EUCAST с использованием агара Мюллера-Хинтон (Bio-Rad, Франция) и дисков, пропитанных препаратами антибиотиков с определенной нагрузкой. Для считывания антибиотикограмм использовали автоматический анализатор Adagio (Bio-Rad, Франция). Критерии для интерпретации категорий чувствительности по EUCAST: Clinical breakpoints-bacteria (v 10.0), по CLSJ Vet 06.2017.

Поддержание жизнеспособности культур осуществляли методом периодического пересева (субкультивирование) на МПА и МПБ. Было проведено тестирование чувствительности к 16-ти противомикробным препаратам, как широко используемым в ветеринарной практике, так и новых антибиотических веществ. Исследуемые антимикробные препараты относились к 10 фармакологическим группам: аминогликозидам, фторхинолонам, пенициллинам, диаминопиримидинам, макролидам, цефалоспорином, тетрациклинам, амфениколам, амоксициллинам и ингибиторам β -лактамаз и производным фосфоновой кислоты.

Выделение ДНК микроорганизмов проводили из 59 чистых культур *Escherichia coli* при помощи набора «ДНК-сорбент ВЕТ» (ООО НПФ «Литех», Россия). Для определения в пробах специфического участка ДНК бактериальных патогенов (*E. coli*) применяли комплект реагентов тест-систем «Резистом. ESBL-*E.coli*» (ООО НПФ «Литех», Россия). ПЦР-исследования осуществляли в режиме реального времени с применением анализатора CFX-96 (Bio-Rad, США).

Для определения генов вирулентности *E. coli* (*fimA*, *fimH*, *stx1*, *stx2*) использовали специфические олигонуклеотидные праймеры, синтезированные компанией «ДНК-Синтез», Россия (табл. 1).

Амплификацию ДНК проводили с помощью экстра-микса для ПЦР HS-TaqI ПЦР (2х) (Диа-м, Россия). Реакция амплификации протекала в термоцикле CFX-96 (Bio-Rad, США) по температурным режимам, модифицированным с учетом праймеров, используемых в реакции.

Визуализацию продуктов амплификации в электрофорезном варианте проводили с использованием 2% агарозного геля, окрашенного бромистым этидием при напряжении 190 В. Размер ампликонов определяли с использованием размерного стандарта с шагом 100 п.н. (SibEnzyme, Россия).

Таблица 1.

Последовательность праймеров, использованных в исследовании

Ген	Последовательность 5'–3', п.н.	Размер ампликона, п.н.	Белок, кодируемый геном
<i>Escherichia coli</i>			
<i>fimA</i>	F:TGGTGGGACCGTTCACTTTA R:AAGGTCGCATCCGCATTAG	443	Белковая субъединица пили FimA
<i>fimH</i>	F:ATGAAACGAGTTATTACCCTGTTTG R:TTATTGATAAACAAAAGTCACGCC	903	Адгезин fimH
<i>stx1</i> (RT)	F:GTGGCATTAATACTGAATTGTCATCA R:GCGTAATCCACGGACTCTTC Probe:TGATGAGTTTCCTTCTATGTGTCCGG-CAGAT (ROX)	109	Шигатоксины
<i>stx2</i> (RT)	F:GATGTTTATGGCGGTTTATTTGCG R:TGGAAAACCTCAATTTACCTTTAGCA Probe:TCTGTTAATGCAATGGCGGCGGATT (FAM)	83	

RT-в реальном времени

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ показал, что из 94 проб молока коров с субклиническим маститом в 59% случаев были выделены культуры *Escherichia coli*, что несколько отличается с данным полученными другими авторами, которые указывают, что уровень обнаружения данного микроорганизма у коров при маститах варьирует в диапазоне от 26,7% до 27,2%, что по-нашему мнению, может быть связано с количественными различиями в пробах, условиями содержания коров, различиями в методах обнаружения и идентификации микроорганизмов *E. coli*.

Установлено, что ряд культур *E. coli* были резистентны к некоторым антибиотикам аминогликозидной группы. В частности, 69,4% культур *E. coli* являлись устойчивыми к амикацину, к тобрамицину - 67,7%, к стрептомицину- 88,1 %, к гентамицину - 98,3% и к канамицину - 100%. Схожую тенденцию наблюдали некоторые исследователи в отношении культур *E. coli*, изолированных из фекалий и урогенитального тракта крупного рогатого скота [13; 18]. Относительно высокая устойчивость выделенных культур *E. coli* может быть связана с длительной антибиотикотерапией.

Также регистрировали резистентность культур *E. coli* к производным фосфоновой кислоты, а именно фосфомицину (64,4%). Установлено, что все выделенные культуры были резистентны к тетрациклину (100%). Указанная тенденция по-нашему мнению, может быть связана с тем, что данные антибиотические препараты наиболее часто применяются для лечения животных. В тоже время, наименьшую резистентность культуры *E. coli* проявили к ципрофлоксацину (18,6%), цефтриаксону (32,2%) и амоксиклаву (20,3%), что в основном совпадает с данными ряда исследователей [7; 9].

Необходимо отметить, что в некоторых случаях были идентифицированы культуры *E. coli*, устойчивые к двум или нескольким противомикробным препаратам, и в частности к тетрациклину и цефокситину или эритромицину и канамицину, а также к гентамицину, канамицину и стрептомицину (табл. 2). На высокую резистентность *E. coli* к указанным антибиотическим препаратам указывают и другие авторы [4; 11].

Результаты детекции генов антибиотикорезистентности показали, что среди выделенных культур *E. coli* гены blaCTX-M и blaOXA-10, были выявлены у 69,14% и 14,89% соответственно. Ген blaCTX-M представляет собой β -лактамазу расширенного спектра действия, опосредствующую резистентность микроорганизмов к β -лактамным антибиотикам, в особенности из семейства Enterobacteriaceae. По данным ряда авторов данный ген локализуется не только в хромосомах, но и плазмидах [16; 18]. Вследствие этого горизонтальный перенос генов или клональная экспансия могут способствовать довольно быстрому и широкому распространению генов blaCTX-M среди микроорганизмов вида *E. coli* [13; 16].

Необходимо отметить, что эпизоотический потенциал возбудителей инфекций, несущих CTX-M ферменты, достаточно высокий и сложный, так как является результатом действий нескольких интегративных механизмов, а именно: особенностями генов эпидемически значимых клонов бактерий, мобильных генетических элементов, конъюгативных плазмид и рекомбинации между генами. В последние годы во многих странах мира и в России отмечается увеличение доли эшерихий, продуцирующих БЛРС, особенно CTX-M типа. При этом именно среди *E. coli* по сравнению с другими энтеробактериями отмечается масштабное распространение CTX-M ферментов [2; 15]. Широкое распространение у бактерий гена blaCTX-M может отражать селективное давление на фоне часто применяемых бета-лактамных антибиотиков в ветеринарии.

У 14,89% культур *E. coli*, выделенных из секрета вымени коров с признаками субклинического мастита, был обнаружен ген blaOXA-10, который

кодирует β -лактамазу класса D. Также, как и ген blaCTX-M, он имеет хромосомно-плазмидную локацию [13; 15]. Ген blaOXA-10 кодирует резистентность к антибиотикам группы цефалоспоринов 3-го поколения, и в частности к цефотаксиму и цефтриаксону. По данным ряда авторов ген blaOXA-10 достаточно широко распространен в бактериях семейства Enterobacteriaceae и особенно часто встречается в популяциях E. coli [13-15; 18].

Таблица 2.

Профили резистентности культур Escherichia coli, выделенных из молока коров с субклиническим маститом (n=59)

Фармакологическая группа	Антибиотические препараты	Резистентные культуры E. coli	
		количество	относительные показатели %
Аминогликозиды	амикацин	41	69,4
	тобрамицин	40	67,7
	стрептомицин	52	88,1
	гентамицин	58	98,3
	канамицин	59	100,0
Фторхинолоны II поколения	ципрофлоксацин	11	18,6
Пенициллины	ампициллин	39	66,10
Амфениколы	хлорамфеникол	42	71,1
Диаминопиримидины	триметоприм	52	88,1
Макролиды	эритромицин	50	84,7
	азитромицин	46	77,9
Цефалоспориновые антибиотики III поколения	цефтриаксон	19	32,2
Амоксициллина и ингибитора β -лактамаз	амоксиклав	12	20,3
Цефалоспориновые антибиотики II поколения	цефокситин	51	86,4
Производные фосфоновой кислоты	фосфомицин	38	64,4
Тетрациклины	тетрациклин	59	100,0

Результаты проведенных исследований показали, что в 3,19% проб выявлен ген stx2, кодирующий шига-токсин кишечной палочки, что совпадает с данными ряда исследователей указывающих, что только у 2,3% изолятов E. coli были обнаружены гены stx1 и stx2 [16; 17]. В ряде работ

показано, что шига-токсин продуцирующая *E. coli* во многих случаях обуславливает ряд инфекционных патологий животных, и в частности: диарею и диспепсию молодняка, отечную болезнь свиней, геморрагический колит и гемолитико-уремический синдром у людей [6; 16]. Ряд авторов указывают, что шига-токсин продуцирующая *E. coli*, выделяемая коровами с молоком может являться источником инфекции для человека [14-16; 20].

Проведенные молекулярно-генетические исследования показали, что у 95,74% выделенных культур *E. coli* детектировались гены вирулентности *fimA*, а в 81,91% культур *fimH* (рис. 1), которые кодируют белки адгезии *E. coli* к эндотелиальным клеткам. Показано, что отличительной особенностью адгезивного белка *fimH* от *fimA* (основная фимбриальная субъединица) является чувствительное к лактозе связывание с клетками-мишенями. Ранее фактор вирулентности *fimA* был обнаружен в пробах молока коров с клиническим маститом [13; 19].

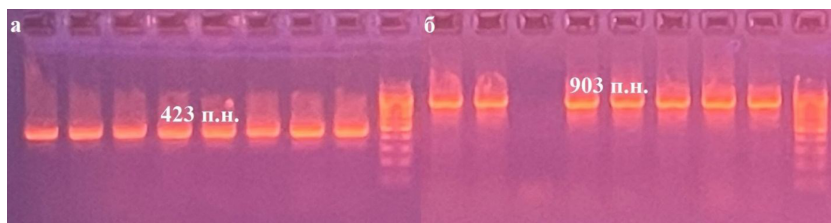


Рис. 1. Результаты электрофореза после амплификации участка гена *fimA*(а), для участка гена *fimH* (б).

Ряд авторов связывают наличие гена вирулентности *fimH* в геноме *E. coli* не только с явлением адгезии, но и формированием биопленок [17; 18]. Известно, что формирование биопленок позволяет бактериям избегать или супрессировать протективные иммунобиологические механизмы организма животных, а также уклоняться от действия противомикробных препаратов, что приводит к неэффективности антибиотикотерапии.

Заключение

Проведенные исследования показали, что резистентность к антимикробным препаратам культур *E. coli*, выделенных из секрета молочных желез коров с признаками субклинического мастита имеет довольно широкую вариабельность (от 18,6% до 100,0%). В тоже время, при определении чувствительности бактерии *E. coli* к антибиотическим препаратам, установлено, наличие как минимум 2 групп микроорганизмов. Первую

группу составили культуры *E. coli*, у которых резистентность к тестируемым антибиотикам составила больше 50%, вторая группа до 50%, кроме того, определенная доля микроорганизмов была одновременно устойчива к 2 и более фармакологическим группам антимикробных препаратов. Изучение фармакодинамических механизмов резистентности позволило выявить продуцирование бета-лактамаз расширенного спектра у 69,14% культур *E. coli*.

Кроме того, полученные результаты могут свидетельствовать о циркуляции генов антибиотикорезистентности и факторов вирулентности микроорганизмов у животных в животноводческих предприятиях Омской области, однако требуется более расширенный скрининг как различных видов микроорганизмов, так и факторов их вирулентности. Это позволит профилировать появление мультирезистентных и высокопатогенных штаммов микроорганизмов. Полученные результаты могут быть основой для разработки практических рекомендаций по тактике и стратегии планирования мероприятий по борьбе с маститом коров.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда (соглашение № 23-26-00118 от 13.01.2023)

Sponsorship information. This work was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation (Agreement No. 23-26-00118, dated January 13, 2023)

Список литературы

1. Антибиотикорезистентность штаммов *Staphylococcus aureus*, выделенных из молока высокопродуктивных коров / Артемьева О.А., Никанова Д., Котковская Е.Н., Гладырь Е.А., Доцев А.В., Зиновьева Н.А. // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 36. С. 867-874. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.867rus>
2. Крюкова В.В. Выделение и определение антибиотикоустойчивости патогенных стрептококков, возбудителей мастита коров // Материалы междунар. конф. посвященной 80-летию Самарской НИВС Россельхозакадемии. Самара. 2009. С. 239-242.
3. Кузьмин Г.Н. Инфекционный мастит у коров: монография. Воронеж: Изд-во Истоки, 2004. 146 с.
4. Кучинский М.П., Кузьминский И.И. Антибиотикорезистентность при терапии мастита у коров // Экология и животный мир. 2022. № 1. С. 45-50. <https://doi.org/10.47612/2224-1647-2022-1-45-50>

5. Ладанова М.А. Микрофлора молока при мастите у коров с определением ее чувствительности к антибактериальным препаратам // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2021. № 1. С. 38-40. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2021.1.38>
6. Матренов И.С., Красникова Е.С., Павленко В.В. Изучение антибиотикорезистентности возбудителей мастита у коров при микст-инфекции // Агрофорсайт. 2018. № 4. С. 8-11.
7. Микрофлора молока больных субклиническим маститом коров и овцематок, и ее антибиотикочувствительность / Алиев А.Ю., Булатханова Б.Б., Магамедов М.З., Магамедов А.С., Климов Н.Т. // Ветеринарная патология. 2019. № 2. С. 43-49. <https://doi.org/10.25690/VETPAT.2019.68.34544>
8. Наурзыбаев И.Б., Асильбеков Б.А. Изучение бактериальной обсемененности молока при субклиническом мастите // Инфекционные и незаразные болезни с-х животных в Казахстане. Алма-Ата. 1983. С. 101-103.
9. Определение антибиотикочувствительности при терапии больных маститом коров / Батраков А.Я., Виденин В.Н., Темникова Л.В., Зуева Е.Е. // Известия ОГАУ. 2014. № 3. С. 87-90.
10. Спектр микрофлоры, выделяемой при мастите коров / Джавадов Э.Д., Стекольников А.А., Ладанова М.А., Новикова О.Б. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2020. № 4. С. 66-68. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.4.66>
11. Степанова Е.А., Кузьминский И.И., Лиленко А.В. Возбудители мастита у коров и эффективность антимикробной терапии // Экология и животный мир. 2019. № 2. С. 68-72.
12. Шкиль Н.Н., Нефедова Е.В., Бурмистров В.А. Влияние наночастиц серебра препарата агровит на антибиотикорезистентность бактерий при лечении мастита у коров // Научный журнал КубГАУ. 2020. № 2. С. 20-24. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.1.55>
13. Antimicrobial Susceptibility and Resistance Genes in *Streptococcus uberis* Isolated from Bovine Mastitis in the Czech Republic // *Antibiotics* (Basel). 2023. Vol. 12(10), 1527. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12101527>
14. Garch F. El., Youala M., Simjee S., et al. Antimicrobial susceptibility of nine udder pathogens recovered from bovine clinical mastitis milk in Europe 2015-2016: VetPath results // *Veterinary Microbiology*. 2020. Vol. 245, 108644. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108644>
15. McDougall S., Hussein H., Petrovski K. Antimicrobial resistance in *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* and *Streptococcus dysgalactiae* from dairy cows with mastitis // *NZ Vet J*. 2014. Vol. 62(2). P. 68-76. <https://doi.org/10.1080/00480169.2013.843135>

16. Minst K., Märtilbauer E., Miller T., Meyer C. Short communication: Streptococcus species isolated from mastitis milk samples in Germany and their resistance to antimicrobial agents // J Dairy Sci. 2012. Vol. 95(12). P. 6957-6962. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5852>
17. Mitsumori K., et al. Virulence characteristics of Escherichia coli in acute bacterial prostatitis // J Infect. Dis. 1999. Vol. 180. P. 1378-1381. <https://doi.org/10.1086/314976>
18. Persson Y., Nyman A.K. et al. Etiology and antimicrobial susceptibility of udder pathogens from cases of subclinical mastitis in dairy cows in Sweden // Acta Vet. Scand. 2011. Vol. 53, 36. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-53-36>
19. Petrovski K., Grinberg A., Williamson N., Abdalla M.E. Susceptibility to antimicrobials of mastitis-causing Staphylococcus aureus, Streptococcus uberis and Str. dysgalactiae from New Zealand and the USA as assessed by the disk diffusion test // Aust Vet V. 2015. Vol. 93(7). P. 227-233. <https://doi.org/10.1111/avj.12340>
20. Thomas V, de Jong A, Moyaert H. et al. Antimicrobial susceptibility monitoring of mastitis pathogens isolated from acute cases of clinical mastitis in dairy cows across Europe: VetPath results // Int J Antimicrob Agents. 2015. Vol. 46(1). P. 13-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2015.03.013>

References

1. Antibiotikorezistentnost' shtammov Staphylococcus aureus, vydelennykh iz moloka vysokoproduktivnykh korov [Staphylococcus aureus antibiotic resistance isolated from milk of highly productive cows] / Artem'eva O.A., Nikanova D., Kotkovskaya E.N., Gladyr' E.A., Dotsev A.V., Zinov'eva N.A. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2016, vol. 51, no. 36, pp. 867-874. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.6.867rus>
2. Kryukova V.V. Vydelenie i opredelenie antibiotikoustoychivosti patogennykh streptokokkov, vozbuditeley mastita korov [Isolation and determination of antibiotic resistance of pathogenic streptococci, causative agents of cow mastitis]. *Materialy mezhdunar. konf. posvyashchennoy 80-letiyu Samarskoy NIVS Rossel'khozakademii* [Materials of the Intern. Conf. dedicated to the 80th anniversary of the Samara NIVS Rosselkhozakademia]. Samara, 2009, pp. 239-242.
3. Kuz'min G.N. *Infektsionnyy mastit u korov: monografiya* [Infectious mastitis in cows: Monograph]. Voronezh: Izd-vo Istoki, 2004, 146 p.
4. Kuchinskiy M.P., Kuz'minskiy I.I. Antibiotikorezistentnost' pri terapii mastita u korov [Antibiotic resistance in the treatment of mastitis in cows]. *Ekologiya i zhivotnyy mir* [Ecology and Animal World], 2022, no. 1, pp. 45-50. <https://doi.org/10.47612/2224-1647-2022-1-45-50>

5. Ladanova M.A. Mikroflora moloka pri mastite u korov s opredeleniem ee chuvstvitel'nosti k antibakterial'nym preparatam [Microflora of milk during mastitis in cows with determination of its sensitivity to antibacterial drugs]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* [Legal Regulation Issues in Veterinary Medicine], 2021, no. 1, pp. 38-40. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2021.1.38>
6. Matrenov I.S., Krasnikova E.S., Pavlenko V.V. Izuchenie antibiotikorezistentnosti vozbuditeley mastita u korov pri mikst-infektsii [Study of antibiotic resistance of mastitis pathogens in cows with mixed infection]. *Agroforsayt* [Agroforsait], 2018, no. 4, pp. 8-11.
7. Mikroflora moloka bol'nykh subklinicheskim mastitom korov i ovtsematok, i ee antibiotikochuvstvitel'nost' [Microflora of milk of cows and ewes with sub-clinical mastitis and its antibiotic sensitivity] Aliev A.Yu., Bulatkhanova B.B., Magamedov M.Z., Magamedov A.S., Klimov N.T. *Veterinarnaya patologiya* [Veterinary Pathology], 2019, no. 2, pp. 43-49. <https://doi.org/10.25690/VET-PAT.2019.68.34544>
8. Naurzybaev I.B., Asil'bekov B.A. Izuchenie bakterial'noy obsemenennosti moloka pri subklinicheskom mastite [The study of bacterial contamination of milk in cows with subclinical mastitis]. *Infektsionnye i nezaraznye bolezni s-kh zhivotnykh v Kazakhstane* [Infectious and Non-Infectious Diseases of the Agricultural Animals in Kazakhstan]. 1983, pp. 101-103.
9. Opredelenie antibiotikochuvstvitel'nosti pri terapii bol'nykh mastitom korov [Determination of antibiotic sensitivity in therapy of cows with mastitis] / Batrakov A.Ya., Videnin V.N., Temnikova L.V., Zueva E.E. *Izvestiya OGAU* [Izvestia Orenburg State Agrarian University], 2014, no. 3, pp. 87-90.
10. Spektr mikroflory, vydelyaemoy pri mastite korov [Spectrum of microflora isolated in cows with mastitis] / Dzhavadov E.D., Stekol'nikov, A.A., Ladanova M.A., Novikova O.B. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii* [Legal regulation Issues in Veterinary Medicine], 2020, no. 4, pp. 66-68. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.4.66>
11. Stepanova E.A., Kuz'minskiy I.I., Lilenko A.V. Vozbuditeli mastita u korov i effektivnost' antimikrobnoy terapii [Causative agents of mastitis in cows and the effectiveness of antimicrobial therapy]. *Ekologiya i zhivotnyy mir* [Ecology and Animal World], 2019, no. 2, pp. 68-72.
12. Shkil' N.N., Nefedova E.V., Burmistrov V.A. Vliyanie nanochastits serebra, preparata agrovit na antibiotikorezistentnost' bakteriy pri lechenii mastita u korov [The effect of silver nanoparticles of the drug agrovit on antibiotic resistance of bacteria in the treatment of mastitis in cows]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific Journal KubSAU], 2020, no. 2, pp. 20-24. <https://doi.org/10.17238/issn2072-6023.2020.1.55>

13. Antimicrobial Susceptibility and Resistance Genes in *Streptococcus uberis* Isolated from Bovine Mastitis in the Czech Republic. *Antibiotics (Basel)*, 2023, vol. 12(10), 1527. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12101527>
14. Garch F.El., Youala M., Simjee S., et al. Antimicrobial susceptibility of nine udder pathogens recovered from bovine clinical mastitis milk in Europe 2015-2016: VetPath results. *Veterinary Microbiology*, 2020, vol. 245, 108644. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2020.108644>
15. McDougall S., Hussein H., Petrovski K. Antimicrobial resistance in *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* and *Streptococcus dysgalactiae* from dairy cows with mastitis. *NZ Vet J.*, 2014, vol. 62(2), pp. 68-76. <https://doi.org/10.1080/00480169.2013.843135>
16. Minst K., Märtilbauer E., Miller T., Meyer C. Short communication: *Streptococcus* species isolated from mastitis milk samples in Germany and their resistance to antimicrobial agents. *J Dairy Sci*, 2012, vol. 95(12), pp. 6957-6962. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5852>
17. Mitsumori K, et al. Virulence characteristics of *Escherichia coli* in acute bacterial prostatitis. *J Infect. Dis.*, 1999, vol. 180, pp. 1378-1381. <https://doi.org/10.1086/314976>
18. Persson Y., Nyman A.K. et al. Etiology and antimicrobial susceptibility of udder pathogens from cases of subclinical mastitis in dairy cows in Sweden. *Acta Vet. Scand.*, 2011, vol. 53, 36. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-53-36>
19. Petrovski K., Grinberg A., Williamson N., ME Abdalla Susceptibility to antimicrobials of mastitis-causing *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus uberis* and *Str. dysgalactiae* from New Zealand and the USA as assessed by the disk diffusion test. *Aust Vet V.*, 2015, vol. 93(7), pp. 227-233. <https://doi.org/10.1111/avj.12340>
20. Thomas V, de Jong A, Moyaert H. et al. Antimicrobial susceptibility monitoring of mastitis pathogens isolated from acute cases of clinical mastitis in dairy cows across Europe: VetPath results. *Int J Antimicrob Agents*, 2015, vol. 46(1), pp13-20. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2015.03.013>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Плешакова Валентина Ивановна, доктор ветеринарных наук, профессор
ФГБОУ ВО Омский ГАУ
Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
vi.pleshakova@omgau.org

Лещёва Надежда Алексеевна, зав. кафедрой, кандидат ветеринарных наук, доцент

ФГБОУ ВО Омский ГАУ

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация

na.lescheva@omgau.org

Лоренгель Татьяна Иосифовна, кандидат ветеринарных наук

ФГБОУ ВО Омский ГАУ

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация

ti.lorenzel@omgau.org

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina I. Pleshakova, Doctor of Veterinary Sciences, Professor

Omsk SAU

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

vi.pleshakova@omgau.org

SPIN-code: 4372-5742

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7896-2339>

ResearcherID: ABG-9332-2021

Scopus Author ID: 57214335417

Nadezhda A. Leshcheva, Head of the Department, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

Omsk SAU

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

na.lescheva@omgau.org

SPIN-code: 1482-8172

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6334-0422>

ResearcherID: AIF-2193-22

Scopus Author ID: 57223669914

Tatyana I. Lorengel, Candidate of Veterinary Sciences

Omsk SAU

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

ti.lorenzel@omgau.org

SPIN-code: 4352-5240

Scopus Author ID: 57214329921

Поступила 14.02.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 02.04.2024

Received 14.02.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 02.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882

УДК 678.83:615.322



Научная статья

МОДИФИКАЦИЯ ЖЕЛАТИНОВЫХ ПЛЕНОК РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ

Е.В. Товстик, Е.С. Широкова

Обоснование. Ценным фармакопейным сырьем для создания лекарственных пленок выступают широко культивируемые растения с известным потенциалом лекарственных свойств. Среди них облепиха крушиновидная (*Hipporhae rhamnoides*) и арония черноплодная (*Aronia melanocarpa*). Включение водных экстрактов из различных структурных частей данных растительных видов в состав лекарственных пленок представляют собой инновационную концепцию трансдермальных терапевтических систем, главным образом, за счет фитохимических компонентов. Кроме того, включением растительных экстрактов в состав лекарственных пленок можно варьировать их эксплуатационные свойства.

Цель. Оценка влияния водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной на эксплуатационные свойства желатиновых пленок.

Материалы и методы. Измельченное растительное сырье (листья и плоды) подвергали экстрагированию водой в режиме 30 мин – кипящая водяная баня, 15 мин – при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$). Экстракты анализировали на предмет содержания в них полифенольных соединений и флавоноидов спектрофотометрическим методом; дубильных веществ – титриметрическим методом; экстрактивных веществ – методом гравиметрии. Пленки получали методом полива из вязкого раствора (10 масс.% желатина марки П-11, 5 масс.% глицерина). Оценивали влияние растительных экстрактов на температурные характеристики, прочность при растяжении и удлинение при разрыве, паропроницаемость, водопоглощение желатиновых пленок. Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011.

Результаты. Доказана антиоксидантная способность водных вытяжек из растительного сырья путем определения содержания в них полифенолов,

флавоноидов, дубильных веществ. Наиболее высокие значения определяемых показателей установлены для вытяжек из листьев, чем плодов. Технология получения желатиновых пленок обеспечила высвобождение из них фитохимических компонентов. Введение в состав желатиновых пленок растительных экстрактов с большим содержанием экстрактивных веществ повышает удлинение при разрыве; тогда как прочность при растяжении и водопоглощение имели тенденцию к снижению.

Образцы желатиновых пленок с растительными экстрактами являются паропроницаемыми, что обуславливает возможность их использования в качестве трансдермальных терапевтических систем.

Заключение. Введение водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной в состав желатиновых пленок является эффективным методом улучшения их эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: облепиха крушиновидная; арония черноплодная; полифенолы; желатиновые пленки; растительные экстракты

Для цитирования. Товстик Е.В., Широкова Е.С. Модификация желатиновых пленок растительными экстрактами // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 110-129. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882

Original article

MODIFICATION OF GELATIN FILMS WITH PLANT EXTRACTS

E.V. Tovstik, E.S. Shirokova

Background. Widely cultivated plants with known potential for medical properties for example sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) and chokeberry (*Aronia melanocarpa*) are valuable pharmacopeial raw materials for creating medicinal films. The usage of aqueous extracts from various structural parts of these plants into medical films is an innovative concept for transdermal therapeutic systems, mainly due to their phytochemical components. In addition, the performance properties of medical films can be varying by including plant extracts in the composition.

Purpose. The investigation of the influence of aqueous extracts from leaves and fruits of sea buckthorn and chokeberry on the performance properties of gelatin films.

Materials and methods. Crushed plant materials (leaves and fruits) were subjected to extraction with water: in a boiling water bath for 30 minutes and at room temperature ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) for 15 minutes. The quantitative content of extracts were

analyzed: polyphenolic compounds and flavonoids by spectrophotometric method; tannins by titrimetric method; extractives by gravimetry. Films were obtained by casting from a viscous solution (10 wt.% P-11 gelatin, 5 wt.% glycerol). The influence of plant extracts on temperature characteristics, tensile strength and elongation at break, vapor permeability, water absorption, and hydrophilicity of gelatin films was investigated. Statistical processing of measurement results was carried out according with GOST R 8.736-2011.

Results. *The antioxidant activity of aqueous extracts from plant materials has been approved by determining the content of polyphenols, flavonoids, and tannins in them. The higher values of that parameters were established for extracts from leaves than from fruits. The technology of gelatin films production ensured the release of phytochemical components from them. As the extractive substances content in gelatin films is increasing the elongation at break and hydrophilicity are increasing whereas the tensile strength and water absorption are decreasing. Gelatin films with plant extracts are vapor-permeable, which makes them possible to use for transdermal therapeutic systems.*

Conclusion. *Thus, the usage of aqueous extracts from the leaves and fruits of sea buckthorn and chokeberry for gelatin films is an effective method for improving their performance properties.*

Keywords: *sea buckthorn; chokeberry; polyphenols; gelatin films; plant extracts*

For citation. *Tovstik E.V., Shirokova E.S. Modification of Gelatin Films with Plant Extracts. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 110-129. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-882*

Введение

В настоящее время трансдермальные терапевтические системы, в том числе лекарственные пленки (ЛП), являются одним из перспективных и активно развивающихся направлений в фармацевтической промышленности [27]. Актуальность их разработки связана со снижением кратности приема лекарственных средств и повышением комплаентности пациентов к проводимой терапии [6].

Лечебный эффект ЛП обусловлен введением в их состав одного или нескольких действующих веществ (фитопрепараты, ферменты и др.) [4]. Их контролируемое высвобождение из ЛП обеспечивается широким набором вспомогательных веществ, в том числе пленкообразователями, в качестве которых часто используют желатин [7; 15].

В литературе сведения о роли биологически активных веществ растительного происхождения в составе ЛП ограничены в основном антибак-

териальной и заживляющей активностью [14; 18; 31]. Данные о влиянии растительных экстрактов на функциональные свойства ЛП представлены в меньшей степени. Отмечается, улучшение механических свойств пленок, состоящих из смеси хитозана и желатина путем введения в их состав биоактивных веществ растительного происхождения [30]; уменьшение хрупкости альгинатных пленок за счет введения в их состав полисахаридов [19].

В качестве параметров оценки эффективности ЛП предложены различные показатели: гидрофильность, паропроницаемость, механическая прочность. Они служат для прогнозирования высвобождения ЛС из трансдермальных терапевтических систем, характеризуют их газопроницаемость и способность противостоять разрушению под действием различных деформаций (растяжение, сжатие, изгиб) при нанесении на кожу [5].

Ценным фармакопейным сырьем для создания ЛП выступают широко культивируемые растения с известным потенциалом лекарственных свойств. Среди них можно выделить облепиху крушиновидную (*Hippophae rhamnoides*), и аронию черноплодную (*Aronia melanocarpa*). Их лекарственный потенциал связан с высоким содержанием биологически активных веществ, в том числе полифенолов [3; 8; 22], для которых характерны антимикробные и антиоксидантные свойства [21].

Включение в состав ЛП экстрактов из данных растительных видов представляет собой инновационную концепцию трансдермальных терапевтических систем, главным образом, за счет фитохимических компонентов. Кроме того, включением растительных экстрактов в состав ЛП можно варьировать их эксплуатационные свойства.

Цель исследования – оценка влияния водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной на эксплуатационные свойства желатиновых пленок.

Материалы и методы исследования

В работе использовали неочищенные водные экстракты из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной. Растительное сырье было заготовлено на территории г. Кирова (Кировская область, Россия). Доставленные в лабораторию образцы промывали дистиллированной водой, сушили, измельчали в мельнице рожкового типа, пропускали через сито.

Экстракция полифенольных веществ осуществлялась по методике, изложенной в ОФС.1.4.1.0018.15 Государственной фармакопеи Российской Федерации (ГФ РФ) XIV издания. Порошок растительного сырья с разме-

ром частиц менее 1 мм экстрагировали водой (1 : 20) в течение 30 мин на кипящей водяной бане, далее 15 мин при комнатной температуре (20 ± 2 °C) Полученный раствор фильтровали через бумажный фильтр с размером пор 2–3 мкм (Россия). Готовые водные экстракты подвергали анализу.

Анализ экстрактов из растительного сырья. Определение общего содержания полифенольных соединений и флавоноидов проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре марки ПЭ5300ВИ (ООО «Экросхим», Россия) согласно ГОСТ 55488-2013 и ГОСТ 13399-89. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту и рутин соответственно.

Содержание дубильных и экстрактивных веществ определяли титриметрическим и гравиметрическим методом соответственно по ОФС.1.5.3.0008 и ОФС.1.5.3.0006.1.5.3, изложенных в ГФ РФ XV издания.

Технология приготовления желатиновых пленок. Пленки готовили методом полива [10]. В качестве пленкообразователя использовали пищевой желатин марки П-11, представляющий собой гидролизированный коллаген с высоким содержанием гидроксипролина (85–88%), воды (10–16%) и золы (0,8–2,0%). Желатин в количестве 10 масс.% смешивали с дистиллированной водой (контроль) или водным экстрактом из растительного сырья при температуре 45°C в течение 30 мин. К раствору добавляли 5 масс.% пластификатора – глицерин (чда, Россия), и перемешивали. Смесь выдерживали в термостате при температуре 37°C в течение 30 мин. После удаления пузырьков воздуха из вязких растворов, отливали их в формы размером 20×25×5 мм при комнатной температуре (20 ± 2 °C) и относительной влажности воздуха 40±5%. Варьированием объема раствора добивались получения пленок требуемой толщины. Высушенные пленки перед испытанием кондиционировали в эксикаторе над силикагелем в течение 72 ч.

Исследование биодоступности биологически активных веществ из желатиновых пленок. Высвобождение биологически активных веществ (флавоноидов) из пленок оценивали методом диффузии. Для этого вырезанные из пленок диски диаметром 5 ± 1 мм помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, предварительно увлажненную 2%-ым спиртовым раствором хлорида алюминия. Стыки чашек герметизировали парафилом для исключения высыхания. Чашки с образцами пленок помещали в термостат при температуре 37°C на 24 ч. По наличию окрашенных в желтый цвет зон вокруг дисков судили о высвобождении флавоноидов из образцов. Контролем служила пленка без растительных экстрактов.

ИК-Фурье-спектроскопия и оценка эксплуатационных свойств желатиновых пленок. ИК-спектроскопию многократно нарушенного полного внутреннего отражения проводили с помощью ИК-Фурье-спектрометра «Инфралюм ФТ-801» (ООО НПФ «СИМЕКС», Россия) при комнатной температуре ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) с последующей идентификацией функциональных групп.

Толщину полученных пленок определяли индикаторным толщиномером марки ТН 10-60 с точностью до 0,01 мм не менее чем в пяти точках с последующим расчетом среднего значения.

Температурные характеристики полученных пленок оценивали с помощью термического анализатора (ТГ/ДТА) DTG-60 («Shimadzu», Япония). Измерения проводили в атмосфере воздуха ($150 \text{ см}^3/\text{мин}$) в платиновых тиглях. Масса образцов для испытания составляла $2,35 \pm 0,35$ мг. В качестве эталона использовали оксид алюминия. Температурная программа: нагрев со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{мин}$ от комнатной температуры ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) до 550°C .

Прочность при растяжении и удлинение при разрыве образцов желатиновых пленок оценивали на разрывной машине AG-X5 («Shimadzu», Япония) при температуре (23 ± 2) $^\circ\text{C}$ и скорости движения активного захвата 100 мм/мин. Для исследования использовали образцы пленок размером 1×5 см; растяжение осуществляли в вертикальном направлении; в ходе испытания фиксировали напряжение и удлинение при разрыве. Испытания проводили в пятикратной повторности с последующим расчетом среднего значения.

Паропроницаемость желатиновых пленок определяли гравиметрическим методом. Для этого образцы с целостной структурой, закрепляли с помощью парафилома на горлышке стеклянных пробирок, наполненных дистиллированной водой (2 см^3). Систему взвешивали, помещали в эксикатор над силикагелем. Повторное взвешивание проводили через 24, 48 и 72 час после начала опыта.

Водопоглощение желатиновых пленок изучали по характеру их набухания в воде гравиметрическим методом с опорой на ГОСТ 20869-75. Образцы размером 2,2×5,0 см помещали на капроновую сетку, закрепленную в емкости на поверхности дистиллированной воды. Через 15, 30, 45 и 60 мин после начала опыта проводили взвешивание образцов [5].

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов измерений проводили согласно ГОСТ Р 8.736-2011. Данные выражали как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Взаимосвязь исследуемых показателей оценивали с помощью ранговых коэффициентов корреляции Спирмена (r). Расчеты выполняли в программе *Microsoft Excel*.

Результаты исследования

Анализ водных экстрактов из растительного сырья был направлен на установление содержания биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами. Проведенный анализ позволил определить растительное сырье, обладающее наибольшим антиоксидантным потенциалом.

Согласно полученным данным концентрация биологически активных веществ в водных экстрактах варьировалась от 5,24 мкг/см³ до 3,35 мкг/см³ и была выше у листьев, чем плодов (табл.).

Таблица.

Содержание биологически активных и экстрактивных веществ в водных экстрактах из растительного сырья

Морфологический орган растения	Культура	Концентрация			
		Полифенольные соединения, мкг/см ³	Флавоноиды, мкг/см ³	Дубильные вещества, мкг/см ³	Экстрактивные вещества, мкг/см ³
Листья	1	3,35±0,30	18,29±0,11	3,330±0,030	10,9±1,3
	2	1,50±0,10	14,32±0,07	2,330±0,024	6,9±0,7
Плоды	1	0,910±0,010	5,73±0,04	0,910±0,008	19,9±2,0
	2	1,98±0,20	5,24±0,04	2,41±0,021	22,5±3,1

Примечание: 1 – облепиха крушиновидная; 2 – арония черноплодная.

Наибольшим содержанием флавоноидов, полифенольных и дубильных веществ характеризовались водные экстракты из листьев аронии черноплодной. По сравнению с листьями облепихи крушиновидной, концентрация данных веществ в водных экстрактах из листьев исследуемого растительного вида была выше в 1,3; 2,3 и 1,4 раза соответственно.

Согласно данным гравиметрического анализа, содержание экстрактивных веществ в водных экстрактах варьировалось от 6,9 до 22,5 мкг/г. Более высокое, по сравнению с листьями, их содержание было установлено в плодах: для аронии черноплодной в 3,3 раза; облепихи крушиновидной – 1,8 раза.

Состав и технология изготовления желатиновых пленок обеспечивали выход из них биологически активных веществ (флавоноидов), что было подтверждено в лабораторном опыте по исследованию их биодоступности. При испытании во всех опытных вариантах качественная реакция на флавоноиды была положительной.

ИК-спектры желатиновых пленок, приготовленных на основе растительных экстрактов, были идентичны спектрам контроля и соответствовали описаниям, представленным в литературе [11; 16; 28]. Добавление в

состав желатиновых пленок растительных экстрактов вызывало незначительные изменения в ИК спектрах образцов.

Наибольшие различия с контролем отмечали в области $3700\text{--}3500\text{ см}^{-1}$, для которой характерны валентные колебания N–H группы желатина (широкая полоса в интервале частот $3300\text{--}3500\text{ см}^{-1}$) и связи O–H [2, 9] (рис. 1).

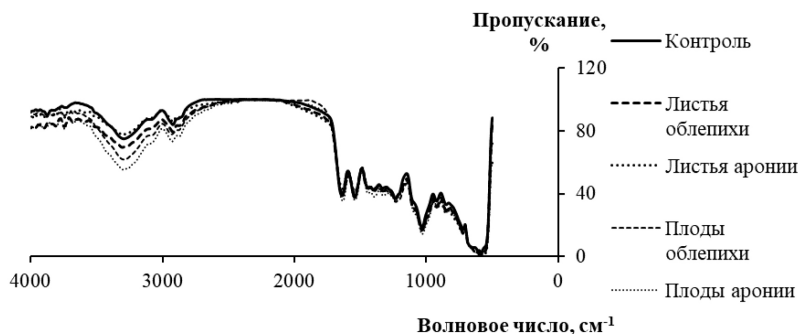


Рис. 1. ИК-спектры образцов желатиновых пленок

Так как в водных экстрактах из растительного сырья в большом количестве присутствовали гидроксированные соединения (полифенолы) [33], для которых характерны широкие полосы поглощения при $3650\text{--}3200\text{ см}^{-1}$ (обусловленные валентными колебаниями связи O–H), то площадь пика в этой области находилась в прямой связи с их содержанием ($r = 0,87$) (рис. 2).

Площадь пика, см^2

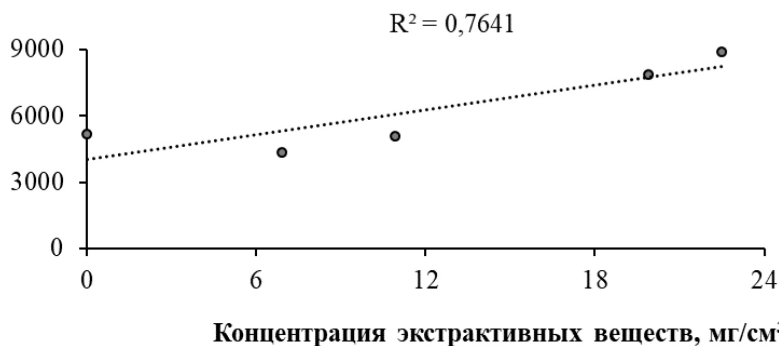


Рис. 2. Зависимость площади пика, соответствующего валентным колебаниям связи O–H от концентрации экстрактивных веществ в водных вытяжках из растительного сырья

Среди исследуемых параметров, термическая стабильность является одной из значимых характеристик ЛП. В данной работе термические свойства пленок были проанализированы с помощью ТГА-кривых. Для всех образцов желатиновых пленок наблюдали три основные стадии потери массы: первая стадия (до 140°C) – связана с испарением влаги [26]; вторая стадия (от 140°C до 270°C) – вызвана потерей глицерина [24]; третья стадия (от 270°C) – обусловлена разложением основного пептида желатиновой матрицы [23] (рис. 3).

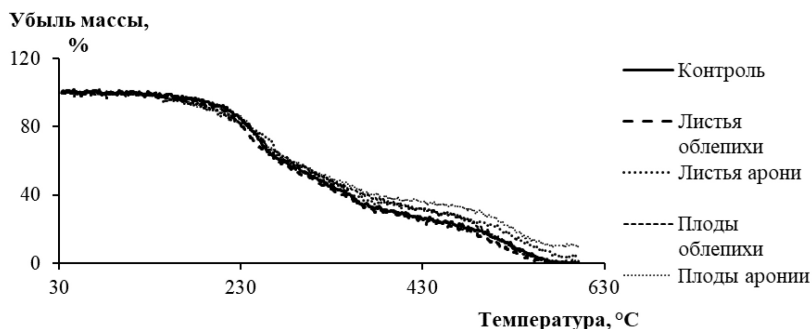


Рис. 3. Термограммы желатиновых пленок

При этом термическая стабильность желатиновых пленок существенно не зависела от наличия в их составе растительных экстрактов.

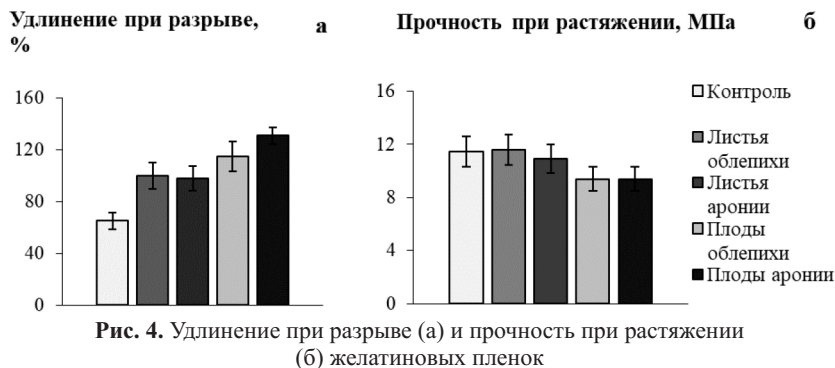
Для образцов желатиновых пленок, содержащих растительные экстракты, удлинение при разрыве было больше, чем в контроле. При этом наличие в составе пленок экстрактов из плодов, вызывало более выраженный прирост удлинения при разрыве по сравнению с контролем (рис. 4 а).

Следует отметить, что у образцов пленок с включением экстрактов из плодов облепихи, удлинение при разрыве увеличилось до 115%, аронии – до 131% по сравнению с 65%, отмеченным для контрольного образца.

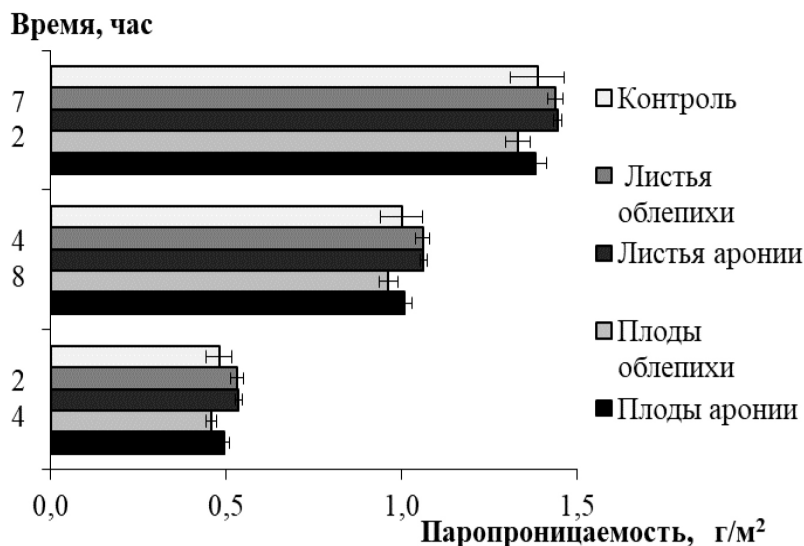
Прочность при растяжении для пленок, содержащих водные экстракты из листьев, была сопоставима с прочностью для контрольного образца. Для пленок, содержащих экстракты из плодов, отмечено снижение прочности при растяжении до 9,4 МПа по сравнению с контролем (11,4 МПа) (рис. 4 б).

Полученные данные согласуются с данными по содержанию экстрактивных веществ. Так для образцов, приготовленных на основе растительных экстрактов, содержащих большее количество экстрактивных веществ,

отмечается большее удлинение при разрыве и меньшее значение прочности при растяжении. В целом прочностные показатели для контрольной пленки и пленок, содержащих растительные экстракты, были сопоставимы с данными, представленными в литературе [13; 25].



Значения паропроницаемости исследуемых пленок варьировались от 0,46–0,54 г/м² на начальном сроке наблюдений (24 час) до 1,33–1,45 г/м² на сроке 72 час (рис. 5).



Независимо от срока наблюдения, отмечали тенденцию к повышению паропроницаемости пленок на основе экстрактов из листьев растений. Регистрировали обратно пропорциональную зависимость между паропроницаемостью пленок и содержанием в них экстрактивных веществ ($r = -0,84$).

Для желатиновых пленок с растительными экстрактами фиксировали более низкие значения водопоглощения, чем в контроле (рис. 6).

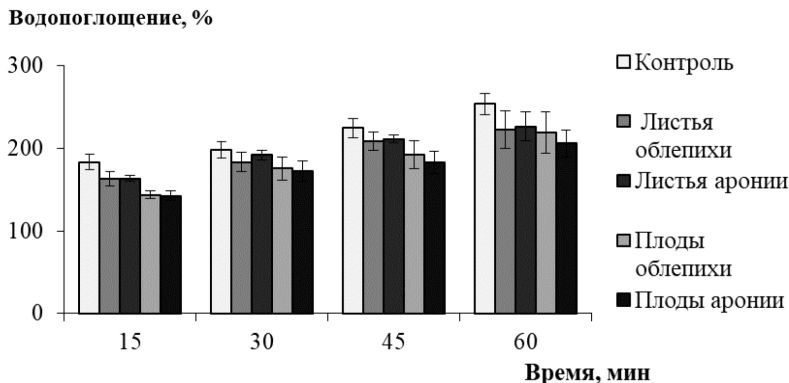


Рис. 6. Водопоглощение желатиновых пленок после принудительной сушки в динамике

На разных сроках наблюдений (15, 30, 45, 60 мин) снижение водопоглощения составило 14–25%; 3–13%; 7–20%; 15–21% соответственно. Среди исследуемых растительных видов, водные экстракты из плодов аронии черноплодной, в наибольшей степени снижали водопоглощение пленок.

Обсуждение

В процессе жизнедеятельности в растениях синтезируются различные органические вещества, среди которых много соединений с широким спектром фармакологического действия. Исследование их содержания в составе растительного сырья является важным этапом при определении целесообразности их включения в состав лекарственных форм, в том числе ЛПП [32]. Например, введение в ЛПП антиоксидантов, способных к немедленной блокировке диффузии свободных радикалов, может значительно ускорить процесс заживления ран [17]. В литературе не однократно обсуждалась взаимосвязь между антиоксидантной способностью и общим содержанием полифенолов в растениях, определяющих их антиоксидантные свойства [20]. Согласно полученным данным наибольшая концентрация антиоксидантов (полифенолы, флавоно-

иды, дубильные вещества) была обнаружена в водных экстрактах из листьев исследуемых растительных видов, чем из их плодов.

Кроме биологически активных веществ, в растениях вырабатываются белки, слизи, пектины. Данные вещества могут входить в состав сухого остатка экстрактов, и не всегда являются балластом [12]. Присутствие подобных веществ, наряду с гидроксильными соединениями, в составе желатиновых пленок может улучшить их свойства за счет снижения хрупкости, повышения растяжимости, гибкости, эластичности [19; 29]. Аналогичные результаты, были получены в данном исследовании: большее удлинение при разрыве, меньшую прочность при растяжении и более низкую паропроницаемость регистрировали у пленок, приготовленных на основе водных экстрактов с более высоким содержанием экстрактивных веществ.

Известно, что эксплуатационные свойства пленок обусловлены химической природой применяемого полимера и включенными в их состав компонентами [7]. Кроме того, свойства пленок все чаще разрабатываются для обеспечения физиологической совместимости и способности контролировать высвобождение лекарственного средства при воздействии различных биологических сред [15]. Для обеспечения биодоступности активных компонентов лекарственных пленок, необходимы образцы с хорошими показателями смачиваемости. Это связано с тем, что при контакте пленки с жидкостью происходит ее набухание, в результате чего твердая форма образца переходит в гелеобразную.

Согласно данным литературы, введение растительных экстрактов в состав пленки изменяет ее гидрофильность [1]. Аналогичные результаты были получены в данном исследовании: включение водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной в состав желатиновых пленок снижало их влагопоглощение. Кроме того, технология создания желатиновых пленок обеспечивала выход антиоксидантов из них.

Заключение

Установлено, что в водных экстрактах из листьев облепихи крушиновидной, аронии черноплодной концентрация веществ с антиоксидантным действием выше, чем из плодов. Наряду с этим в плодах, по сравнению с листьями отмечается более высокое содержание экстрактивных веществ, определяющих эксплуатационные свойства желатиновых пленок. В связи с чем, как листья, так и плоды облепихи крушиновидной, аронии черноплодной следует рассматривать в качестве перспективного сырья для производства ЛП.

При исследовании физико-химических и эксплуатационных свойств желатиновых пленок, установлено, что введение в их состав растительных экстрактов с большим содержанием экстрактивных веществ повышает удлинение при разрыве; тогда как прочность при растяжении и водопоглощение имеют тенденцию к снижению.

Образцы желатиновых пленок с растительными экстрактами являются паропроницаемыми, что обуславливает возможность их использования в трансдермальных терапевтических системах.

Таким образом, на примере водных экстрактов из листьев и плодов облепихи крушиновидной, аронии черноплодной экспериментально доказана возможность модификации эксплуатационных свойств желатиновых пленок.

Заключение комитета по этике. Неприменимо.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Базунова М.В., Чернова В.В., Салихов Р.Б. и др. Физико-химические свойства полимерных композитов на основе полиолефинов и их отходов и лужги подсолнечника // Вестник Башкирского университета. 2018. № 1. С. 70–74. <https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2018.1.13>
2. Браун Д., Флорид А., Сейнсбери М. Органическая спектроскопия. Москва: Мир, 1992. 300 с.
3. Исупова М.В., Елец А. А., Гребенев И.Р. и др. Количественная оценка полифенольных соединений в водно-спиртовых извлечениях из плодов и листьев // Материалы докладов XI международного симпозиума: Фенольные соединения: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: ИФР РАН, 2022. М.: Издательство «Перо», 2022. С. 103.
4. Кищенко В.М., Верниковский В.В., Привалов И.М., Шевченко А.М. Пленки в Российской медицине и косметологии: история развития, классификация, технология // Фармация и фармакология. 2020. Т. 8, № 2. С. 124–132. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-2-124-132>
5. Ковязина Н.А. Изучение физико-химических свойств пленок лекарственных секстафаг // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. 2022. № 1. С. 78–84.
6. Лосенкова С.О., Тюнина Е.Д., Павлюченкова Н.А. и др. Современный ассортимент трансдермальных лекарственных форм на фармацевтическом

- рынке России // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2022. Т. 21, № 1. С. 152–159. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.20>
7. Мясенко Д.М., Михайленко П.Г. Исследование краевого угла смачивания полиэтиленовой пленки, модифицированной органическими и неорганическими компонентами // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12 (102). Ч. 1. С. 49–53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.009>
 8. Платонова Е.Ю., Плюснин С.Н., Шапошников М.В., Москалев А.А. Арония черноплодная (*Aronia melanocarpa*) как источник соединений с потенциальной геропротекторной активностью // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 2 (209). С. 2–9. [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2\(209\).1](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2(209).1)
 9. Преч Э., Бульманн Ф., Аффольгер К. Определение структуры органических соединений. Москва: Мир, 2006. 438 с.
 10. Шлейкин А.Г., Шаталов И.С., Шаталова А.С. Влияние транслутамины на механические характеристики упаковочного материала на основе желатина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 2. 5 с.
 11. Ямпольская Г.П., Тарасевич Б.Н., Еленский А.А. Вторичная структура глобулярных белков в адсорбционных слоях на границе фаз раствор-воздух по данным ИК-спектроскопии Фурье // Коллоидный журнал. 2005. Т. 67, № 3. С. 426–432.
 12. Ahmad U., Ahmad R.S. Antidiabetic properties of aqueous extract of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves on streptozotocin-induced diabetes in albino rats // Complementary and Alternative Medicine BMC, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2245-2>
 13. Amjadi S., Emaminia S., Heyat Davudian Sh. et al. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles // Carbohydrate Polymers, 2019, vol. 216, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.062>
 14. Andrighetti T.T., Jacques M.C., Schmitt C. et al. Polymeric pullulan films incorporated with extract of *Cyclospermum leptophyllum* (pers.) Sprague for healing purposes // Research, Society and Development, [S. l.], 2022, vol. 11, no. 15, pp. e209111537082. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37082>
 15. Antosik A.K., Miądlicki P., Wilpiszewska K. et al. Polysaccharide films modified by compounds of natural origin and silver having potential medical applications // Cellulose, 2021, vol. 28(6), pp. 7257–7271. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04008-0>
 16. Cerqueira M.A., Souza B.W., Teixeira, J.A., Vicente A.A. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films: a comparative study // Food Hydrocolloids, 2012, vol. 27(1), pp. 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.007>

17. Contardi M., Ayyoub A. M. M., Summa M. Self-Adhesive and Antioxidant Poly(vinylpyrrolidone)/Alginate-Based Bilayer Films Loaded with Malva sylvestris Extracts as Potential Skin Dressings // *ACS Applied Bio Materials*, 2022, vol. 5(6), pp. 2880–2893. <https://doi.org/10.1021/acsabm.2c00254>
18. Costa N.N., Lopes L.F., Ferreira D.F. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation // *Materials Science and Engineering: C*, 2020, vol. 109, art. 110643. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110643>
19. Donato P.D., Taurisano V., Poli A. et al. Vegetable wastes derived polysaccharides as natural eco-friendly plasticizers of sodium alginate // *Carbohydrate Polymers*, 2020, vol. 229, art. 115427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115427>
20. Dudonné S., Vitrac X., Coutière P. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57(5), pp. 1768–1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
21. Guimarães I., Baptista-Silva S., Pintado M. Oliveira L. A. Polyphenols: A Promising Avenue in Therapeutic Solutions for Wound Care // *Applied Sciences*, 2021, vol. 11(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/app11031230>
22. Ji M., Gong X., Li X. Advanced Research on the Antioxidant Activity and Mechanism of Polyphenols from Hippophae Species – A Review // *Molecules*, 2020, vol. 25(4), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules25040917>
23. Li K., Jin Sh., Chen H., Li J. Bioinspired interface engineering of gelatin/cellulose nanofibrils nanocomposites with high mechanical performance and antibacterial properties for active packaging // *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 171, pp. 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.043>
24. Luo M., Cao Y., Wang W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties // *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
25. Minna L., Yong C., Wenbo W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties // *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
26. Nilsuwan K., Benjakul S., Prodpran T. Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate // *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 80, pp. 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.033>
27. Sabbagh F., Kim B.S. Recent advances in polymeric transdermal drug delivery systems // *Journal of Controlled Release*, 2022, vol. 341, pp. 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.11.025>

28. Shankar S., Teng X., Li G., Rhim J.W. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films // *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 45, pp. 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.001>
29. Suderman N., Isa M.I.N., Sarbon N.M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review // *Food Bioscience*, 2018, vol. 24, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
30. Sutar T., Bangde P., Dandekar P., Adivarekar R. Fabrication of Herbal Hemostat Films Loaded with Medicinal Tridax Procumbens Extracts // *Fibers and Polymers*, 2021, vol. 22, no. 8, pp. 2135–2144. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0808-1>
31. Taheri P., Jahanmardi R., Koosha M., Abdi S. Physical, mechanical and wound healing properties of chitosan/gelatin blend films containing tannic acid and/or bacterial nanocellulose // *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 154, pp. 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.114>
32. Takó M., Kerekes E.B., Zambrano C. et al. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms // *Antioxidants*, 2020, vol. 9(2):165. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
33. Zagorskina N.V., Zubova M.Y., Nechaeva T.L. et al. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review) // *International Journal of Molecular Sciences*, 2023; 24(18): 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>

References

1. Bazunova M.V., Chernova V.V., Salikhov R.B. et al. Physico-chemical properties of polymer composites based on polyolefins and their waste and sunflower husks. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 70–74. <https://doi.org/10.33184/bulletin-bsu-2018.1.13>
2. Brown D., Floyd A., Sainsbury M. *Organic spectroscopy*. Moscow: Mir, 1992, 300 p.
3. Isupova M.V., Elets A.A., Grebenev I.R. et al. Quantitative assessment of polyphenolic compounds in aqueous-alcoholic extracts from fruits and leaves. *Materialy dokladov XI mezhdunarodnogo simpoziuma: Phenolic compounds: fundamental and applied aspects*. M.: IFR RAN; Pero, 2022, p. 103.
4. Kishchenko V.M., Vernikovskiy V.V., Privalov I.M., Shevchenko A.M. Films in Russian medicine and cosmetology: development history, classification, technology. *Pharmacy & Pharmacology*, 2020, vol. 8(2), pp. 124–132. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2020-8-2-124-132>
5. Kovyazina N.A. Study of the physicochemical properties of medicinal sextaphage films. *Vestnik VGU, seriya: khimiya, biologiya, farmatsiya*, 2022, no. 1, pp. 78–84.

6. Losenkova S.O., Tyunina E.D., Pavlyuchenkova N.A. etc. Modern range of transdermal dosage forms on the Russian pharmaceutical market. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*, 2022, vol. 21, no. 1, pp. 152–159. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2022.1.20>
7. Myalenko D.M., Mikhailenko P.G. Study of the contact angle of polyethylene film modified with organic and inorganic components. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2020, no. 12 (102), part 1, pp. 49–53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.102.12.009>
8. Platonova E.Yu., Plyusnin S.N., Shaposhnikov M.V., Moskalev A.A. *Aronia melanocarpa* as a source of compounds with potential geroprotective activity. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN*, 2019, no. 2 (209), pp. 2–9. [https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2\(209\).1](https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2019.2(209).1)
9. Pretsch E., Bulmann F., Affolter K. *Structure determination of organic compounds*. Moscow: Mir, 2006, 438 p.
10. Shleikin A.G., Shatalov I.S., Shatalova A.S. Effect of transglutaminase on the mechanical characteristics of gelatin-based packaging material. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*, 2014, no. 2, 5 p.
11. Yampolskaya G.P., Tarasevich B.N., Elenskiy A.A. Secondary Structure of Globular Proteins in Adsorption Layers at the Solution-Air Phase Boundary According to Fourier Transform IR Spectroscopy Data. *Colloid Journal*, 2005, vol. 67, no. 3, pp. 426–432.
12. Ahmad U., Ahmad R.S. Antidiabetic properties of aqueous extract of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves on streptozotocin-induced diabetes in albino rats. *Complementary and Alternative Medicine BMC*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12906-018-2245-2>
13. Amjadi S., Emaminia S., Heyat Davudian Sh. et al. Preparation and characterization of gelatin-based nanocomposite containing chitosan nanofiber and ZnO nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 2019, vol. 216, pp. 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.062>
14. Andrighetti T.T., Jacques M.C., Schmitt C. et al. Polymeric pullulan films incorporated with extract of *Cyclospermum leptophyllum* (pers.) Sprague for healing purposes. *Research, Society and Development*, [S. l.], 2022, vol. 11, no. 15, pp. e209111537082. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i15.37082>
15. Antosik A.K., Miądlicki P., Wilpiszewska K. et al. Polysaccharide films modified by compounds of natural origin and silver having potential medical applications. *Cellulose*, 2021, vol. 28(6), pp. 7257–7271. <https://doi.org/10.1007/s10570-021-04008-0>
16. Cerqueira M.A., Souza B.W., Teixeira, J.A., Vicente A.A. Effect of glycerol and corn oil on physicochemical properties of polysaccharide films: a com-

- parative study. *Food Hydrocolloids*, 2012, vol. 27(1), pp. 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.07.007>
17. Contardi M., Ayyoub A. M. M., Summa M. Self-Adhesive and Antioxidant Poly(vinylpyrrolidone)/Alginate-Based Bilayer Films Loaded with Malva sylvestris Extracts as Potential Skin Dressings. *ACS Applied Bio Materials*, 2022, vol. 5(6), pp. 2880–2893. <https://doi.org/10.1021/acsabm.2c00254>
 18. Costa N.N., Lopes L.F., Ferreira D.F. Polymeric films containing pomegranate peel extract based on PVA/starch/PAA blends for use as wound dressing: In vitro analysis and physicochemical evaluation. *Materials Science and Engineering: C*, 2020, vol. 109, art. 110643. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110643>
 19. Donato P.D., Taurisano V., Poli A. et al. Vegetable wastes derived polysaccharides as natural eco-friendly plasticizers of sodium alginate. *Carbohydrate Polymers*, 2020, vol. 229, art. 115427. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115427>
 20. Dudonné S., Vitrac X., Coutière P. Comparative Study of Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of 30 Plant Extracts of Industrial Interest Using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, vol. 57(5), pp. 1768–1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
 21. Guimarães I., Baptista-Silva S., Pintado M. Oliveira L. A. Polyphenols: A Promising Avenue in Therapeutic Solutions for Wound Care. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11(3), 1230. <https://doi.org/10.3390/app11031230>
 22. Ji M., Gong X., Li X. Advanced Research on the Antioxidant Activity and Mechanism of Polyphenols from Hippophae Species – A Review. *Molecules*, 2020, vol. 25(4), 917. <https://doi.org/10.3390/molecules25040917>
 23. Li K., Jin Sh., Chen H., Li J. Bioinspired interface engineering of gelatin/cellulose nanofibrils nanocomposites with high mechanical performance and antibacterial properties for active packaging. *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 171, pp. 222–234. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.04.043>
 24. Luo M., Cao Y., Wang W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
 25. Minna L., Yong C., Wenbo W. et al. Sustained-release antimicrobial gelatin film: effect of chia mucilage on physicochemical and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 87, pp. 783–791. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.010>
 26. Nilsuwan K., Benjakul S., Prodpran T. Properties and antioxidative activity of fish gelatin-based film incorporated with epigallocatechin gallate. *Food Hydrocolloids*, 2018, vol. 80, pp. 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.033>

27. Sabbagh F., Kim B.S. Recent advances in polymeric transdermal drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 2022, vol. 341, pp. 132–146. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.11.025>
28. Shankar S., Teng X., Li G., Rhim J.W. Preparation, characterization, and antimicrobial activity of gelatin/ZnO nanocomposite films. *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 45, pp. 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.12.001>
29. Suderman N., Isa M.I.N., Sarbon N.M. The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, 2018, vol. 24, pp. 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
30. Sutar T., Bangde P., Dandekar P., Adivarekar R. Fabrication of Herbal Hemostat Films Loaded with Medicinal Tridax Procumbenns Extracts. *Fibers and Polymers*, 2021, vol. 22, no. 8, pp. 2135–2144. <https://doi.org/10.1007/s12221-021-0808-1>
31. Taheri P., Jahanmardi R., Koosha M., Abdi S. Physical, mechanical and wound healing properties of chitosan/gelatin blend films containing tannic acid and/or bacterial nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 154, pp. 421–432. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.114>
32. Takó M., Kerekes E.B., Zambrano C. et al. Plant Phenolics and Phenolic-Enriched Extracts as Antimicrobial Agents against Food-Contaminating Microorganisms. *Antioxidants*, 2020, vol. 9(2):165. <https://doi.org/10.3390/antiox9020165>
33. Zagorskina N.V., Zubova M.Y., Nechaeva T.L. et al. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24(18), 13874. <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРЕ

Товстик Евгения Владимировна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, доцент, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
tovstik2006@inbox.ru*

Широкова Евгения Сергеевна, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры химии и технологии переработки полимеров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr06779@vyatsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Evgenia V. Tovstik, Candidate of Biological Sciences, senior researcher, associate professor, associate professor of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry

Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

tovstik2006@inbox.ru

SPIN-code: 8792-9281

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

ResearcherID: P-1350-2017

Scopus Author ID: 57004932100

Evgeniya S. Shirokova, Candidate of Chemical Sciences, associate professor, associate professor of the Department of Chemistry and Technology of Polymer Processing

Vyatka State University

36, Moskovskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

usr06779@vyatsu.ru

SPIN-code: 1586-3040

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5735-3489>

ResearcherID: L-2195-2017

Scopus Author ID: 57208134529

Поступила 16.01.2024

После рецензирования 11.03.2024

Принята 28.03.2024

Received 16.01.2024

Revised 11.03.2024

Accepted 28.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-984

УДК 619:001.891.53:577.21:577.21:616-022.14



Научная статья

РАЗРАБОТКА НАБОРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ БАКТЕРИЙ РОДА CLOSTRIDIUM И ТОКСИНОТИПОВ CL. PERFRINGENS

*Н.А. Безбородова, Н.А. Мартынов, Е.Н. Шилова, В.Д. Зубарева,
В.В. Кожуховская, О.В. Соколова*

Клостридиоз крупного рогатого скота является одной из важнейших проблем ветеринарной медицины, животноводства и безопасности пищевых продуктов. Возбудители клостридиоза вызывают инфекционные заболевания, относящиеся к зооантропонозным. Клостридии присутствуют в желудочно-кишечном тракте и в виде спор в тканях здоровых животных и могут вызывать заболевания при температурном или производственном стрессе, минеральном дисбалансе, травмах и нарушении иммунного ответа. Клостридии образуют высокоустойчивые споры, которые могут сохраняться в окружающей среде в течение длительного периода времени.

***Целью нашей работы** являлась разработка новых и оптимизация существующих ПЦР тест-систем для диагностики бактерий рода *Clostridium* и токсинотипов *Cl. perfringens*. Актуальность разработок тест-систем связана с отсутствием коммерческих наборов для диагностики многих видов клостридий, что затрудняет постановку правильного диагноза и подбора рациональной терапии и вакцинопрофилактики.*

***Материалы и методы.** Разработанные и оптимизированные тест-системы для диагностики клостридиозов основаны на методах ПЦР в реальном времени и классической ПЦР.*

*В данной статье представлены результаты разработок тест-систем для быстрой и недорогой диагностики значимых для животноводства клостридиальных инфекций. Впервые были созданы тест-системы для детекции *Cl. sordellii*, *Cl. novyi* (типы А, В) методом классической ПЦР и *Cl. histolyticum* в режиме реального времени и оптимизированы ПЦР тест-системы для об-*

наружения *Cl. chauvoei*, *Cl. septicum* в режиме реального времени, *Cl. tetani*, *Cl. botulinum* методом классической ПЦР и мультиплексная тест-система для типизации изолятов *Cl. perfringens* (A-E).

Ключевые слова: ПЦР; *Clostridium*; клостридиальная инфекция; анаэробы; ПЦР в реальном времени; электрофорез; крупный рогатый скот

Для цитирования. Безбородова Н.А., Мартынов Н.А., Шилова Е.Н., Зубарева В.Д., Кожуховская В.В., Соколова О.В. Разработка наборов для идентификации бактерий рода *Clostridium* и токсинотипов *Cl. perfringens* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 130-155. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-984

Original article

DEVELOPMENT OF PCR KITS FOR BACTERIA OF THE GENUS CLOSTRIDIUM AND TOXINOTYPES *CL. PERFRINGENS* IDENTIFICATION

N.A. Bezborodova, N.A. Martynov, E.N. Shylova, V.D. Zubareva, V.V. Kozhukhovskaya, O.V. Sokolova

Bovine clostridiosis is one of the major problems in veterinary medicine, animal husbandry and food safety. Clostridia cause zoonotic infectious diseases. The causative agents of clostridiosis produce highly resistant spores that can persist in the environment for a long period of time. They are also present in the gastrointestinal tract and as spores in the tissues of healthy animals and can cause disease due to temperature or productive stress, mineral imbalances, injury and impaired immune response.

The aim of our work was to develop new and optimize existing PCR protocols for the diagnosis of *Clostridium* bacteria and *Cl. perfringens* toxinotypes. The relevance of the development of PCR kits is associated with the lack of commercially available ones for the diagnosis of many types of clostridia. This makes it difficult to make the correct diagnosis and select rational therapy and vaccination.

Materials and methods. Developed and optimized methods for the diagnosis of clostridiosis are based on real-time PCR and conventional PCR.

This article presents the results of the development of PCR methods for rapid and inexpensive diagnosis of clostridial infections that are significant for livestock farming. For the first time, PCR kits were created for the detection of *Cl. sordellii*,

Cl. novyi (types A, B) using conventional PCR and *Cl. histolyticum* in real time. Moreover, we have optimized PCR conditions and reagent mix for the detection of *Cl. chauvoei*, *Cl. septicum* in real time, *Cl. tetani*, *Cl. botulinum* using conventional PCR as well as a multiplex PCR for *Cl. perfringens* (A-E) typing.

Keywords: PCR; *Clostridium*; clostridial infection; anaerobes; real-time PCR; electrophoresis; cattle

For citation. Bezborodova N.A., Martynov N.A., Shilova E.N., Zubareva V.D., Kozhukhovskaya V.V., Sokolova O.V. Development of PCR Kits for Bacteria of the Genus *Clostridium* and Toxinotypes *Cl. Perfringens* Identification. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 130-155. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-984

Введение

Клостридиальные инфекционные заболевания крупного рогатого скота наносят значительный экономический ущерб молочному скотоводству, связанный с уменьшением воспроизводства молока, негативным влиянием на репродуктивную функцию, увеличением затрат на лечение, а также повышением риска выбраковки животных. Клостридии – облигатные анаэробные спорообразующие грамположительные бактерии, способные вызывать широкий спектр патологий у животных [9]. Патогенность выражается в выработке токсинов и повреждением тканей. Исход клостридиальной инфекции как правило неблагоприятный, несмотря на наличие у возбудителей заболевания чувствительности к наиболее распространенным в ветеринарной практике антибиотикам [7].

Патогенные виды клостридий можно разделить на три группы в зависимости от их токсигенной активности (энтеротоксичные, гистотоксичные, нейротоксичные) в отношении тканей-мишеней [14; 20]. *Clostridium perfringens* является основной причиной ряда заболеваний у животных, в частности газовой гангрены, возникающей в основном после инфицирования ран бактериальными спорами, и расстройств желудочно-кишечного тракта, которые либо поражают исключительно кишечник, либо дополнительно вызывают генерализованные симптомы, например, «мягкая почка» у жвачных животных. *Cl. perfringens* подразделяют на пять типов, от А до Е, в зависимости от продукции четырех основных токсинов (альфа, бета, эпсилон и йота) [19]. Различные их типы связаны с определенными заболеваниями [11]. Вирулентность *Clostridium difficile* опосредована двумя основными токсинами: токсин А (TcdA) и токсин

В (tcdB), при этом некоторые штаммы продуцируют бинарный токсин (CDT). Известно, что токсигенная *Cl. difficile* вызывает развитие диареи у телят [21].

Видовой состав рода *Clostridium*, вызывающий заболевания в животноводческих хозяйствах, изучен недостаточно, особенно в Российской Федерации. В исследовании Данилюк А.В. и Капустина А.В., по результатам скрининга распространения клостридиоза у крупного рогатого скота на территории РФ, наиболее значимыми, с точки зрения ветеринарии, видами клостридий являются: *Cl. perfringens* тип А; *Cl. perfringens* тип С; *Cl. perfringens* тип D; *Clostridium septicum*; *Clostridium novyi* тип В; *Clostridium chauvoei*; *Clostridium tetani* [1-3]. *Clostridium botulinum* и *Clostridium tetani* продуцируют два токсина BoNT и TeNT, вызывающие наиболее опасные инфекционные заболевания: ботулизм и столбняк соответственно [16]. Псевдомембранозный колит, эмфизематозный карбункул, некротический гепатит овец и нетравматическая газовая гангрена также являются заболеваниями, связанными с токсинами, продуцируемыми другими клостридиями, такими как *Clostridium difficile*, *Clostridium septicum*, *Clostridium chauvoei* и *Clostridium novyi* [22]. Бактерии рода *Clostridium*, трудно изолировать и культивировать, они чрезвычайно чувствительны даже к низким уровням кислорода в окружающей среде [10]. В связи с этим существует необходимость в разработке быстрой и недорогой диагностики клостридиальных инфекций. Технология ПЦР позволяет обнаруживать определенные гены-мишени микроорганизмов в большом количестве проб, тем самым обеспечивая идентификацию патогенных бактерий.

Целью нашей работы являлась разработка новых и оптимизация существующих ПЦР тест-систем для диагностики бактерий рода *Clostridium* и токсинотипов *Cl. perfringens*.

Научная новизна исследований

В настоящее время в Российской Федерации для диагностики клостридиальных инфекций у животных доступны только две коммерческие ПЦР-тест-системы, одна из них для детекции ДНК *Cl. perfringens* и *Cl. difficile* – «РеалБестВет ДНК *Cl. difficile/Cl. perfringens*», а другая предназначена для типирования *Cl. difficile* «РеалБест-Вет ДНК *Cl. difficile tcdA/tcdB/CDT*» (АО «Вектор-Бест», Россия). Поэтому разработка тест-систем для идентификации различных бактерий рода *Clostridium* и токсинотипов *Cl. perfringens* является весьма перспек-

тивным направлением в диагностике клостридиальных инфекций крупного рогатого скота.

Материалы и методы исследования

Работа осуществлена в отделе геномных исследований и селекции животных на базе Уральского НИВИ – структурном подразделении ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН.

В период 2023 года исследовано 340 биологических проб из 32 молочного-товарных предприятий, в том числе из 27 предприятий, проводящих вакцинацию против клостридиальной инфекции и из 5 сельскохозяйственных предприятий Уральского региона, не применяющих ветеринарные иммунобиологические препараты.

На исследования поступали следующие пробы: кал, молоко, экссудат из абсцессов, кусочки пораженных мышц, отделяемое (сукровица) с раневых поверхностей, смывы с раневых поверхностей копыт задних конечностей коров, суставная жидкость, смывы из носовых ходов, цервиковагинальные смывы, абортированный плод, плацента; патологические материалы от погибших телят и коров – сердце, печень, почки, селезенка, легкие, рубец, сычуг, сетка, кишечник. Также на исследования направляли корма и комбикормовое сырье (силос кукурузный, белковая добавка, клевер, люцерна, сенаж).

В ходе работы по результатам клинического осмотра были сформированы экспериментальные группы коров с признаками клостридиальной инфекции. Формирование групп животных осуществляли с учетом проведения вакцинации против клостридиозов и отсутствием специфической иммунопрофилактики в сельскохозяйственных организациях, для изучения видового разнообразия анаэробной микрофлоры кишечника, в том числе клостридий, и влияния применения ветеринарных иммунобиологических препаратов на биоразнообразие спорообразующих бактерий, с изучением эффективности применяемых схем вакцинации.

Подготовка исследуемого материала для ПЦР-исследований. Пробы тканей и органов гомогенизировали с использованием стерильных фарфоровых ступок и пестиков или автоматического гомогенизатора TissueLyser LT (QIAGEN GmbH, Германия), затем готовили 10% суспензию на стерильном физиологическом растворе, которую использовали в качестве материала для выделения нуклеиновых кислот. Корма доставляли в лабораторию в количестве 1-1,5 кг в целлофановых пакетах, усредняли пробу,

перемалывали и измельчали на мельнице ВЬЮГА-3МТ (Россия). Фекалии и молоко направляли в лабораторию в стерильных одноразовых пластиковых контейнерах. Смывы с раневых поверхностей, смывы из носовых ходов, цервико-вагинальные смывы отбирали в пробирки Эппендорф. Суставная жидкость, экссудаты поступали в лабораторию в стерильных шприцах.

В работе применяли коммерческий набор для выделения ДНК из биоматериала «Diatom DNA Prep 200» (ООО «ИзоГен», Россия). Для получения качественной ДНК из фекалий использовали специализированный набор HiPure Stool DNA Kit (Guangzhou Magen Biotechnology Co., Китай). Для выявления клостридиальной инфекции в биоматериале применяли тест-наборы «РеалБест-Вет ДНК *Cl. difficile*/*Cl. perfringens*», с типизацией «РеалБест-Вет ДНК *Cl. difficile* *tcdA/tcdB/CDT*» (АО «Вектор-Бест», Россия). Амплификацию в режиме реального времени проводили с применением оборудования QuantStudio 5 (США). Концентрацию выделенной ДНК измеряли на флуориметре MaxLife (Россия) с набором реагентов dsDNA (ООО МВМ-Диагностик», Россия).

Подбор олигонуклеотидов. Подбор праймеров производили с использованием Primer3Plus [18] на референсы генов *Clostridium sordellii* – ген фосфолипазы *C* (*csp*), *Cl. histolyticum* – ген коллагеназы *H* (*colH*), *Cl. chauvoei* и *Cl. septicum* – ген, кодирующий регулятор транскрипции, необходимый на ранних стадиях споруляции (*spo0A*), *Cl. tetani* – ген тетанотоксина (*TeNT*), *Cl. botulinum* (тип *C*) – ген ботулотоксина типа *C* (*BoNT/C*), *Cl. novyi* тип *A* и тип *B* – гены, кодирующие флагеллины *A* и *B* соответственно (*FliA* (*A*) и *FliB* (*B*)). Выравнивание последовательностей генов производили в UGENE V42.0 [15]. Специфичность праймеров проверяли при помощи NCBI Primer BLAST [8]. Способность праймеров образовывать вторичные структуры оценивали с использованием ThermoFisher Multiple Primer Analyzer [4].

Генотипирование клостридий проводили по модифицированным протоколам (таблица 1). В состав реакционной смеси 20 мкл входили: готовая реакционная смесь Экстра-микс HS-Тaq (ООО «ДиаЭм», Россия), интеркалирующий краситель Eva488 для ПЦР, 20x (Lumiprobe Ltd., Россия), 1,16 mM MgCl₂, 15-40 нг ДНК, 0,35 мкМ каждого праймера (ООО «ДНК-Синтез», Lumiprobe Ltd., Россия).

Амплификацию проводили с использованием термоциклера SimpliAmp (Thermo Fisher Scientific, США) по следующей программе, представленной в таблице 2.

Таблица 1.

Последовательность праймеров, применяемых в исследовании

Назва- ние бак- терии	Ген	Размер амплико- на, п.н.	Последовательность 5'-3'	Источник
<i>Cl. sor- dellii</i>	<i>csp</i>	209	F:GCAGGAAGTACGATA- ATGTAT	Данное исследо- вание
			R:CAATCGTCACTTATTG- GTGTT	
<i>Cl. histo- lyticum</i>	<i>colH</i>	182	F:ACTCCTCCCGTTTTA- AATAGAA	Данное исследо- вание
			R:AACGCCATTTTGTAG- TAGTGTC	
			R:[ROX]GCAGGAACATTAG- TATATCTTC[BHQ2]	
<i>Cl. chau- voei</i>	<i>spo0A</i>	149	F:CWCAAAGAGCTAT- TACTTTAGGAG	doi:10.1016/j. mcrp.2010.03.003
			R:AGSTRCTTCTGTTTCTA- CAACTG	
			P:[r6g]ACGGTGCTCCTA- CAGAATCCATTAGA[BHQ2]	
<i>Cl. septi- cum</i>	<i>spo0A</i>	149	F:CAAAGAGCTAT- TACTTTAGGAG	doi:10.1016/j. mcrp.2010.03.003
			R:CTTCTGTTTCTACAACGTG	
			P:[FAM]ATGGTGTTCCCTA- CAGAAGCAGTTAGA[BHQ1]	
<i>Cl. tetani</i>	<i>TeNT</i>	111	F:CCTAGTTTCAAAACT- TATTGGCTTATGTAA	doi:10.1292/ jvms.12-0271
			R:CATAATTCTCCTCCTA- AATCTGTTAATGATG	
<i>Cl. bot- ulinum</i> (C)	<i>BoNT/C</i>	328	F:TTTATACGAGAATGTTTCYG	doi.org/10.1111/ j.1863- 2378.2007.01070.x
			R:CATTATATCCTGATG- TATCC	
<i>Cl. novyi</i> тип А	<i>FliA (A)</i>	230	F:ATGAGAGAATTAG- CAGTTCAAACATCT	Данное исследо- вание
			R:TCTTCTGTTCCCAT- ACTTGCAATATT	
<i>Cl. novyi</i> тип В	<i>FliA (B)</i>	151	F:GCTATAGATACTGCAATA- AACACAGT	Данное исследо- вание
			R:TTGCCATATCAAC- GTCTCTTATCTT	

Таблица 2.

Режимы амплификации, применяемые в исследовании

Стадия	t °C	Время	Цикл
Начальная денатурация	95°C	5 минут	×1
Денатурация	95°C	20 сек	×35
Отжиг праймеров: <i>Cl. sordellii</i> <i>Cl. tetani</i>	60°C		
Отжиг праймеров: <i>Cl. histolyticum</i> <i>Cl. septicum</i>	59°C		
Отжиг праймеров: <i>Cl. novyi</i> тип А <i>Cl. novyi</i> тип В	58°C		
Отжиг праймеров: <i>Cl. botulinum</i> (C и D)	52°C		
Элонгация	72°C	25 сек	

В качестве контроля использовалась ДНК, выделенная из чистых культур: *Cl. chauvoei* Я2, *Cl. botulinum* тип С, *Cl. sordelli* №3, *Cl. septicum* №1098 (коллекция штаммов ФГБУ «ВГНКИ», Москва), *Cl. septicum* ATCC 12464 (ГКПМ-Оболенинск), *Cl. oedematiens* (*Cl. novyi*) 198 тип С (ГКПМ-Оболенинск), *Cl. oedematiens* (*Cl. novyi*) №794 тип А, *Cl. gigas* 2ТД (*Cl. novyi* тип В), *Cl. haemolyticum* «Аму1» (*Cl. novyi* типа D) (коллекция штаммов ФГБУ «ВГНКИ», Москва).

Обработку специфичности праймеров проводили на штаммах: *Cl. sordelli* №3, *Cl. botulinum* тип С, *Cl. chauvoei* Я2, *Cl. oedematiens* №34, *Cl. histolyticum* №469, *Cl. gigas* 2ТД, *Cl. haemolyticum* «Аму1», *Cl. septicum* №1098 (коллекция штаммов ФГБУ «ВГНКИ», Москва).

Токсинотипы *Cl. perfringens* определяли методом ПЦР на основании наличия генов, кодирующих ϵ -токсин – *etx*, ι -токсин – *iap*, фосфолипазу С – *plc*, энтеротоксин – *spe* и β -токсин – *cpb*. Генотипирование проводили по протоколу, предложенному Julian I. Rood [17] (таблица 3). Также с помощью данного метода выявления генов токсинотипов, возможно определение *Cl. perfringens* типа F, неспецифичного для животных.

В состав реакционной смеси 10 мкл входили: SE-Буфер производства SibEnzyme (60 мМ Трис-HCl (pH 8,6), 25 мМ KCl, 10 мМ 2-меркаптоэтанол, 0,1% Трион X-100), 0,18 мМ каждого dNTP, 1,16 мМ MgCl₂, 0,06 ед. Taq-полимеразы (SibEnzyme); 15-40 нг ДНК, 0,35 мкМ каждого праймера («ДНК-Синтез», Россия).

Таблица 3.

Последовательность праймеров для детекции генов *etx*, *iap*, *plc*, *cpe* и *cpb* *Cl. perfringens*

Ген	Последовательность 5'–3'	Размер ампликона, п.н.
<i>etx</i>	ETX_F:CCACTTACTTGTCCCTACTAAC	656
	ETX_R:GCGGTGATATCCATCTATTC	
<i>iap</i>	IAP_F:GGAAAAGAAAATTATAGTGATTGG	461
	IAP_R:CCTGCATAACCTGGAATGGC	
<i>plc</i>	PLC_F:GGACCAGCAGTTGTAGATA	324
	PLC_R:CCTCTGATACATCGTGTAAAG	
<i>cpe</i>	CPE_F:GGAGATGGTTGGATATTAGG	233
	CPE_R:GGACCAGCAGTTGTAGATA	
<i>cpb</i>	CPB_F:GCGAATATGCTGAATCATCTA	196
	CPB_R:GCAGGAACATTAGTATATCTTC	

Температурные режимы амплификации: предварительная денатурация при 95°C – 5 минут; далее 35 циклов: денатурация при 94°C – 30 секунд, отжиг праймеров при 60°C – 30 секунд, элонгация при температуре 72°C – 30 секунд. В качестве контроля использовали ДНК, выделенную из чистых культур: *Cl. perfringens* ATCC 13124 тип А (BD Microtrol, США), *Cl. perfringens* №307 тип А, *Cl. perfringens* «LD4» тип В, *Cl. perfringens* «Октябрь» тип С, *Cl. perfringens* «Амо» тип С, *Cl. perfringens* №213 тип D, *Cl. perfringens* №413 тип Е, *Cl. perfringens* №342 тип Е (коллекция штаммов ФГБУ «ВГНКИ», Россия).

Оценку специфичности разработанных реакций проводили с использованием гель-электрофореза в 3% агарозном геле и системы капиллярного электрофореза Qsep100 (BiOptic, Тайвань). Для капиллярного электрофореза использовали картридж S1 (BiOptic, Тайвань), выравнивающий маркер 20 п.н. – 1 Кб и маркер длин ДНК от 15 до 622 п.н. С помощью специализированного ПО Q-Analyzer выбраны условия электрофореза для наиболее точного анализа и проведена интерпретация результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Для наработки специфичного участка гена *spo0A* *Cl. chauvoei* и *Cl. septicum* использованы вырожденные праймеры с гибридизационными олигонуклеотидными зондами (Таблица № 1), ранее предложенные Lange M. [13]. Данные праймеры инициируют амплификацию целевого участка гена

spo0A, образуя ампликон в 149 п.н. Дифференциация между *Cl. chauvoei* и *Cl. septicum* происходит за счет использования олигонуклеотидных зондов, позволяющих одновременно идентифицировать *Cl. chauvoei* по каналу HEX и *Cl. septicum* по каналу ROX. Валидацию полученных результатов проводили с использованием коллекционных штаммов *Cl. chauvoei* Я2, *Cl. septicum* №1098 (рисунок 1).

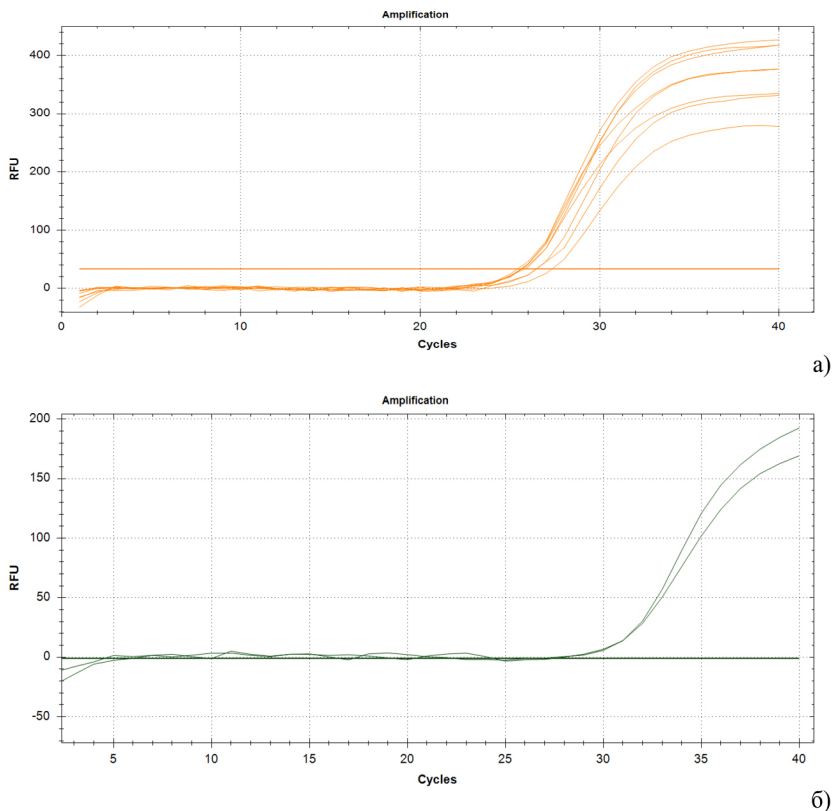


Рис. 1. а) График амплификации *Cl. septicum* в real-time ПЦР по каналу ROX;
б) График амплификации *Cl. chauvoei* в real-time ПЦР по каналу HEX.

Подобраны и отработаны праймеры на обнаружение гена *csp*, кодирующего фосфолипазу *Cl. sordellii* в real-time ПЦР с применением интеркалирующего красителя Eva488 со считыванием по каналу SYBR (рисунок 2).

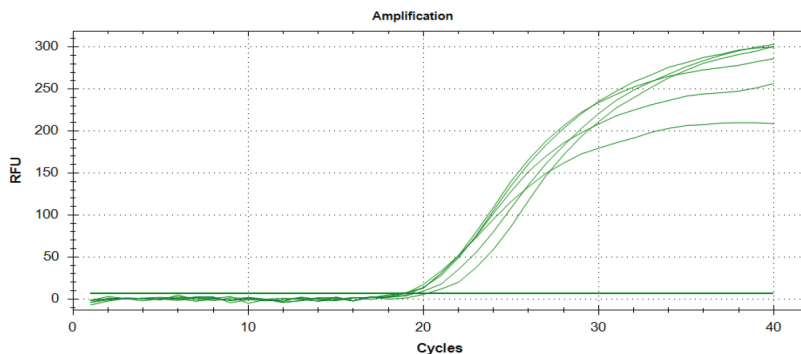


Рис. 2. Графики амплификации *Cl. sordellii* в real-time ПЦР по каналу SYBR

Для обнаружения бактерий *Cl. tetani* был отработан и адаптирован протокол, ранее описанный Huang S.W. [12] (рисунок 3). Предложенные праймеры инициировали амплификацию целевого участка гена *TeNT* в 111 п.н. Для валидации результатов из-за отсутствия музейных штаммов *Clostridium tetani*, был синтезирован положительный контроль, идентичный целевому участку: 5-CCT AGT TTC AAA ACT TAT TGG CTT ATG TAA AAA AAT TAT ACC ACC AAC AAA TAT AAG AGA AAA TTT ATA TAA CAG AAC TGC ATC ATT AAC AGA TTT AGG AGG AGA ATT ATG – 3.

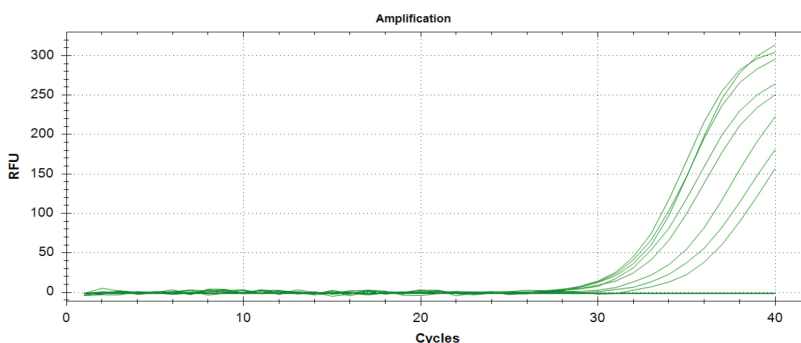


Рис. 3. Графики амплификации *Cl. tetani* в real-time ПЦР по каналу SYBR

Для генотипирования *Cl. novyi* типа А и В были выбраны специфичные гены *FliA* (A, B), отвечающие за способность вырабатывать различные по антигенным свойствам токсины. Праймеры были отработаны в real-time ПЦР для амплификации фрагмента длиной 182 п.н. (рисунок 4).

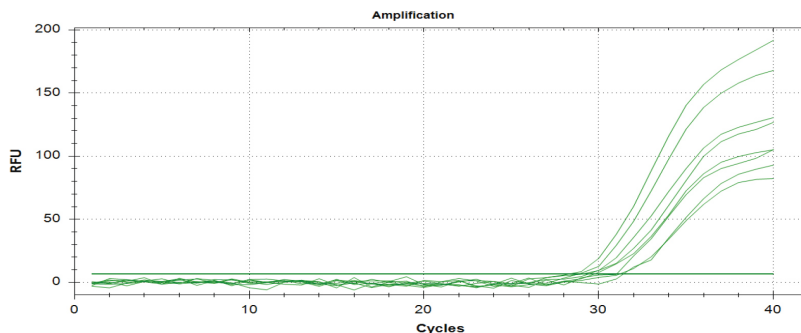


Рис. 4. Графики амплификации *Cl. novyi* A, B в real-time ПЦР по каналу SYBR

Были подобраны и отработаны праймеры для определения гена *colH* *Cl. histolyticum*, кодирующего коллагеназу и желатиназу. Оценка специфичности разработанных реакций проводили с использованием гель-электрофореза (ампликон 182 п.н.) (рисунок 6).

Для выявления *Cl. botulinum* типа C использовали праймеры высококонсервативной части гена *BoNT/C*, регулирующего выработку нейропаралитического токсина, связанного со вспышками ботулизма у животных и птиц. Оценка специфичности разработанных реакций проводили с использованием штамма *Cl. botulinum* тип C, ампликон длиной 322 п.н. (рисунок 9).

Подобранные праймеры показали свою специфичность в отношении гена *spo0A* *Cl. chauvoei* и *Cl. histolyticum* (149 п.н.), гена *colH* *Cl. histolyticum* (182 п.н.), гена *csp* *Cl. sordellii* (209 п.н.), гена *TeNT* *Cl. tetani* (111 п.н.), генов *FliA* (A) и *FliA* (B) для типирования *Cl. novyi* типов A и B (230/151 п.н.) и гена (*BoNT/C*) *Cl. botulinum* (328 п.н.) в электрофорезном варианте на агарозном геле с использованием ДНК коллекционных штаммов *Cl. oedematiens* (*Cl. novyi*) №794 тип A, *Cl. gigas* 2ТД (*Cl. novyi* тип B), *Cl. haemolyticum* «Аму1» (*Cl. novyi* типа D), *Cl. histolyticum* №469, *Cl. sordelli* №3, *Cl. septicum* №1098, *Cl. chauvoei* Я2, *Cl. perfringens* ATCC 13124 тип A, *Cl. botulinum* тип C и синтезированного положительного контроля специфичного целевому участку *TeNT* (111 п.н.) (рисунок 5, 6, 7, 8, 9).

В результате проведенной работы были разработаны тест-системы для детекции *Cl. histolyticum* в режиме реального времени и *Cl. sordellii*, *Cl. novyi* (типы A, B) методом классической ПЦР. Помимо этого, были оптимизированы ПЦР тест-системы для обнаружения в биоматериале ДНК *Cl. chauvoei*, *Cl. septicum* в режиме реального времени, *Cl. tetani*, *Cl. botulinum* методом классической ПЦР.



Рис. 5. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами, специфичными гену *spo0A* *Cl. chauvoei* и *Cl. septicum*. Обозначения: 1 – ДНК *Cl. sordellii*, 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei/Cl. septicum* (149 п.н.), 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Clostridium perfringens* тип А, 6 – ДНК *Cl. botulinum*, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. novyi* тип В, М – размерный стандарт, шаг 100 п.н.



Рис. 6. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами, специфичными гену *colH* *Clostridia histolyticum*. Обозначения: 1 – ДНК *Cl. sordellii*, 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum* (182 п.н.), 5 – ДНК *Clostridium perfringens* тип А, 6 – ДНК *Cl. botulinum*, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. novyi* тип В, М – размерный стандарт, шаг 100 п.н.

Оптимизированная мультиплексная ПЦР-тест система для типирования *Cl. perfringens* была проверена на специфичность с помощью пластинчатого гель-электрофореза и капиллярного гель-электрофореза (рисунок 10 а, б, в). После отработки праймеров на штаммах клостридий были выявлены гены *plc*, *etx*, *iap*, *cpe*, *cpb*, определяющие токсинотипы *Cl. perfringens*: токсинотип А (ген *plc*), токсинотип В (гены *plc*, *etx*, *cpb*), токсинотип С (гены *plc*, *cpb*), токсинотип D (гены *plc*, *etx*, *cpe*), токсинотип Е (гены *cpe*, *plc*, *iap*).



Рис. 7. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами, специфичными гену *csp Cl. sordellii* и гену *TeNT Cl. tetani*. Обозначения: 1 – ДНК *Clostridium perfringens* тип А, 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Cl. sordellii* (209 п.н.), 6 – ДНК *Cl. botulinum*, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. novyi* тип В; 1 – синтезированный положительный контроль, гомологичный *Cl. tetani* (111 п.н.), 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Cl. sordellii*, 6 – ДНК *Cl. botulinum*, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. novyi* тип В; М – размерный стандарт, шаг 100 п.н.

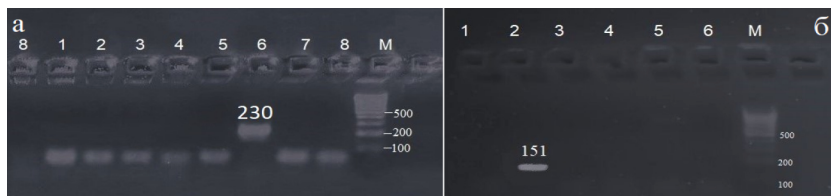


Рис. 8 (а). Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами, специфичными гену *FliA (A) Cl. novyi* тип А и гену *FliA (B) Cl. novyi* тип В. Обозначения: 1 – ДНК *Clostridium perfringens* тип А, 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Cl. sordellii*, 6 – ДНК *Cl. novyi* тип А (230 п.н.), 7 – ДНК *Cl. botulinum*, 8 – ДНК *Cl. novyi* тип В;

Рис. 8 (б). 1 – ДНК *Clostridium perfringens* тип А, 2 – ДНК *Cl. novyi* тип В (151 п.н.), 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Cl. sordellii*, 6 – ДНК *Cl. botulinum*, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. haemolyticum*; М – размерный стандарт, шаг 100 п.н.

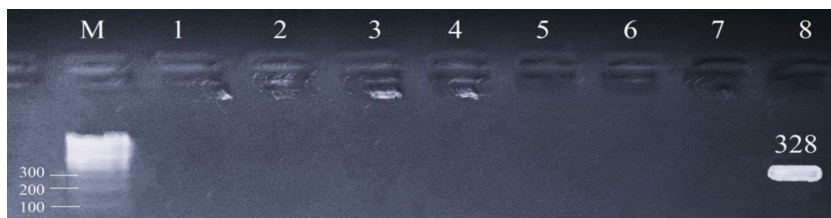


Рис. 9. Электрофореграмма продуктов ПЦР с праймерами, специфичными гену *BoNT/C Cl. botulinum*. Обозначения: 1 – ДНК *Cl. sordellii*, 2 – ДНК *Cl. haemolyticum*, 3 – ДНК *Cl. chauvoei*, 4 – ДНК *Cl. histolyticum*, 5 – ДНК *Cl. perfringens* тип А, 6 – ДНК *Cl. novyi* тип В, 7 – ДНК *Cl. novyi* тип А, 8 – ДНК *Cl. botulinum* (328 п.н.), М – размерный стандарт, шаг 100 п.н.

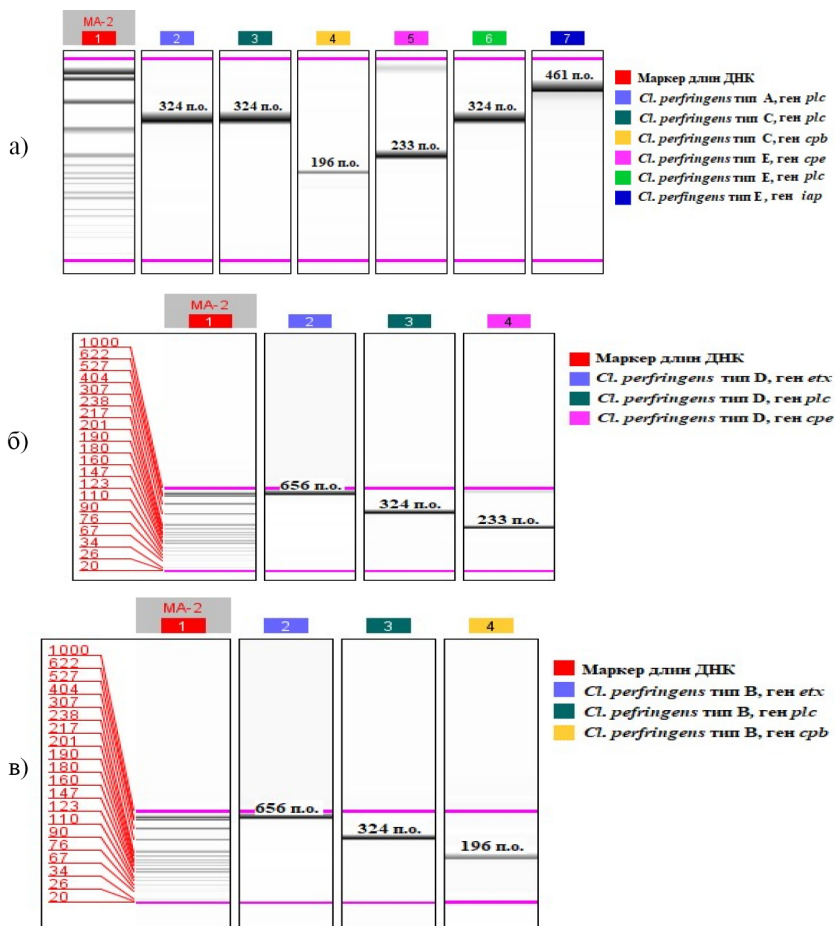


Рис. 10 (а, б, в). Результаты капиллярного электрофореза по типированию репрезентативных штаммов *Cl. perfringens* типа А-Е. Обозначения: ген *plc* (324 п.н.), ген *iap* (461 п.н.), ген *cpe* (233 п.н.), *cpb* (196 п.н.), ген *etx* (656 п.о.) – гены, отвечающие за выработку токсинов *Cl. perfringens*; MA-2 – маркер длин ДНК.

Выявление ДНК *Cl. difficile* в пробах и типирование на наличие генов, отвечающих за выделение токсинов, и ДНК *Cl. perfringens* проводили с использованием коммерческих тест-систем. Из поступивших на исследования 340 биопроб было выявлено 235 (69,1%) положительных проб.

Специфические участки ДНК *Cl. difficile* были выделены из 181 пробы (53,2%), ДНК *Cl. perfringens* обнаружена в 42 образцах (23,2%). Одновременное присутствие ДНК бактерий *Cl. difficile* и *Cl. perfringens* было подтверждено в 47,6% проб. ДНК *Cl. difficile* и *Cl. perfringens* обнаруживали как в биопробах кала (83,9%), так и в патологическом материале от павших телят и коров (8,9%), а также в биоматериалах (кусочки пораженных тканей, экссудаты из пораженных тканей задних конечностей коров) в 4,4% образцов, в кормах и кормовом сырье (белковые добавки, кукурузный силос) в 2,6% проб.

При выявлении коммерческим набором в биообразцах ДНК *Cl. perfringens*, проводили ПЦР в электрофорезном варианте для определения токсинотипов. Для примера, в объединенных образцах фекалий были выделены ДНК *Cl. perfringens* и обнаружен ген *plc* (324 п.н.), отвечающий за выработку альфа-токсина у типа А (рисунок 11).

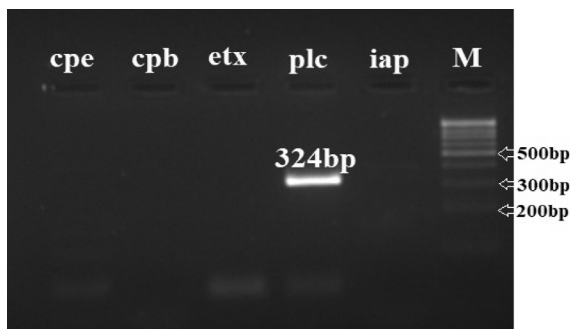


Рис. 11. Результаты электрофореграммы для генотипирования токсинотипа А *Cl. perfringens*. Обозначения: ген *plc* (324 п.н.); *etx*, *iap*, *cpe*, *cpb* – гены, отвечающие за выработку токсинов *Cl. perfringens*; М - стандарт размера с шагом 100 п.н.

Результаты типирования изолятов *Cl. perfringens*, выделенных из биоматериала, показали, что чаще всего в 28,9% проб был выявлен ген *plc*, относящий *Cl. perfringens* к токсинотипу А. Изоляты *Cl. perfringens* токсинотипа С обнаружены в 3,9 % проб, что подтверждало наличие генов *plc*, *etx*, *cpe*. Неспецифичная для крупного рогатого скота *Cl. perfringens* типа F (гены *plc*, *cpe*) установлена в 3,9% биопроб. В 1,5% проб выявлена *Cl. perfringens* типа D (*plc*, *etx*, *cpe*) и Е (*iap*, *cpe*, *cpb*). Единично в пробах было обнаружено сочетание токсинотипов А/С, С/Е, А/Е.

Чаще всего ДНК *Cl. perfringens* выявляли в пробах фекалий (78,9%), в патологическом материале от павших животных (13,2%), в экссудате из

абсцесса (2,3%), в биоматериале (смывы из носовых ходов, смывы из цервикального канала, суставная жидкость, плацента) единично.

Методом ПЦР в 16 образцах фекалий от коров и телят, имевших признаки диареи, была обнаружена ДНК *Cl. perfringens* с геном *plc*. Также в 3 образцах фекалий от телят были выявлены гены *plc*, *etx*, *cpe* *Cl. perfringens*, что позволяет отнести данные изоляты к токсинотипу D. В отдельных пробах фекалий обнаруживали *Cl. perfringens* тип C (гены *plc*, *cpb*) и F (гены *plc*, *cpe*). В пробах последа от абортировавшей коровы и суспензии из паренхиматозных органов от павшего теленка с признаками клостридиоза были обнаружены *Cl. perfringens* типа A. В смывах с раневых поверхностей и в экссудатах выявлена ДНК *Cl. perfringens* типа A и F. В одной пробе белковой добавки для коров обнаружена ДНК *Cl. perfringens* типа A.

Определенный нами в биопробах от животных возбудитель *Cl. difficile* обладал токсигенностью в 19,2% случаев. Чаще всего обнаруживали гены токсина B – в 9,9 % случаев, гены бинарного токсина (CDT) – в 8,2 % случаев, а также гены токсина A – в 4,9%. Иногда в биообразцах выявляли несколько токсинотипов *Cl. difficile* – токсины A+B+CDT в 16,5% проб, A+CDT в 6,6 % проб, сочетание A+B - 4,4 %, B+CDT - 2,7 %. Также были обнаружены нетоксигенные *Cl. difficile* в 30,2 % случаев.

В основном, токсигенная *Cl. difficile* была выделена из проб фекалий от телят с признаками диареи (90,0%) и единично у коров, что могло свидетельствовать о наличии острой кишечной инфекции. Известно, что *Cl. difficile* является ведущей причиной антибиотикоассоциированной диареи. Гены (TcdA, TcdB, CDT), отвечающие за выработку токсинов, являются основными факторами вирулентности [5]. Токсины, выделяемые *Cl. difficile*, повреждают эпителий кишечника у молодняка, что приводит к воспалению, повреждению тканей, к продукции провоспалительных цитокинов в макроорганизме и развитию заболевания [6].

С помощью подобранных и отработанных гомологичных праймеров, специфичных для участков генома бактерий рода *Clostridium*, в 5 биопробах фекалий были обнаружены - ДНК *Cl. tetani*. Единично выделена ДНК - *Cl. novyi* типа A из паренхиматозных органов от павшего животного. В 2 пробах фекалий от коров обнаружено сочетание геномов *Cl. tetani*/ *Cl. difficile*, в 1 пробе фекалий ДНК *Cl. tetani* / *Cl. perfringens* тип A, в пробе паренхиматозных органов от павшего животного ДНК *Cl. difficile* / *Cl. sordellii*, в экссудате раневого отделяемого геномы *Cl. difficile* / *Cl. sordellii* / *Cl. perfringens* типов A/F. В пробах люцерны были единично выделены ДНК *Cl. difficile*, в пробах белковой добавки и в сенаже обнаружено ДНК *Cl. difficile* / *Cl. perfringens*,

Cl. tetani/ *Cl. difficile* / *Cl. perfringens* тип А, *Cl. sordellii* / *Cl. septicum*, в кукурузном силосе ДНК *Cl. difficile* А, В, CDT/ *Cl. perfringens*.

Проведенная комплексная диагностика отдельных случаев клостридиозов у крупного рогатого скота в сельскохозяйственных предприятиях на территории Уральского региона с учетом эпизоотических данных, клинических признаков, характерных патологоанатомических изменений, с применением лабораторной диагностики позволила верифицировать диагнозы: инфекционная анаэробная энтеротоксемия телят в одном случае, некротический энтерит у трех особей, кишечная токсикоинфекция, вызванная *Cl. perfringens* тип А у двух коров и у пяти телят, также газовая гангрена у двух павших животных с выявленными геномами патогенных анаэробов (*Cl. difficile* / *Cl. sordellii* / *Cl. perfringens* типов А/В).

Выводы

Впервые были созданы тест-системы для детекции следующих возбудителей клостридиальных инфекций у крупного рогатого скота – *Cl. sordellii*, *Cl. novyi* (типы А, В) методом классической ПЦР и *Cl. histolyticum* в режиме реального времени. Кроме того, были оптимизированы ПЦР тест-системы для обнаружения в биоматериале ДНК *Cl. chauvoei*, *Cl. septicum* в режиме реального времени, *Cl. tetani*, *Cl. botulinum* методом классической ПЦР и мультиплексная тест-система для типизации изолятов *Cl. perfringens* (А-Е).

На основании проведенного мониторинга в сельскохозяйственных организациях, где у животных не проводили вакцинацию от клостридиальной инфекции и в биопробах которых обнаруживали патогенные изоляты и генетический материал анаэробов, было предложено применение вакцин против клостридиозов с учетом видового разнообразия клинических изолятов бактерий рода *Clostridium*, циркулирующих на предприятиях. В ходе проведенных работ были даны рекомендации по профилактике и лечению раневых инфекций у коров и телят, рекомендации по дезинфекции и вакцинации против клостридиозов.

Заключение комитета по этике. Проведение исследований было одобрено Комитетом по институциональной этике ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук».

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о финансировании. Исследование проведено в рамках проекта № 23-26-00053 «Разработка тест-систем для молекулярно-генетической диагностики клостридий с идентификацией токсинотипов и генов антибиотикорезистентности» при финансовой поддержке Российского научного фонда.

Список литературы

1. Безбородова Н.А., Соколова О.В., Кожуховская В.В., Томских О.Г., Печура Е.В., Суздальцева М.А. Патогенные виды клостридий и их устойчивость к антибиотикам, факторы вирулентности и геномные особенности // Инновации и продовольственная безопасность. 2023. Т. 3. С. 39-51. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51>
2. Глотова Т.И., Терентьева Т.Е., Глотов А.Г. Возбудители и возрастная восприимчивость крупного рогатого скота к клостридиозам // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47. № 1. С. 90-96.
3. Данилюк А.В., Капустин А.В. Распространенность и видовое разнообразие клостридий – возбудителей анаэробных инфекций крупного рогатого скота // Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии им. Я.П. Коваленко. 2019. Т. 81. С. 19-26. <https://doi.org/10.30917/ATT-PRINT-2019-10>
4. Predicting DNA duplex stability from the base sequence / K. J. Breslauer, R. Frank, H. Blöcker, L. A. Marky // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1986, vol. 83, no. 11, pp. 3746-3750. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.11.3746>
5. Defining the roles of TcdA and TcdB in localized gastrointestinal disease, systemic organ damage, and the host response during *Clostridium difficile* infections / G. P. Carter, A. Chakravorty, T. A. Pham Nguyen, S. Mileto, F. Schreiber, L. Li, P. Howarth, S. Clare, B. Cunningham, S. P. Sambol, A. Cheknis, I. Figueroa, S. Johnson, D. Gerding, J. I. Rood, G. Dougan, T. D. Lawley, D. Lyras // mBio, 2015, vol. 6, no. 3, art. e00551. <https://doi.org/10.1128/mBio.00551-15>
6. Chandrasekaran R., Lacy D. B. The role of toxins in *Clostridium difficile* infection // FEMS microbiology reviews, 2017, vol. 41, no. 6, pp. 723–750. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux048>
7. Prevention of the main Clostridial diseases in cattle / R. Compiani, S. Grossi, L. Lucini, C.A. Sgoifo Rossi // Large Animal Review, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 51-56.
8. Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction / J. Ye, G. Coulouris, I. Zaretskaya, I. Cutcutache, S. Rozen, T. L. Madden // BMC bioinformatics, 2012, vol. 13, art. 134. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-134>

9. Revisiting the evolution and taxonomy of *Clostridia*, a phylogenomic update / P. Cruz-Morales, C. A. Orellana, G. Moutafis, G. Moonen, G. Rincon, L. K. Nielsen, E. Marcellin // *Genome biology and evolution*, 2019, vol. 11, no. 7, pp. 2035-2044. <https://doi.org/10.1093/gbe/evz096>
10. Edwards A. N., Suárez J. M., McBride S. M. Culturing and maintaining *Clostridium difficile* in an anaerobic environment // *Journal of visualized experiments: JoVE*, 2013, no. 79, art. e50787. <https://doi.org/10.3791/50787>
11. Popoff M. R., Brüggemann H. Regulatory networks controlling neurotoxin synthesis in *Clostridium botulinum* and *Clostridium tetani* // *Toxins*, 2022, vol. 14, no. 6, art. 364. <https://doi.org/10.3390/toxins14060364>
12. The utilization of a commercial soil nucleic acid extraction kit and PCR for the detection of *Clostridium tetanus* and *Clostridium chauvoei* on farms after flooding in Taiwan / S. W. Huang, J. P. Chan, W. Y. Shia, C. L. Shyu, K. C. Tung, C. Y. Wang // *The Journal of veterinary medical science*, 2013, vol. 75, no. 4, pp. 489-495. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0271>
13. Lange M., Neubauer H., Seyboldt C. Development and validation of a multiplex real-time PCR for detection of *Clostridium chauvoei* and *Clostridium septicum* // *Molecular and cellular probes*, 2010, vol. 24, no. 4, pp. 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2010.03.003>
14. NetF-producing *Clostridium perfringens* and its associated diseases in dogs and foals / I. Mehdizadeh Gohari, S. Unterer, A. E. Whitehead, J. F. Prescott // *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 2020, vol. 32, no. 2, pp. 230-238. <https://doi.org/10.1177/1040638720904714>
15. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit / K. Okonechnikov, O. Golosova, M. Fursov, UGENE team // *Bioinformatics (Oxford, England)*, 2012, vol. 28, no. 8, pp. 1166-1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>
16. Popoff M. R., Brüggemann H. Regulatory networks controlling neurotoxin synthesis in *Clostridium botulinum* and *Clostridium tetani* // *Toxins*, 2022, vol. 14, no. 6, art. 364. <https://doi.org/10.3390/toxins14060364>
17. Expansion of the *Clostridium perfringens* toxin-based typing scheme / J. I. Rood, V. Adams, J. Lacey, D. Lyras, B. A. McClane, S. B. Melville, R. J. Moore, M. R. Popoff, M. R. Sarker, J. G. Songer, F. A. Uzal, F. Van Immerseel // *Anaerobe*, 2018, vol. 53, pp. 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.04.011>
18. Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3 / A. Untergasser, H. Nijveen, X. Rao, T. Bisseling, R. Geurts, J. A. Leunissen // *Nucleic acids research*, 2007, vol. 35(Web Server issue), pp. W71-W74. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm306>
19. Towards an understanding of the role of *Clostridium perfringens* toxins in human and animal disease / F. A. Uzal, J. C. Freedman, A. Shrestha, J. R. Theoret,

- J. Garcia, M. M. Awad, V. Adams, R. J. Moore, J. I. Rood, B. A. McClane // *Future microbiology*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 361–377. <https://doi.org/10.2217/fmb.13.168>
20. Clostridial diseases of horses: a review / F. A. Uzal, M. A. Navarro, J. Asin, E. E. Henderson // *Vaccines*, 2022, vol. 10, no. 2, art. 318. <https://doi.org/10.3390/vaccines10020318>
21. Weese J. S. Clostridium (Clostridioides) difficile in animals // *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 2020, vol. 32, no. 2, pp. 213–221. <https://doi.org/10.1177/1040638719899081>
22. Vaccine production to protect animals against pathogenic Clostridia / N. E. Zaragoza, C. A. Orellana, G. A. Moonen, G. Moutafis, E. Marcellin // *Toxins*, 2019, vol. 11, no 9, art. 525. <https://doi.org/10.3390/toxins11090525>

References

1. Bezborodova N. A., Sokolova O. V., Kozhukhovskaya V. B., Tomskikh O. G., Pechura E. V., Suzdal'tseva M. A. Patogennyye vidy klostridiy i ikh ustoychivost' k antibiotikam, faktory virulentnosti i genomnye osobennosti [Pathogenic species of clostridia and their antibiotic resistance, virulence factors, and genomic feature]. *Innovacii i proizvod'stvennaya bezopasnost'*, 2023, vol. 3, pp. 39–51. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2023-41-3-39-51>
2. Glotova T. I., Terent'eva T. E., Glotov A. G. Vozbuditeli i vozrastnaya vospriimchivost' krupnogo rogatogo skota k klostridiozam [Pathogens and age susceptibility of cattle to Clostridiosis]. *Sibirskij vestnik sel'skhozâjstvennoj nauki*, 2017, vol. 47, no. 1, pp 90–96.
3. Danilyuk A. V., Kapustin A. V. Rasprostranennost' i vidovoe raznoobrazie klostridiy – vozbuditeley anaerobnykh infektsiy krupnogo rogatogo skota [The prevalence and species diversity of clostridia, the causative agents of anaerobic infections in cattle]. *Trudy Vserossiyskogo NII eksperimental'noy veterinarii im. Ya.R. Kovalenko*, 2019, vol. 81, pp. 19–26. <https://doi.org/10.30917/ATTPRINT-2019-10>
4. Breslauer K. J., Frank R., Blöcker H., Marky L. A. Predicting DNA duplex stability from the base sequence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1986, vol. 83, no. 11, pp. 3746–3750. <https://doi.org/10.1073/pnas.83.11.3746>
5. Carter G. P., Chakravorty A., Pham Nguyen T. A., Mileto S., Schreiber F., Li L., Howarth P., Clare S., Cunningham B., Sambol S. P., Cheknis A., Figueroa I., Johnson S., Gerding D., Rood J. I., Dougan G., Lawley T. D., Lyras D. Defining the roles of TcdA and TcdB in localized gastrointestinal disease, system-

- ic organ damage, and the host response during *Clostridium difficile* infections. *mBio*, 2015, vol. 6, no. 3, art. e00551. <https://doi.org/10.1128/mBio.00551-15>
6. Chandrasekaran R., Lacy D. B. The role of toxins in *Clostridium difficile* infection. *FEMS microbiology reviews*, 2017, vol. 41, no 6, pp. 723–750. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux048>
 7. Compiani R., Grossi S., Lucini L., Sgoifo Rossi C.A. Prevention of the main Clostridial diseases in cattle. *Large Animal Review*, 2021, vol. 27, no. 1, pp. 51–56.
 8. Ye J., Coulouris G., Zaretskaya I., Cutcutache I., Rozen S., Madden T. L. Primer-BLAST: a tool to design target-specific primers for polymerase chain reaction. *BMC bioinformatics*, 2012, vol. 13, art. 134. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-13-134>
 9. Cruz-Morales P., Orellana C. A., Moutafis G., Moonen G., Rincon G., Nielsen L. K., Marcellin E. Revisiting the evolution and taxonomy of *Clostridia*, a phylogenomic update. *Genome biology and evolution*, 2019, vol. 11, no. 7, pp. 2035–2044. <https://doi.org/10.1093/gbe/evz096>
 10. Edwards A. N., Suárez J. M., McBride S. M. Culturing and maintaining *Clostridium difficile* in an anaerobic environment. *Journal of visualized experiments: JoVE*, 2013, no. 79, art. e50787. <https://doi.org/10.3791/50787>
 11. Popoff M. R., Brüggemann H. Regulatory networks controlling neurotoxin synthesis in *Clostridium botulinum* and *Clostridium tetani*. *Toxins*, 2022, vol. 14, no. 6, art. 364. <https://doi.org/10.3390/toxins14060364>
 12. Huang S. W., Chan J. P., Shia W. Y., Shyu C. L., Tung K. C., Wang C. Y. The utilization of a commercial soil nucleic acid extraction kit and PCR for the detection of *Clostridium tetanus* and *Clostridium chauvoei* on farms after flooding in Taiwan. *The Journal of veterinary medical science*, 2013, vol. 75, no. 4, pp. 489–495. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0271>
 13. Lange M., Neubauer H., Seyboldt C. Development and validation of a multiplex real-time PCR for detection of *Clostridium chauvoei* and *Clostridium septicum*. *Molecular and cellular probes*, 2010, vol. 24, no. 4, pp. 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.mcp.2010.03.003>
 14. Mehdizadeh Gohari I., Unterer S., Whitehead A. E., Prescott J. F. NetF-producing *Clostridium perfringens* and its associated diseases in dogs and foals. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 2020, vol. 32, no. 2, pp. 230–238. <https://doi.org/10.1177/1040638720904714>
 15. Okonechnikov K., Golosova O., Fursov M., UGENE team. Unipro UGENE: a unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics (Oxford, England)*, 2012, vol. 28, no. 8, pp. 1166–1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>

16. Popoff M. R., Brüggemann H. Regulatory networks controlling neurotoxin synthesis in *Clostridium botulinum* and *Clostridium tetani* // *Toxins*, 2022, vol. 14, no. 6, art. 364. <https://doi.org/10.3390/toxins14060364>
17. Rood J. I., Adams V., Lacey J., Lyras D., McClane B. A., Melville S. B., Moore R. J., Popoff M. R., Sarker M. R., Songer J. G., Uzal F. A., Van Immerseel F. Expansion of the *Clostridium perfringens* toxin-based typing scheme. *Anaerobe*, 2018, vol. 53, pp. 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.04.011>
18. Untergasser A., Nijveen H., Rao X., Bisseling T., Geurts R., Leunissen J. A. Primer3Plus, an enhanced web interface to Primer3. *Nucleic acids research*, 2007, vol. 35(Web Server issue), pp. W71-W74. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm306>
19. Uzal F. A., Freedman J. C., Shrestha A., Theoret J. R., Garcia J., Awad M. M., Adams V., Moore R. J., Rood J. I., McClane B. A. Towards an understanding of the role of *Clostridium perfringens* toxins in human and animal disease. *Future microbiology*, 2014, vol. 9, no. 3, pp. 361–377. <https://doi.org/10.2217/fmb.13.168>
20. Uzal F. A., Navarro M. A., Asin J., Henderson E. E. Clostridial diseases of horses: a review. *Vaccines*, 2022, vol. 10, no. 2, art. 318. <https://doi.org/10.3390/vaccines10020318>
21. Weese J. S. *Clostridium* (Clostridioides) *difficile* in animals. *Journal of veterinary diagnostic investigation*, 2020, vol. 32, no. 2, pp. 213–221. <https://doi.org/10.1177/1040638719899081>
22. Zaragoza N. E., Orellana C. A., Moonen G. A., Moutafis G., Marcellin E. Vaccine production to protect animals against pathogenic *Clostridia*. *Toxins*, 2019, vol. 11, no. 9, art. 525. <https://doi.org/10.3390/toxins11090525>

ВКЛАД АВТОРОВ

Безбородова Н.А.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи, постановка ПЦР, статистическая обработка данных.

Мартынов Н.А.: постановка ПЦР, сбор и анализ данных.

Шилова Е.Н.: редактирование черновика рукописи.

Зубарева В.Д.: редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Кожуховская В.В.: выделение ДНК, постановка ПЦР.

Соколова О.В.: редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Natalia A. Bezborodova: study conception and design, drafting of the manuscript, performing PCR, statistical data analysis.

Nikolai A. Martynov: performing PCR, data collection and analysis.

Evgenia N. Shilova: editing of the draft of the manuscript.

Vladlena D. Zubareva: editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.

Veronika V. Kozhukhovskaya: DNA extraction and performing PCR.

Olga V. Sokolova: editing of the draft of the manuscript.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Безбородова Наталья Александровна, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
n-bezborodova@mail.ru

Мартынов Николай Александрович, студент, лаборант
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
martynov_kolya98@mail.ru

Шилова Евгения Николаевна, доктор ветеринарных наук, доцент, ведущий научный сотрудник
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
adelaida.gurgenovna@mail.ru

Зубарева Владлена Дмитриевна, аспирант, старший специалист
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
zzub97@mail.ru

Кожуховская Вероника Валентиновна, младший научный сотрудник
ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН

*ул. Белинского 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
tetramegon@yandex.ru*

Соколова Ольга Васильевна, доктор ветеринарных наук, руководитель
Уральского НИВИ – структурного подразделения ФГБНУ УрФА-
НИЦ УрО РАН
*ФГБНУ Уральский федеральный аграрный научно-исследователь-
ский центр УрО РАН
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
nauka_sokolova@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalia A. Bezborodova, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher
*FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
n-bezborodova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2793-5001>
SPIN-code: 7012-0999
Scopus Author ID: 57210813542*

Nikolai A. Martynov, Student, Laboratory Assistant
*FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
martynov_kolya98@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9251-0056>
SPIN-code: 7332-1403
Scopus Author ID: 57671574200*

Evgenia N. Shilova, Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher
*FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
adelaida.gurgenovna@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9506-6883>
SPIN-code: 5142-2256
Scopus Author ID: 57221335358*

Vladlena D. Zubareva, Postgraduate, Senior Specialist
*FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation*

zzub97@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0284-0276>

SPIN-code: 6040-0488

Scopus Author ID: 57719695400

Veronika V. Kozhukhovskaya, Junior Researcher

FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS

112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation

tetramegon@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7924-6844>

SPIN-code: 1458-2375

Scopus Author ID: 57218577277

Olga V. Sokolova, Doctor of Veterinary Sciences, Head

FSBSI Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, UrB of RAS

112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation

nauka_sokolova@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1169-4090>

SPIN-code: 7437-2300

Scopus Author ID: 57218576755

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 11.04.2024

Принята 20.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 11.04.2024

Accepted 20.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1123

УДК 636.087



Научная статья

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА КОРМОВЫХ ДОБАВОК: ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ УЛИТКОВОДСТВА

*В.В. Голембовский, В.В. Марченко,
А.И. Суров, Л.А. Пашкова*

Обоснование. Актуальность проведённых исследований обосновывается как производственной, так и научной необходимостью разработки вариантов использования белоксодержащего сырья улиток рода *Helix*.

Целью является выявление возможности разработки новых кормовых средств из нетрадиционного белоксодержащего сырья для применения в животноводстве.

Материалы и методы. Все исследования проводили по общепринятым методикам в условиях аккредитованных лабораторий и на базе ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» Ставропольского края.

В качестве исходного сырья выступали улитки рода *Helix* в процессе промышленного производства эскарго, при котором, образовавшиеся отходы производства, включающие печень, желудок, кишечник, сердце, легкое и другое, ранее не нашедшее дальнейшего технологического применения, в данной работе рассматриваются как альтернативное традиционному кормовое сырьё. Изучено влияние нескольких возможных вариантов применения этапов обработки (томление в воде при 60–70°C и заморозки) в технологии эскарго на качественное состояние отходов производства. Происследовано несколько образцов: 1 – отходы производства продукции из *Helix pomatia*, содержащих печень, желудок, кишечник, сердце, легкое и другое; 2 и 3 – тело *Helix lucorum* в двух вариантах технологии обработки, включающей один из этапов термической обработки – варку и заморозку, 4 – тело *Helix aspersa* Muller, подвергнувшееся также заморозке.

Результаты. Определили показатели химического, аминокислотного, витаминно-минерального и жирнокислотного состава образцов продукции улиток рода *Helix*.

Результаты продемонстрировали высокое содержание жизненно необходимых витаминов, минеральных элементов и жирных кислот, способствующих полноценному метаболизму в организме и обеспечению высокой продуктивности сельскохозяйственных животных. Приведённый химический состав демонстрирует максимальное содержание сырого протеина до 85,9 %.

Заключение. Улитки рода *Helix* представляют собой ценное кормовое сырьё, использование которого возможно в животноводстве.

Ключевые слова: улитки рода *Helix*; геликультура; отходы производства; кормовое средство; животноводство; кормление; биологически активный продукт

Для цитирования. Голембовский В.В., Марченко В.В., Суров А.И., Пашикова Л.А. Перспективы развития рынка кормовых добавок: применение продукции улитководства // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 156-183. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1123

Original article

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FEED ADDITIVES MARKET: THE USE OF SNAIL PRODUCTS

**V.V. Golembovskii, V.V. Marchenko,
A.I. Surov, L.A. Pashkova**

Background. The relevance of the conducted research is justified by both industrial and scientific necessity of development of variants of utilization of protein-containing raw materials of snails of the genus *Helix*.

Purpose. The goal is to identify the possibility of developing new feed products from non-traditional protein-containing raw materials for use in animal husbandry.

Materials and methods. All studies were carried out according to generally accepted methods in accredited laboratories and on the basis of VNIIOK, a branch of the North Caucasian Federal National Scientific Center of the Stavropol Territory.

The starting raw materials were snails of the genus *Helix* in the process of industrial production of escargot, in which the resulting production waste, including liver, stomach, intestines, heart, lung and others, which had not previously found further technological application, are considered in this work as an alternative to traditional feed raw materials. The influence of several possible options for using processing stages (simmering in water at 60–70°C and freezing) in escargot technology on the

quality of production waste has been studied. Several samples were examined: 1 – waste from the production of products from *Helix pomatia*, containing liver, stomach, intestines, heart, lung and others; 2 and 3 – the body of *Helix lucorum* in two variants of processing technology, including one of the stages of heat treatment – cooking and freezing, 4 – the body of *Helix aspersa* Muller, which was also frozen.

Results. We determined the chemical, amino acid, vitamin-mineral and fatty acid composition of samples produced by snails of the genus *Helix*.

The results demonstrated a high content of vital vitamins, minerals and fatty acids, which contribute to full metabolism in the body and ensure high productivity of farm animals. The given chemical composition demonstrates a maximum crude protein content of up to 85.9 %.

Conclusion. Thus, snails of the genus *Helix* represent a valuable feed material, which can be used in animal husbandry.

Keywords: snails of the genus *Helix*; helical culture; production waste; feed; animal husbandry; feeding; biologically active product

For citation. Golembovskii V.V., Marchenko V.V., Surov A.I., Pashkova L.A. Prospects for the Development of the Feed Additives Market: the Use of Snail Products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 156-183. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1123

Введение

Ежегодно только французы употребляют 40 000 тонн улиток, где преимущественным блюдом является эскарго. Примерно около миллиарда брюхоногих моллюсков ежегодно поставляется в пункты общественного питания США. Жители Средиземноморского побережья длительное время употребляют в пищу данных моллюсков.

Гелиководство в России не так масштабно развито, как в зарубежных странах. Причиной этому является исторически сложившаяся хозяйственно-экономическая деятельность. Но за последнее десятилетие наблюдается повышенный интерес к данной отрасли.

В настоящее время ассортиментная структура отечественного кормового рынка характеризуется стабильностью, кроме этого, он включает устойчивую динамику роста объёмов производства и новых мощностей, разработанные логистические экспортные маршруты.

Для необходимого роста поголовья важно обеспечить стабильно развивающуюся отечественную кормовую базу [20].

Всё большее внимание в качестве нетрадиционного сырья для скормливания сельскохозяйственным животным привлекают сухопутные улитки [9].

Улитки, как и другие виды моллюсков, характеризуются низким содержанием жира, а мясо – является источником внушительного содержания протеина с незаменимыми аминокислотами, витаминами и минеральными веществами, чем объясняется возрастающий на неё спрос. Для более полного использования улиток, как сырья, необходимы детальные исследования их питательной ценности и состава, которые зависят напрямую от естественной среды обитания: морские, пресноводные и наземные, а информации об экстракции и характеристики белка недостаточно. В приведённом ниже обзоре были обобщены данные исследований, включающих показатели состава и описание влияющих фактов.

Так, по имеющимся данным, состав жирных кислот улиток *H. aspersa* и *Helix pomatia* практически идентичен: максимально содержится пальмитиновой и стеариновой кислот, относящейся к насыщенным жирным кислотам (7,3 и 10,3 %; 17,4 и 16,4 % от суммы жирных кислот соответственно). Основной моновенасыщенной жирной кислотой выступает олеиновая кислота (13,6 и 14,7 % соответственно), а полиненасыщенными – линолевая кислота (17,5 и 13,6 %) и эйкозодиеновая кислота (7,5 и 9,1 %).

Наиболее распространёнными среди содержащихся минеральных веществ по нисходящей является кальций, калий и фосфор [5].

Из анализа химического состава было выявлено примерное среднее содержание влаги около 80,0 %, белка в диапазоне 20,0 – 25,0 % и жира и золы – 3,0 и 5,0 % по массе.

Среди аминокислот по содержанию выделяются: глутаминовая кислота (заменимая), лизин и лейцин (незаменимые).

Кроме этого, наземные улитки содержат в значительном количестве из полиненасыщенных жирных кислот линолевую и эйкозодиеновую кислоты.

Как продемонстрировали последующие исследования способ сушки влияет на содержание питательных веществ. Исследования, направленные на изучение пищевой ценности разных частей улиток, представляющих собой отходы производства (висцеральная масса) способствуют расширению потенциальных способов использования с получением дополнительной прибыли.

Так, например, висцеральная масса (гепатопанкреас) содержала более высокое количество жира, который характеризуется высоким содержанием ω -3 жирных кислот, при этом было зафиксировано значительное повышение количества патогенных микроорганизмов из-за включения желудочно-кишечного тракта.

Другой вид отходов производства – жаберная крышка не показала преимущественных существенных различий по составу в сравнении с мясом.

Так же пользуется спросом новое гастрономическое блюдо – белая икра *H. aspersa*.

Подтверждает вышеописанные результаты данные, полученные другими исследователями, согласно которым, содержание жира более высокой концентрации приходилось на внутренние органы, чем в сравнении с ногой [1].

Виноградную улитку используют для получения порошкообразного экстракта, который нашёл применение, как в фармакологии, так и в косметологии, благодаря богатому содержанию биологически активных веществ: холин – 13,0 %, витамин B₁₂ – 16,7 %, витамин E – 33,3 %, калий – 15,3 %, магний – 62,5 %, фосфор – 34,0 %, железо – 19,4 %, медь – 40,0 %, селен – 49,8 % [8].

По данным Усенко В.В., Тарабрина И.В., Войтенко А.С. мясо *Helix pomatia* характеризуется калорийностью, выраженной 90 ккал на 100 г, содержанием жира около 3,0, углеводов – 5,0, легкоусвояемых белков – 10,0 % [6]. Так же содержится в мясе минеральных элементов (магния, никеля, натрия, калия, железа, цинка, фосфора) и витаминов (B₆ и B₁₂).

Обеспечение животного организма минеральными элементами, такими как Se, Zn, Cu, Fe и Mn играет важное значение, так как они способствуют эффективному прохождению многих ферментативных процессов и биохимической активности [16].

По известным данным норма потребления разных видов мяса на душу населения в год составляет: свинина – 15,8, птица – 13,6, говядина – 9,6 и баранина – 1,9 кг, однако, в результате неблагоприятно сложившихся факторов, таких как засухи, повлёкшую за собой высокую стоимость кормовых средств, болезней, произошло сокращение объёмов потребления и привело к использованию нетрадиционных источников белка животного происхождения, каким является мясо улиток (FAOSTAT 2014).

Раковина улитки является богатым источником кальция, составляющим треть от веса целой улитки, а тело – 60–70,0 % белка в пересчёте на сухое вещество и влаги – 70,0 % [19].

Производимый порошок из раковин улиток используется в качестве кормовой добавки, обеспечивающей кальцием в птицеводстве в кормлении цыплят-бройлеров, кур-несушек и для мелкого и крупного рогатого скота.

Проведённые исследования выявили, что *Helix pomatia* и *A. fulica* характеризуется низким уровнем содержания жиров, высоким уровнем белка.

Содержание жира в улитке находится в пределах 1,2–5,1 %, что показывает низкий уровень по сравнению с яйцом – 9,6, бараниной – 21,4,

уткой – 23,0 и говядиной – 22,0 % (ФАО 1995). При более детальном исследовании была выявлена положительная корреляция между содержанием белка и цинка раковины.

Группа соавторов Компанцев Д.В., Чахирова А.А. и Мурсалова Т.Т. рассматривали использование улиток для разработки технологии получения клеточного экстракта из *Helix aspera muller* для применения в косметологических целях и в медицине [12].

Но авторы другой научной работы поднимают вопрос о возможности микробиологического загрязнения мяса улиток, причиной которого, является окружающая среда (первичное загрязнение), а персонал и оборудование (вторичное) и предлагают для решения данной проблемы разработанный ими способ [17], а также о токсичности и заражении улиток трематодами [2; 4; 7; 13].

Несмотря на имеющиеся данные о видах желёз, содержащихся в ноге улитки, вопросы о составе вырабатываемого ими секрета остаются открытыми [11, 18]. Учитывая, что секретируемая слизь телеобразного типа, то данный биопродукт обладает большим потенциалом для реализации в разных отраслях промышленности: фармация, медицина, косметология и пищевая промышленность [3; 15].

Эти результаты согласуются с полученными коллективом Djikeng F.T., Ndambwe C.M.M., Ngangoum E.S. и др. результатами о хорошем качестве мяса улиток, содержащем белок, незаменимые аминокислоты, минеральные элементы (фосфор, калий, кальций, магний и др.), витамины (С и В) [14].

Несмотря на имеющиеся данные о питательном составе улиток, использование брюхоногих моллюсков и производных продуктов имеет не большой ареал производства в качестве альтернативного ингредиента в кормовых и пищевых системах. Это область требует проведения дополнительных исследований, чтобы в полной мере использовать их сырьевой потенциал в промышленности.

Цель работы состояла в изучении, разработке и выборе лучшего способа обработки улитки, а также сравнительной питательной оценки ценности отходов производства, включающих печень, желудок, кишечник, сердце, легкое и другое, принадлежащих *Helix pomatia* с телом *Helix aspersa Muller (Cornu aspersum)* и *Helix lucorum*.

Материалы и методы исследования

Сравнение проводили между общепринятым используемым способом инфракрасной сушки отходов производства и лиофильной сушкой тел ули-

ток *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*) и *Helix lucorum*, дополнительно обработанных на определённом этапе низкой температурой (то есть замораживанием) и высокой (применением варки).

Во всех сравниваемых вариантах способов сбор и отбор улиток (*Helix pomatia*, *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*), *Helix lucorum*) производился только кондиционных, достигших товарной зрелости.

Далее осуществлялась голодная выдержка особей, составляющая не менее двух дней, необходимая для очистки от содержимого желудочно-кишечного тракта с периодическим промыванием их водой температурой до 37°C.

Следующим этапом является температурная обработка в нескольких вариантах: замораживание и варка (табл. 1).

Таблица 1.

Схема опыта			
Способ обработки			
Инфракрасная сушка	Леофильная сушка		
отходы производства <i>Helix pomatia</i>	тело <i>Helix aspersa</i> Muller (<i>Cornu aspersum</i>), замораживание	тело <i>Helix lucorum</i>	
		№ 1 образец	№ 2 образец
		замораживание	варка
Сбор и отбор кондиционных улиток			
Голодная выдержка			
Замораживание			Варка
Оттаивание	—		
Извлечение тела улиток из раковины			
Инфракрасная сушка	Леофильная сушка		
Измельчение			

Замораживание улиток *Helix pomatia*, *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*), *Helix lucorum* (№ 1 образец) проходило в температурном режиме от –1 до –25°C, а процесс варки был применён только при обработке образца № 2 улиток *Helix lucorum* при +100°C, 30 мин.

Этап – оттаивание, был включён только в технологический процесс инфракрасной сушки улитки *Helix pomatia*, который проходил при повышении температуры окружающей среды в диапазоне от 0 до +24°C (рис. 1).



Рис. 1. Оттаивание улитки и тело улитки.

Извлечение тела улиток из раковины. В способе инфракрасной сушки тела улиток *Helix pomatia* извлекали из оттаявших раковин с последующим отделением филе, при котором получали дальнейшее сырьё – отходы производства, включающие печень, желудок, кишечник, сердце, легкое и другое. В способе лиофильной сушки извлечение тел улиток *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*) и *Helix lucorum* (№ 1 образец) происходило из замороженных раковин при нарушении их целостности (разбивании), а при работе с образцом № 2 – тело извлекали из варёной раковины.



Рис. 2. Результат применения инфракрасной сушки.

Очередным этапом является сушка, включающая несколько способов. Инфракрасная сушка (общепринятый и используемый способ) применялась только для отходов производства улиток *Helix pomatia* и проходила при экспозиции процесса, определяемой температурой на поверхности сырья, достигаемой не более $+100^{\circ}\text{C}$ до приобретения его постоянной массы (рис. 2).

Извлечённые тела улиток *Helix aspersa Muller (Cornu aspersum)* и *Helix lucorum* (№ 1 и № 2 образцы) были подвергнуты лиофильной сушке (разработанный способ), которая заключалась в замораживании сырья при диапазоне от -40 до -50°C при атмосферном давлении. По достижении поверхности сырья наименьшей температуры (не менее $-(35-40)^{\circ}\text{C}$) включалась вакуумная откачка с последующим снижением давления до 15–14 Па. В дальнейшем происходило удаление остаточной влаги посредством пошагового увеличения температуры полок на $+5^{\circ}\text{C}$ начиная с $+15^{\circ}\text{C}$ и доведением до $+45^{\circ}\text{C}$ с интервалом каждые 5 часов. При этом температура непосредственно сырья становится $+40^{\circ}\text{C}$. В среднем процесс досушивания составляет 15 часов и температура в сырье достигает значений $+(20-22)^{\circ}\text{C}$. Показателем готовности полученного продукта и завершения процесса лиофилизации является значение его остаточной влажности, которое должно быть в пределах критерия приемлемости от 1 до 4,0 %. При этом оцениваемые отобранные средние пробы должны соответствовать визуальной стабильности, то есть быть без подтёков, желтого цвета, что говорит о его готовности (рис. 3).



Рис. 3. Результат применения лиофильной сушки.

Последней стадией технологического процесса выступает этап измельчения посредством помола необходимого размера согласно требованиям (рис. 4).

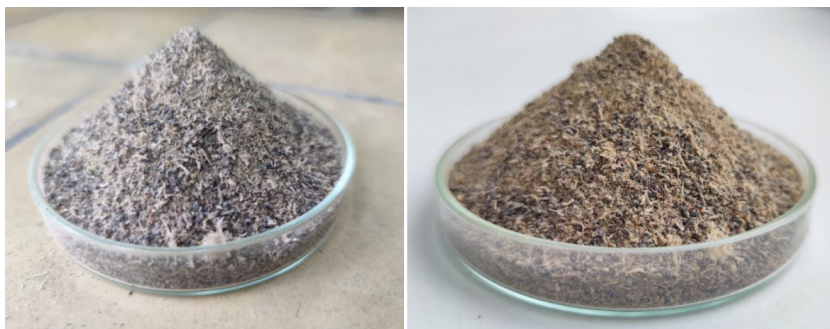


Рис. 4. Измельченные образцы биологически активного продукта.

Дальнейшие исследования образцов готового продукта проходили в аккредитованных лабораториях Ставропольского края: в Научной лаборатории «Корма и обмен веществ» ФГОУ ВПО «Ставропольский ГАУ» – полный зоотехнический и аминокислотный анализ и в ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ставропольском крае» Испытательный лабораторный центр – витаминный, минеральный и жирнокислотный анализ.

Полный зоотехнический анализ образцов продукта проводился согласно Методическим указаниям, в результате которого проходило взятие средней пробы всех образцов, с дальнейшим определением влажности, сырого протеина по Кьельдалю, сырого жира по обезжиренному сухому остатку методом Сокслета, сырой золы сжиганием и прокаливанием в муфельной печи [10].

Аминокислотный анализ был осуществлён на аминокислотном анализаторе модели и марки AAA 400 «ИНГОС» (Чехия), который относится к узкоспециализированным и автоматизированным жидкостным хроматографам при компьютерном управлении с оснащённым постколоночной детекторной системой.

Для изучения способов обработки улитки и её производных продуктов были отобраны четыре образца улиток *Helix pomatia*, *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*), *Helix lucorum* весом по 5,0 кг каждый.

Результаты исследования и их обсуждение

Представленные результаты в данном разделе подробно раскрывают перспективные возможности применения изучаемого сырья.

Полученные результаты исследований образцов приведены в таблице 2. В таблице 2 представлены образцы полученных продуктов от нескольких видов улиток, обработанных разными способами: 1 – отходы производства продукции улитководства *Helix pomatia*, подвергнутые инфракрасной сушке, 2 – замороженное тело улитки *Helix aspersa Muller (Cornu aspersum)*, обработанное лиофильной сушкой, 3 – замороженное тело улитки *Helix lucorum*, прошедшее лиофильную сушку и 4 – варёное тело улитки *Helix lucorum*, включающее в технологический процесс лиофильную сушку.

По изученному комплексу витаминов, включающему A, E, B₁, B₂, PP, B₆ и B₉, образец отходов производства *Helix pomatia*, обработанный инфракрасной сушкой, превосходил образец замороженного тела улитки *Helix aspersa Muller (Cornu aspersum)*, обработанный лиофильной сушкой в пределах от 66,7 % до 2,2 раза, образец замороженного тела улитки *Helix lucorum*, прошедшее лиофильную сушку – от 17,3 % до 48,3 %, образец варёного тела улитки *Helix lucorum*, также обработанного лиофильной сушкой – от 73,3% до 2,3 раза. Это можно объяснить наличием в отходах производства печени, желудка, кишечника и других органов, принадлежащих *Helix pomatia*.

Таблица 2.

Витаминный, минеральный и жирнокислотный состав образцов

Показатель	Единица измерения	Способ обработки			
		ИК сушка	Лиофильная сушка		
		отходы производства <i>Helix pomatia</i>	тело <i>Helix aspersa Muller</i> , заморозка	тело <i>Helix lucorum</i>	
				заморозка	варка
Витамины					
A	мг/кг	1,3	0,6	1,0	0,6
E	мг/кг	190,0	114,0	162,0	96,0
B ₁	мг/100 г	0,043	0,022	0,029	0,019
B ₂	мг/100 г	0,52	0,25	0,38	0,25
B ₆	г/100 г	0,00056	0,00027	0,00042	0,00026
PP	г/100 г	0,0059	0,0029	0,0045	0,0027
B ₉	мкг/кг	26,0	15,0	19,0	15,0
Макроэлементы					
Натрий	мг/кг	492,0	8 075,1	712,9	768,0
Калий	мг/кг	2 368,2	6 078,0	3 693,8	1 628,3
Кальций	мг/кг	9 585,0	19 071,0	65 355,0	7 901,0
Магний	мг/кг	3 414,7	3 833,3	1 990,9	2 246,1

Фосфор	мг/100 г	510,5	510,5	510,5	510,5
Микроэлементы					
Железо	мг/кг	71,0	69,0	70,0	70,0
Медь		78,0	40,0	76,0	138,0
Селен		0,04	0,05	0,05	0,05
Цинк		105,0	63,7	97,8	69,8
Жирные кислоты					
Миристиновая	%	1,12	1,50	1,78	1,54
Пальмитиновая		27,50	28,20	29,02	29,85
Стеариновая		8,11	7,82	6,90	7,25
Пальмитолеиновая		6,02	5,12	4,93	5,12
Олеиновая		27,15	27,65	27,98	26,46
Линолевая		3,95	2,17	1,95	4,23
Эйкозапентаеновая		14,03	15,40	14,90	13,57
Докозапентаеновая		11,52	12,14	12,54	11,98

По общепринятой классификации витамины подразделяются на жирорастворимые и водорастворимые.

К жирорастворимым витаминам из определённых в образцах относятся витамины А и Е, а к водорастворимым – витамины группы В.

Витамины группы В характеризуются биокаталитическим действием, участвуя в построении ферментов, а витамины А и Е относятся к типу индуктивного действия, способствуя поддержанию дифференциации тканей.

Каротиноиды, токоферолы, тиамин, рибофлавин, никотиновая кислота, пиридоксин, фолиевая кислота представляют собой и образуют незаменимый пищевой фактор биологически активных веществ, который характеризуется органическим происхождением, но разной химической природы.

Как уже известно, что биологически активными формами являются ретинол и бета-каротин, но процессы всасывания и использования каротина у разных видов сельскохозяйственных животных происходит отлчительно.

Как видим, из таблицы 2 среди образцов, подвергнутых лиофильной сушке, максимальным содержанием витамина А обладал лиофилизат тела улитки *Helix lucorum* (замороженное) – 1,0 мг/кг, а лиофилизат варёного тела – 0,6 мг/кг – уменьшению количества содержания данного показателя, по нашему мнению, способствовала термическая обработка – варка, то есть произошла потеря его содержания.

Согласно физиологии превращения каротина у сельскохозяйственных животных в стенках тонкого отдела кишечника, печени и крови под влияни-

ем фермента каротиназы в ретинол, объяснимо максимальное содержание витамина А в образце отходов производства улитки *Helix pomatia*, включающих печень, желудок, кишечник, сердце, легкие и другое – 1,3 мг/кг.

В сравнении с традиционными кормами, принятыми, как основной источник каротина: зеленая трава (20–70 мг/кг), красная морковь (80–100 мг/кг), травяная мука (100–250 мг/кг), хвойная мука (120–130 мг/кг), сенаж (30–50 мг/кг), силос (15–30 мг/кг) отходы производства улитководства содержат 1,3 мг/кг витамина А.

Всасывание витамина Е в животном организме происходит в основном в тонком отделе кишечника и частично – в желудке. Депонируется витамин главным образом в печени и жировых тканях, частично – в сердце и селезенке. Озвученный факт, по нашему мнению, объясняет максимальное содержание токоферола в образце отходов производства улитки *Helix pomatia* – 190,0 мг/кг против значений 114,0, 162,0 и 96,0 мг/кг, что на 66,7, 17,3 и 97,9 % соответственно больше.

Также в сравнении с традиционными источниками витамина, которые скормливаются сельскохозяйственным животным (зерновые злаки – 15–63 мг/кг, зернобобовые – 34–53 мг/кг, травяная мука – до 260 мг/кг, молодая пастбищная трава – 60–80 мг/кг, старая – 4–20 мг/кг, пшеничные отруби – 62–147 мг/кг, корма животного происхождения – 1–8 мг/кг), отходы производства улитки *Helix pomatia* содержат значительное количество витамина Е.

По сравнению с используемыми кормами богатыми тиамин (сено, зерновые – 3–4,9 мг/кг, горох – 8,5, соя – 12, дрожжи кормовые – 18 мг/кг) полученные образцы менее богаты данным витамином: 0,43, 0,22, 0,29 и 0,19 мг/кг.

Максимальное содержание витамина В₂ было в образце отходов производства улитки *Helix pomatia* – 5,2 мг/кг, при этом в других образцах соответственно – 2,5, 3,8 и 2,5 мг/кг.

Проведённое исследование на определение содержания количества никотиновой кислоты показало, что максимальное содержание её в отходах производства продукции улитководства *Helix pomatia* – 0,059 г/кг, а в остальных образцах соответственно – 0,029, 0,045 и 0,027 г/кг.

В 1 кг изучаемых образцов содержится соответственно пиридоксина 0,0056, 0,0027, 0,0042 и 0,0026 г.

Витамин В₉ представлен соответственно в образцах в количестве: 26,0; 15,0; 19,0 и 15,0 мкг/кг.

По данным Евсейченко В.В. полученный им порошкообразный экстракт из виноградной улитки характеризуется содержанием следующих

нутриентов: витамина А – 0,3 мг/кг, витамина Е – 50,0 мг/кг, тиамин – 0,01 мг/100 г, рибофлавин – 0,12 мг/100 г, витамина РР – 0,0014 г/100 г, пиридоксин – 0,00013 г/100 г и витамина В₉ – 60,0 мкг/кг, что в свою очередь уступает представленному нами образцу отходов производства улитки *Helix pomatia* в 4 раза по всем показателям (кроме содержания фолиевой кислоты), количество которой в 2 раза превышает наш показатель.

Минеральный состав, полученных нами образцов продукции из улиток, представляет собой интерес, так как он влияет на способность органов депонировать вещества, к которым в основном относятся костная ткань, кожа, печень, селезенка и другие.

В зависимости от количественного содержания все минеральные элементы принято делить на макро- и микроэлементы, к первым определяемым нами элементам в образцах продукции относятся натрий, калий, кальций, фосфор, магний и ко второй группе элементов – железо, медь, селен и цинк.

В свою очередь, такие микроэлементы как железо, медь и цинк относятся к катионным элементам и процесс всасывания происходит с разной интенсивностью. Регуляторные механизмы, составляющие гомеостатический контроль, осуществляются печенью и желудочно-кишечным трактом. Селен относится к анионным элементам. Он интенсивно реабсорбируется желудком при этом, выделяется большей частью почками.

Так, кальций среди изученных нами макроэлементов составляет наибольшую долю и максимальное его содержание зафиксировано в образце тела улитки *Helix lucorum* замороженного и обработанного лиофильной сушкой – 65355 мг/кг, что составило в сравнении с другими образцами в 6,8, 3,4 и 8,3 раза соответственно.

Содержание фосфора во всех полученных образцах продукта из улиток было аналогичным – 510,5 мг/100 г.

Определение таких минеральных элементов как магний, натрий и калий показало, что максимальное их содержание было зафиксировано в образце замороженного тела улитки *Helix aspersa Muller (Cornu aspersum)*, обработанного лиофильной сушкой: 3833,3, 8075,1 и 6078,0 мг/кг соответственно. При этом разница составила по первому нутриенту на 12,3, 92,5 и 70,7 %, по второму в 16,4, 11,3 и 10,5 раз и по третьему показателю в 2,6, 1,6 и 3,7 раз в сравнении с другими образцами соответственно.

Содержания количества железа во всех исследуемых образцах было примерно одинаковым. Тенденция к повышенному содержанию его была зафиксирована в образце, содержащем отходы производства продукции

улитки *Helix pomatia*, подвергнутые инфракрасной сушке на 2,9, 1,4 и 1,4 % соответственно в сравнении с другими образцами, так как именно в печени и в почке данный элемент депонируется. В данном образце также больше содержалось цинка на 64,8, 7,4 и 50,4 % в сравнении с тремя другими образцами продукта.

Максимальное содержание меди наблюдаем в образце варёного тела улитки *Helix lucorum*, обработанного лиофильной сушкой на 76,9 %, в 3,5 раза и на 81,6 % в сравнении с первыми тремя образцами соответственно.

Селен во всех четырёх образцах был на уровне 0,04–0,05 мг/кг, но наименьшее его содержание было в образце, содержащем отходы производства продукции улитки *Helix pomatia*. В больших дозах он токсичен.

Количество селена, представляющее минимальную смертельную дозу для сельскохозяйственных животных, выражается для лошадей – в 3,3 мг, крупного рогатого скота – в 10 мг, свиней – в пределах 15–18 мг на 1 кг живого веса. Испытания проводили при скормливании селенистого натрия.

Так, группой учёных [6], кроме изучения химического состава разных видов улиток и панциря, был рассмотрен вопрос возникновения при точном потреблении человеком улиток в рационе возможного риска для здоровья посредством влияния микроэлементов. Неканцерогенные риски, связанные с употреблением улиток, оценивали методом THQ, который показал отсутствие существенных неблагоприятных последствий для здоровья человека при употреблении улиток видов *A. achatina*, *A. Marginata* и *A. fulica* в пищу, но постоянное и системное употребление их может способствовать выявлению возможной опасности.

Функция жиров в организме животного велика и заключается в выполнении роли составного компонента ферментов, гормонов, витаминов и в участии метаболизма.

Как следует из таблицы 2, из определённого состава всех жирных кислот, полученных образцов продукции из улиток наименьшую процентную долю занимали насыщенные, представленные миристиновой, пальмитиновой и стеариновой, количество которых согласно образцам (1 – отходы производства *Helix pomatia*, 2 – замороженное тело улитки *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*), 3 и 4 – замороженное и варёное тело улитки *Helix lucorum*) соответствовало: 36,7, 37,5, 37,7 и 38,6 %.

Исходя из этого, максимальную процентную долю составляют ненасыщенные жирные кислоты: 62,7, 62,5, 62,3 и 61,4 %, соответственно образцам, при этом мононенасыщенные, представленные содержанием

пальмитолеиновой и олеиновой кислотами занимают – 33,2, 32,8, 32,9 и 31,6 %, а полиненасыщенные (линолевая, эйкозапентаеновая и докозапентаеновая): 29,5, 29,7, 29,4 и 29,8 % соответственно.

При этом, самая максимальная разница по содержанию жирных кислот между образцами полученной продукции была в пределах 2,0 %, что говорит о примерном содержании их на одном уровне при сравнении между образцами и об отсутствии влияния видового, сырьевого происхождения и способа обработки.

В определённом сыром жире содержится максимальное количество пальмитиновой и олеиновой жирных кислот.

Несмотря на незначительное содержание линолевой кислоты в образцах в пределах от 1,95 до 4,23 % значение её для организма велико.

Результаты проведённого исследования на определение химического состава изучаемых образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Химический состав образцов продукции улиток, %

Разновидность улитки		Показатель				
		СП	СЖ	СЗ	СК	Угле- воды
Отходы производства <i>Helix pomatia</i> , ИК сушка		85,87	3,47	8,03	-	-
Леофильная сушка						
Тело <i>Helix aspersa</i> Muller (<i>Cornu aspersum</i>), замороженное		74,90	3,46	8,90	-	-
Тело <i>Helix lucorum</i> , замороженное		60,46	3,82	18,49	-	-
Литературные данные						
<i>Achatina achatina</i> ¹		71,66	5,06	3,49	1,21	13,69
<i>Achatina fulica</i> ¹		62,56	2,27	3,00	0,03	27,29
<i>Archachatina marginata</i> ¹		85,12	4,37	3,06	1,32	2,25
<i>Archachatina marginata</i> , 12 ²		46,55	5,68	3,15	3,30	34,82
<i>Archachatina marginata</i> , 24 ²		57,53	3,89	2,80	3,70	28,08
<i>Helix pomatia</i> ³		72,5	5,5	12,6	-	-
<i>Helix lucorum</i> ³		68,2	6,5	13,4	-	-
<i>Helix aspersa maxima</i> ³		57,6	9,7	9,0	-	13,8
<i>Helix pomatia</i> ⁴	нога	74,5	5,5	13,6	-	-
	органы	80,0	7,0	10,0	-	-
<i>Helix lucorum</i> ⁴	нога	72,2	6,5	8,7	-	-
	органы	74,3	11,7	7,5	-	-

<i>Helix aspersa maxima</i> ⁴	нога	65,0	6,5	9,2	-	15,2
	органы	52,8	16,3	9,7	-	14,2
<i>Helix pomatia</i> ⁵		85,16	2,14	9,84	-	-

Примечание: «СП» – сырой протеин; «СЖ» – сырой жир; «СЗ» – сырая зола; «СК» – сырая клетчатка; «¹» – представлены результаты по содержанию показателей в сушёном мясе улиток [6]; «²» – показаны образцы мяса улитки *Archachatina marginata* в процессе переработки (варки в течение 12 и 24 мин.) [17]; «³» – опубликованы данные по содержанию показателей всего тела улиток [5]; «⁴» – дан сравнительный анализ ноги и внутренних органов улиток разных видов [5]; «⁵» – состав улитки [9]

В полученных нами образцах, содержание сырой клетчатки обнаружено не было, так как поголовье улиток было подвергнуто согласно методике голодной выдержке, это способствовало полному очищению желудочно-кишечного тракта. Углеводы не определяли.

При анализе полученных нами данных видим, что максимальное содержание сырого протеина было в образце отходов производства улитки *Helix pomatia*, что на 11,0 и 25,4 % больше по сравнению с другими образцами соответственно.

Содержание сырого жира во всех трёх образцах было практически на одном уровне, и разница составила 0,4 % в пользу образца, содержащего тело *Helix lucorum* (замороженное).

Наибольшее содержание сырой золы было определено также в образце, характеризующимся телом *Helix lucorum* (замороженное) – 18,49 %, в свою очередь разница составила 10,5 и 9,6 % соответственно.

Из представленных нами образцов доказано, что отходы производства улитки *Helix pomatia* не уступают, а по содержанию сырого протеина даже превосходят другие образцы, из чего следует, что данный продукт может представлять интерес в виде сырья для производства биологически активных веществ, используемых для функционального и специализированного питания, в медицине, фармакологии и технологии производства сельскохозяйственной продукции.

Изучение приведённых ранее данных химического состава из литературных источников показало, что диапазон содержания показателей широко варьирует, таких как сырого протеина от 46,55 до 85,16 %, сырого жира – 2,14–16,30 % и сырой золы – в пределах 2,80–13,60 %. Данный диапазон объясним разным видом улиток, ареалом происхождения, исследуемой анатомической частью организма и способом обработки.

Сырая клетчатка находилась в незначительных пределах до 3,70 %, а содержание углеводов – до 34,82 %.

Аминокислотный состав представлен в таблице 4.

Таблица 4.

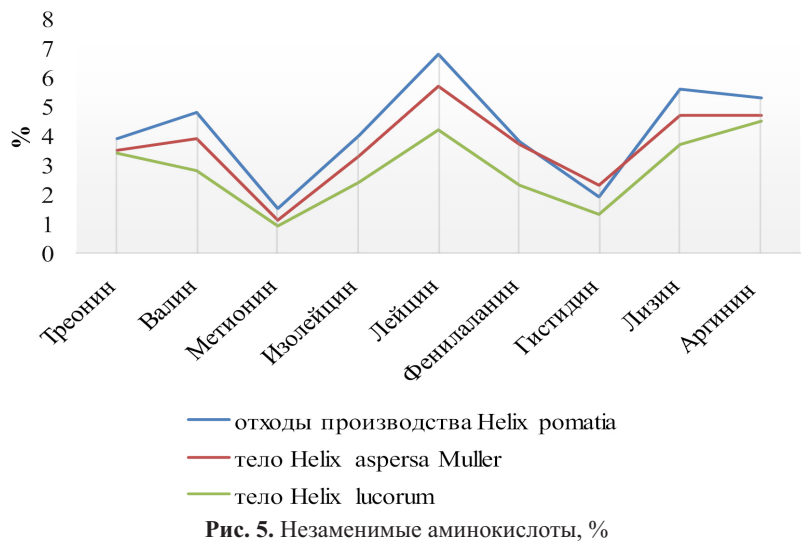
Аминокислотный состав образцов продукции улиток, %

Показатель	Образцы продукции		
	ИК сушка	Леофильная сушка	
	отходы производства <i>Helix pomatia</i>	тело <i>Helix aspersa Muller</i> , замораживание	тело <i>Helix lucorum</i> , замораживание
Аспарагиновая кислота	10,14	7,98	6,75
Треонин	3,91	3,45	3,43
Серин	3,95	3,76	2,84
Глутаминовая кислота	11,67	10,55	9,57
Пролин	3,86	3,24	2,98
Глицин	6,31	4,41	4,45
Аланин	4,53	3,88	3,13
Валин	4,75	3,87	2,83
Метионин	1,52	1,09	0,89
Изолейцин	3,97	3,32	2,36
Лейцин	6,78	5,72	4,21
Тирозин	3,40	3,18	2,09
Фенилаланин	3,77	3,67	2,29
Гистидин	1,89	2,26	1,25
Лизин	5,61	4,73	3,66
Аргинин	5,27	4,74	4,50
Цистин	0,74	1,02	0,45

Согласно данным таблицы 4 можно отследить тенденцию превышения содержания аминокислот в отходах производства *Helix pomatia* по сравнению с другими образцами в пределах до 3,4 %, кроме количества гистидина и цистина, которое незначительно меньше на 0,4 и 0,3 % соответственно.

На рисунке 5 для большей наглядности представлено содержание незаменимых аминокислот в сравнительном аспекте всех трёх образцов в виде графиков.

Данные аминокислоты не могут синтезироваться организмом животных, поэтому должны поступать с кормами. Из незаменимых аминокислот особое внимание занимают лизин и метионин, которые относятся к лимитирующим.



Для определения биологической ценности полученных образцов рассчитывали содержание аминокислот на 100 г белка, содержащегося в продуктах улитки (табл. 5).

Таблица 5.

Аминокислотный состав полученных образцов

Показатель	Эталонный белок ФАО/ВОЗ г/100 г белка	Образцы продукции, количество г/100 г белка		
		ИК сушка	Лиофильная сушка	
		отходы производства <i>Helix pomatia</i>	тело <i>Helix aspersa</i> Muller, замораживание	тело <i>Helix lucorum</i> , замораживание
Лизин	5,5	6,5	6,3	6,1
Треонин	4,0	4,6	4,6	5,7
Метионин+цистин	3,5	2,6	2,8	2,2
Фенилаланин+тирозин	6,0	8,4	9,1	7,2
Валин	5,0	5,5	5,2	4,7
Лейцин	7,0	7,9	7,6	7,0
Изолейцин	4,0	4,6	4,4	3,9
Триптофан	1,0	-	-	-

Показателем биологической ценности белка является аминокислотный скор (АС) (табл. 6). Сравнение проводим с эталонным белком, состав незаменимых аминокислот которого, сбалансирован.

Аминокислота триптофан входит в состав эталонного белка, но в связи с отсутствием в лаборатории возможности её определения, не указываем её значение в таблице.

Сравнивали содержание каждой незаменимой аминокислоты, содержащейся в полученных образцах с белком по шкале ФАО/ВОЗ и определяли аминокислотный скор.

Таблица 6.

Биологическая ценность полученных образцов

Показатель	Аминокислотный скор				
	отходы производства <i>Helix pomatia</i>	тело <i>Helix aspersa</i> Muller, заморозка	тело <i>Helix lucorum</i> , заморозка	литературные данные по <i>Helix pomatia</i> *	
				гомогенат улитки	мускул улитки
Лизин	1,18	1,15	1,11	1,24	1,12
Треонин	1,15	1,15	1,43	1,58	1,34
Метионин+цистин	0,74	0,80	0,63	1,03	0,11
Фенилаланин+тирозин	1,40	1,52	1,20	1,60	1,27
Валин	1,10	1,04	0,94	0,92	0,92
Лейцин	1,13	1,09	1	1,27	1,16
Изолейцин	1,15	1,10	0,98	1	0,88

Примечание: «*» – в таблице приводятся литературные данные по содержанию аминокислотного сора в гомогенате и в мускуле улитки *Helix pomatia* [8]

Определение АС эссенциальных аминокислот белков, содержащихся в образцах, показало, что в белках отходов производства *Helix pomatia* и тела *Helix aspersa* Muller (*Cornu aspersum*) первой лимитирующей аминокислотой является сочетание метионина с цистином, так как аминокислотный скор суммарного содержания их был равен 0,74 и 0,80 соответственно (меньше 1,0), что говорит о недостаточном их содержании. По остальным аминокислотам АС показал избыточное содержание.

В белке образца тела *Helix lucorum* так же первой лимитирующей аминокислотой считается суммарное содержание метионина и цистина – аминокислотный скор равен 0,63, что составляет 62,9 % обеспеченности от

эталонного белка, но дополнительно констатируем недостаточное содержание по валину и изолейцину (0,94 и 0,98).

Таким образом, сравнение трёх образцов показало, что наиболее биологически полноценным считается белок, содержащийся в первых двух.

Приведённый дополнительно аминокислотный скор аминокислот белков гомогената и мускула улитки *Helix pomatia* демонстрирует, что первый белок продукта содержит лимитирующую аминокислоту валин – 0,92, а второй белок продукта соответственно – сочетание метионина с цистином (0,11), валин (0,92) и изолейцин (0,88).

Таким образом, сравнительный анализ белков, полученного образца отходов производства и мускула (литературные данные) улиток *Helix pomatia* доказывает наибольшую биологическую ценность первого продукта.

Заключение

Отражённый материал в представленной работе по таким показателям, как витаминный, минеральный, жирнокислотный, химический и аминокислотный состав, а также биологическая ценность, демонстрирует возможное и перспективное использование отходов производства улитки *Helix pomatia* в качестве сырья для производства биологически активных веществ, используемых для функционального и специализированного питания, в медицине, фармакологии и технологии производства сельскохозяйственной продукции.

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

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены в рамках государственного задания НИР FNMU-2022-0010 «Научное обоснование, усовершенствование и разработка элементов технологии для производства высококачественной и конкурентноспособной продукции животноводства».

Список литературы

1. Зоотехнический анализ кормов. Методические указания к лабораторным занятиям для студентов специальностей «Зоотехния» и «Ветеринария» / Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Молодых А.И., Ткаченко М.А., Марынич А.П., Банов В.П., Сварич Д.А. Ставрополь: ГОУ Ставропольский аграрный университет, 2002. 27 с.
2. Компанцев Д.В., Чахирова А.А., Мурсалова Т.Т. Разработка инновационной технологии получения нового материала «клеточный экстракт *Helix*

- aspera muller» для использования в косметологии и медицине // Меди-ко-фармацевтический журнал «Пульс». 2020. № 7. С. 44–49. <http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-7-44-49>
3. Пат. 2763589 Российская Федерация, МПК A23L 33/10, A61K 35/618, A61K 8/98. Способ получения порошкообразного экстракта из виноградной улитки / В.В. Евсейченко; заявитель Евсейченко В.В. № 2021119836; заявл. 07.07.2021; опубл. 30.12.2021, Бюл. № 1. 8 с.
 4. Петрунина И.В. Обзор мясного рынка за январь–ноябрь 2023 года // Рынок мяса и мясных продуктов. 2023. № 12. С. 2–9.
 5. Раковина виноградной улитки *Helix pomatia* как источник биологически значимых элементов в функциональном питании / Глотова И.А., Кусакина О.С., Шахов С.В., Куралесина В.Н. // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3–3. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=12921> (дата обращения: 27.03.2024).
 6. Усенко В.В., Тарабрин И.В., Войтенко А.С. Аминокислотный состав мягких тканей виноградной улитки (*Helix pomatia*) // Научный журнал КубГАУ. 2022. № 179 (05). С. 1–18. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-179-015>
 7. Advancing Discovery of Snail Mucins Function and Application / McDermott M., Cerullo A.R., Parziale J., Achrak E., Sultana S., Ferd J., Samad S., Deng W., Braunschweig A.B., Holford M. // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2021. Vol. 9. 734023. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.734023>
 8. Effect of different processing methods on the proximate composition, mineral content and functional properties of snail (*Archachatina marginata*) meat / Djikeng F.T., Mazarine Mouto Ndambwe C., Ngangoum E.S., Tiencheu B., Tambo Tene S., Achidi A.U., Womeni H.M. // Journal of Agriculture and Food Research. 2022. Vol. 8. № 5. 100298. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100298>
 9. Environmental loading of Italian semi-intensive snail farming system evaluated by means of life cycle assessment / Zucaro A., Forte A., De Vico G., Fierro A. // Journal of Cleaner Production. 2016. № 125. P. 56–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.045>
 10. Extraction, structure, pharmacological activities and applications of polysaccharides and proteins isolated from snail mucus / Zhu K., Zhang Z., Li G., Sun J., Gu T., Ul Ain N., Zhang X., Li D. // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. № 258. 128878. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128878>
 11. Gomot A. Biochemical composition of helix snails: influence of genetic and physiological factors // Journal of Molluscan Studies. 1998. Vol. 64. № 2. P. 173–181. <https://doi.org/10.1093/mollus/64.2.173>

12. Identification of freshwater snail species and survey of their trematode infections in Ordos, China / Li N., Hou B., Tian W., Li S., Buyin B., Hai Y., Hasi S. // International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife. 2024. № 23. 100896. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2023.100896>
13. Metabolomic assessment of African snail (*Achatina fulica*) meal on growth performance of giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) / Wu T.-M., Wang K.-T., Wu W.-M., Clair J.M.T. St., Kuo C.-H., Wu Y.-S., Liu C.-H., Hong M.-C., Chiu K. // Comparative Biochemistry and Physiology – Part D: Genomics and Proteomics. 2024. Vol. 49. 101185. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2023.101185>
14. Nkansah M.A., Agyei E.A., Opoku F. Mineral and proximate composition of the meat and shell of three snail species // Heliyon. 2021. Vol. 7. № 10. e08149. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08149>
15. Nutritional and toxicity profiles of two species of land snail, *Theba pisana* and *Otala lactea*, from Morocco / Caetano D., Miranda A., Lopes S., Paiva J., Rodrigues A., Videira A., Almeida C.M.M. // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. № 100. 103893. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103893>
16. Performance and characterization of snail adhesive mucus as a bioflocculant against toxic *Microcystis* / Peng Q., Gong X., Jiang R., Yang N., Chen R., Dai B., Wang R. // Ecotoxicology and Environmental Safety 270 (2024) 115921. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115921>
17. Pissia M.A., Matsakidou A., Kiosseoglou V. Raw materials from snails for food preparation // Future Foods. 2021. Vol. 3. 100034. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100034>
18. Snail mucus – glandular origin and composition in *Helix pomatia* / Greistorfer S., Klepal W., Cyran N., Gugumuck A., Rudoll L., Suppan J., Byern J.V. // Zoology. 2017. 122. P. 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2017.05.001>
19. Snail microbiota and snail–schistosome interactions: axenic and gnotobiotic technologies / Sun X., Hong J., Ding T., Wu Z., Lin D. // Trends in Parasitology. 2024. Vol. 40. № 3. P. 241–256. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2024.01.002>
20. Temelli S., Dokuzlu C., Sen M.K.C. Determination of microbiological contamination sources during frozen snail meat processing stages // Food Control. 2006. Vol. 17. № 1. P. 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.004>

References

1. Trukhachev V.I., Zlydnev N.Z., Molodykh A.I., Tkachenko M.A., Marynich A.P., Banov V.P., Svarich D.A. *Zootekhnicheskiiy analiz kormov. Metodicheskie ukazaniya k laboratornym zanyatiyam dlya studentov spetsial'nostey "Zootekhniya" i "Veterinariya"* [Zootechnical analysis of feed. Methodolog-

- ical instructions for laboratory classes for students of the specialties “Animal Science” and “Veterinary Medicine”]. Stavropol: Stavropol Agrarian University, 2002, 27 p.
2. Kompantsev D.V., Chahirova A.A., Mursalova T.T. Razrabotka innovatsionnoy tehnologii polucheniya novogo materiala “kletochnyy ekstrakt *Helix aspera muller*” dlya ispol’zovaniya v kosmetologii i meditsine [Development of innovative technology for obtaining a new material “*Helix aspera muller* cell extract” for use in cosmetology and medicine]. *Mediko-farmatsevticheskiy zhurnal “Pul’s”* [Medical and pharmaceutical journal “Pulse”], 2020, vol. 22, no. 7, pp. 44–49. <http://dx.doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2020-22-7-44-49>
 3. Evseychenko V.V. *Sposob polucheniya poroshkoobraznogo ekstrakta iz vinogradnoy ulitki* [Method for obtaining powdered extract from grape snail]. Patent RF, no. 2763589, 2021.
 4. Petrunina I.V. Obzor myasnogo rynka za yanvar’-noyabr’ 2023 goda [Meat market review for January–November 2023]. *Rynok myasa i myasnykh produktov* [Market of meat and meat products], 2023, no. 12, pp. 2–9.
 5. Rakovina vinogradnoy ulitki *Helix pomatia* kak istochnik biologicheskikh znachimykh elementov v funktsional’nom pitanii [The shell of the grape snail *Helix pomatia* as a source of biologically significant elements in functional nutrition]. Glotova I.A., Kusakina O.S., Shahov S.V., Kuralesina V.N. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik* [International student scientific bulletin], 2015, no. 3-3. <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=12921> (accessed 27.03.2024).
 6. Usenko V.V., Tarabrin I.V., Voytenko A.S. Aminokislотноy sostav myagkikh tkaney vinogradnoy ulitki (*Helix pomatia*) [Amino acid composition of soft tissues of the grape snail (*Helix pomatia*)]. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* [Scientific journal of KubSAU], 2022, no. 179 (05), pp. 1–18. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-179-015>
 7. Advancing Discovery of Snail Mucins Function and Application. McDermott M., Cerullo A.R., Parziale J., Achrak E., Sultana S., Ferd J., Samad S., Deng W., Braunschweig A.B., Holford M. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2021, vol. 9, 734023. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.734023>
 8. Effect of different processing methods on the proximate composition, mineral content and functional properties of snail (*Archachatina marginata*) meat. Djikeng F.T., Mazarine Mouto Ndambwe C., Ngangoum E.S., Tiencheu B., Tambo Tene S., Achidi A.U., Womeni H.M. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2022, vol. 8, no. 5, 100298. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100298>
 9. Zucaro A., Forte A., De Vico G., Fierro A. Environmental loading of Italian semi-intensive snail farming system evaluated by means of life cycle assess-

- ment. *Journal of Cleaner Production*, 2016, no. 125, pp. 56–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.045>
10. Zhu K., Zhang Z., Li G., Sun J., Gu T., Ul Ain N., Zhang X., Li D. Extraction, structure, pharmacological activities and applications of polysaccharides and proteins isolated from snail mucus. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, no. 258, 128878. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128878>
 11. Gomot A. Biochemical composition of helix snails: influence of genetic and physiological factors. *Journal of Molluscan Studies*, 1998, vol. 64, no. 2, pp. 173–181. <https://doi.org/10.1093/mollus/64.2.173>
 12. China. Li N., Hou B., Tian W., Li S., Buyin B., Hai Y., Hasi S. Identification of freshwater snail species and survey of their trematode infections in Ordos. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 2024, no. 23, 100896. <https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2023.100896>
 13. Wu T.-M., Wang K.-T., Wu W.-M., Clair J.M.T. St., Kuo C.-H., Wu Y.-S., Liu C.-H., Hong M.-C., Chiu K. Metabolomic assessment of African snail (*Achatina fulica*) meal on growth performance of giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Comparative Biochemistry and Physiology – Part D: Genomics and Proteomics*, 2024, vol. 49, 101185. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2023.101185>
 14. Nkansah M.A., Agyei E.A., Opoku F. Mineral and proximate composition of the meat and shell of three snail species. *Heliyon*, 2021, vol. 7, no. 10, e08149. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08149>
 15. Caetano D., Miranda A., Lopes S., Paiva J., Rodrigues A., Videira A., Almeida C.M.M. Nutritional and toxicity profiles of two species of land snail, *Theba pisana* and *Otala lactea*, from Morocco. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, no. 100, 103893. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103893>
 16. Peng Q., Gong X., Jiang R., Yang N., Chen R., Dai B., Wang R. Performance and characterization of snail adhesive mucus as a bioflocculant against toxic *Microcystis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2024, vol. 270, 115921. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115921>
 17. Pissia M.A., Matsakidou A., Kiosseoglou V. Raw materials from snails for food preparation. *Future Foods*, 2021, vol. 3, 100034. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100034>
 18. Greistorfer S., Klepal W., Cyran N., Gugumuck A., Rudoll L., Suppan J., Byern J.V. Snail mucus – glandular origin and composition in *Helix pomatia*. *Zoology*, 2017, vol. 122, pp. 126–138. <https://doi.org/10.1016/j.zool.2017.05.001>
 19. Sun X., Hong J., Ding T., Wu Z., Lin D. Snail microbiota and snail–schistosome interactions: axenic and gnotobiotic technologies. *Trends in Parasitology*, 2024, vol. 40, no. 3, pp. 241–256. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2024.01.002>

20. Temelli S., Dokuzlu C., Sen M.K.C. Determination of microbiological contamination sources during frozen snail meat processing stages. *Food Control*, 2006, vol. 17, no. 1, pp. 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.004>

ВКЛАД АВТОРОВ

Голембовский В.В.: произвел сбор и отбор улиток, провел исследования.

Суров А.И., Марченко В.В., Голембовский В.В., Пашкова Л.А.: обрабатывали и проанализировали экспериментальные данные, написали рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других неэтических проблем.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Vladimir V. Golembovskii: collected and selected snails and conducted research. **Alexander I. Surov, Vyacheslav V. Marchenko, Vladimir V. Golembovskii, Larisa A. Pashkova:** processed and analyzed the experimental data and wrote the manuscript. All authors are equally responsible when plagiarism, self-plagiarism and other unethical problems are detected.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Голембовский Владимир Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
ул. Никонова, 49, г. Михайловск, 356241, Российская Федерация
vvh26@yandex.ru*

Марченко Вячеслав Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, член-корреспондент РАН, заместитель директора ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
ул. Никонова, 49, г. Михайловск, 356241, Российская Федерация
vmedelika@mail.ru*

Суров Александр Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, директор ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»*

*ул. Никонова, 49, г. Михайловск, 356241, Российская Федерация
surov.stv@yandex.ru*

Пашкова Лариса Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»
ул. Никонова, 49, г. Михайловск, 356241, Российская Федерация
lar.pashkova@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vladimir V. Golembovskii, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
*North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
49, Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation
vvh26@yandex.ru
SPIN-code: 6464-9443
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-0587>
ResearcherID: W-9115-2019
Scopus Author ID: 58560239200*

Vyacheslav V. Marchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director of the North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
*North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
49, Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation
vmedelika@mail.ru
SPIN-code: 9774-2815
ResearcherID: J-7698-2013
Scopus Author ID: 57204470304*

Alexander I. Surov, Doctor of Agricultural Sciences, Director of VNIIOK - a branch of the North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
*North Caucasus Federal Agrarian Research Centre
49, Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation
surov.stv@yandex.ru
SPIN-code: 7105-7562*

ResearcherID: ADF-1825-2022

Scopus Author ID: 57823107600

Larisa A. Pashkova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

North Caucasus Federal Agrarian Research Centre

49, Nikonova Str., Mikhailovsk, 356241, Russian Federation

lar.pashkova@yandex.ru

SPIN-code: 9709-6407

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1781-8269>

ResearcherID: B-2687-2019

Scopus Author ID: 57225131427

Поступила 25.06.2024

После рецензирования 11.07.2024

Принята 20.07.2024

Received 25.06.2024

Revised 11.07.2024

Accepted 20.07.2024

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1038

УДК 632.952: 631.816.35:633.11



Научная статья

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНГИЦИДОВ И НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ УДОБРЕНИЯМИ ПРИ ЗАЩИТЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е.Н. Ледовский, В.Г. Доронин, И.В. Пахотина

В годы с благоприятным увлажнением на юге Западной Сибири резко возрастают потери урожайности зерна яровой пшеницы от листостеблевых инфекций до 30% и более. Применение фунгицидов в комплексе с листовой подкормкой позволяет не только сохранить урожай, но и улучшить его качественные показатели. Исследования проведены в 2018-2021 гг. Почва опытного участка чернозёмно-луговая, тяжёлосуглинистая. Четырёхпольный зернопаровой севооборот, предшественник – пшеница после пара. Опыт полевой двухфакторный, площадь делянок 25 м², повторность четырёхкратная. Цель работы – оценка биологической эффективности баковых смесей фунгицидов с карбамидом и жидким комплексным удобрением (ЖКУ) на урожайность и качество зерна яровой пшеницы. Средняя пораженность посевов мучнистой росой за 4 года – 21,8%, максимум в 2018 – 30,5, видами ржавчин в 2019 – 68, средний показатель – 52,4, в засушливом 2021 – 1,0%. Поражение септориозом незначительное, максимально в 2019 году – 8,6%. Обработка посевов комплексным удобрением снижала развитие мучнистой росы до 32, видов ржавчин до 61,6, септориоза до 28,8%, при работе с карбамидом в меньшей степени. В среднем за годы исследований биологическая эффективность вариантов с Абакс Ультра, фунгицида на основе триазола и стробилурина выше и составила от 52,5 до 99,8%, препарата Титул Трио на основе триазолов ниже, от 45,7 до 97,3%. Баковые смеси фунгицидов и удобрений не снижа-

ли своей эффективности против болезней яровой пшеницы. Подкормка ЖКУ обеспечила наиболее стабильный и существенный рост урожайности зерна за период исследований – 0,63, карбамидом 10 кг/га – 0,46, 15 кг/га – 0,40 т/га. Максимальную прибавку – 1,21 т/га обеспечила баковая смесь с Абакус Ультра и ЖКУ, а хозяйственная эффективность, соответственно, 23,8-37,5%. Показана высокая эффективность фунгицида, содержащего стробилуриин (пираклостробин), в повышении качественных показателей зерна пшеницы.

Ключевые слова: яровая пшеница; листостеблевые болезни; фунгициды; биологическая эффективность; карбамид; комплексное удобрение; баковые смеси; урожайность; качество зерна

Для цитирования. Ледовский Е.Н., Доронин В.Г., Пахотина И.В. Эффективность фунгицидов и некорневой подкормки удобрениями при защите яровой мягкой пшеницы на юге Западной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 184-203. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1038

Original article

THE EFFECTIVENESS OF FUNGICIDES AND FOLIAR FERTILIZATION IN PROTECTING SPRING SOFT WHEAT IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

E.N. Ledovskij, V.G. Doronin, I.V. Pahotina

In years with favorable moisture in the south of Western Siberia, the loss of spring-wheat grain yield from leaf-stem infections increases sharply to 30% or more. The use of fungicides in combination with foliar feeding allows not only to preserve the crop, but also to improve its quality indicators. The studies were conducted in 2018-2021. The soil of the experimental plot is chernozem-meadow, heavy loamy. Four-field grain-fallow crop rotation, predecessor – wheat after fallow. Two-factor field experiment, plot area 25 m², four-fold repetition. The purpose of the work is to assess the biological effectiveness of tank mixtures of fungicides with urea and liquid complex fertilizer (LCF) on the yield and quality of spring wheat grain. The average infestation of crops by powdery mildew over 4 years is 21,8%, maximum in 2018 – 30,5, rust species in 2019 – 68, average – 52,4, in the dry year 2021 – 1.0%. The incidence of septoria is insignificant, with a maximum of 8,6% in 2019. Treatment of crops with complex fertilizer reduced the development of powdery mildew to 32, types of rust to

61,6, septoria to 28,8%, and to a lesser extent when working with urea. On average, the biological effectiveness of the variants with Abacus Ultra, a fungicide based on triazole and strobilurin, was higher and ranged from 52,5 to 99,8%, and the drug Title Trio based on triazoles was lower, from 45,7 to 97,3%. Tank mixtures of fungicides and fertilizers did not reduce their effectiveness against spring wheat diseases. Fertilizing with liquid complex fertilizer provided the most stable and significant increase in grain yield over the research period – 0,63, urea 10 kg/ha – 0,46, 15 kg/ha – 0,40 t/ha. The greatest increase – 1,21 t/ha – was provided by a tank mixture with Abacus Ultra + liquid and liquid fertilizers, and economic efficiency, respectively, was 23,8-37,5%. A fungicide containing strobilurin (pyraclostrobin) has been shown to be highly effective in increasing the quality parameters of wheat grain.

Keywords: spring wheat; leaf stem diseases; fungicides; biological effectiveness; urea; complex fertilizer; tank mixtures; productivity

For citation. Ledovskiy E.N., Doronin V.G., Pakhotina I.V. The effectiveness of fungicides and foliar fertilization with fertilizers in the protection of spring wheat in the south of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 184-203. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1038

Введение

На юге Западной Сибири в последние годы обострилась фитосанитарная обстановка в посевах яровой мягкой пшеницы. В благоприятные по увлажнению годы с высокой потенциальной урожайностью культуры значительно возросли потери от листостеблевых болезней – до 25-30% и более от валового сбора зерна. Поэтому, защита посевов от листостеблевых грибных инфекций может стать большим резервом роста производства качественного зерна. Наиболее вредоносные болезни в регионе: бурая листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Eriks.), стеблевая (линейная) ржавчина (*Puccinia graminis* Rers.), мучнистая роса (*Erysiphe graminis* DC.) и септориоз (*Septoria* spp.). На значительно поражённых полях резко снижается урожайность зерна, ухудшается его качество, например, уменьшается содержание белка и клейковины, снижается стекловидность [5; 10; 11; 12; 14; 16].

По оценкам зарубежных исследователей возбудители видов ржавчин и пятнистостей пшеницы во всём мире снижают урожай зерна на 10-28% [21; 28].

За последние 10 лет изменение климата во многих пшеничных регионах России обусловило появление таких инфекций как *Fusarium graminearum*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Septoria tritici* и некоторых других болезней [8].

В Западно-Сибирском регионе (Омская область) пшеница яровая поражается бурой ржавчиной, мучнистой росой, септориозом, темно-бурой

пятнистостью, корневой гнилью. Значительное поражение посевов пшеницы мучнистой росой наблюдали в 2012 г. на сорте Омская 35 (63,3%), септориозом в 2011 г. – на сорте Омская 28 (65%). Остальные патогены развивались на пшенице в слабой степени [4].

Начиная с 2015 г. в Омской области особую угрозу для пшеницы представляет возбудитель стеблевой ржавчины, в годы эпифитотий потери урожая у восприимчивых сортов от этой болезни составляли более 50% [15].

В отдельные годы, с невысоким развитием листостеблевых инфекций фунгицидная обработка посевов яровой пшеницы обеспечивает рост урожайности зерна при сохранении качества на уровне контроля или с незначительным улучшением [7].

Большой интерес представляют фунгициды на основе стробилуринов. Они активно влияют на биологические и физиологические реакции растений зерновых культур, отмечаемые в виде увеличения массы зерна. У растений, обработанных препаратом, дольше оставались зелёными листья, процесс старения замедлялся и повышалась фотосинтетическая активность [2; 27].

Различные типы фунгицидов, в зависимости от сроков старения листьев и формирующейся урожайности, по-разному влияют на накопление и реутилизацию азота в период налива зерна. Триазолы характеризуются как активные ингибиторы эргостерола и являются одной из передовых групп фунгицидов, доступных для борьбы с некорневыми заболеваниями пшеницы. Часто их используют в сочетании со стробилуринами, которые представляют собой синтетические производные, вырабатываемые грибом-базидиомицетом *Strobilurus tenacellus* (Pers), обладающим широким противогрибковым спектром действия [23].

Однако, по мнению некоторых авторов наряду с положительным влиянием стробилуринов в период засухи, в условиях засоления, возможна, например, и негативная роль при водном обмене [24; 26].

Стратегии применения фунгицидов на озимой пшенице во время появления флаговых листьев или в период цветения, обеспечивали самые высокие урожаи у большинства исследуемых сортов, особенно на фонах с высокими дозами азота [18].

Применение фунгицидов и их баковых смесей с удобрениями способствует увеличению урожайности зерна и повышению его качественных показателей [1].

В исследованиях итальянских учёных урожайность и качество зерна были улучшены при добавлении внекорневой подкормки, содержащей макро- и микроэлементы, к программе триазольного фунгицида, отмечена

более длительное старение флаговых листьев и улучшение хлебопекарных качеств [17].

Луи Х. и др. (2022) также показали, что некорневое применение мочевины, а также NO_3^- увеличивает наполнение зерна пшеницы азотом по сравнению NH_4^+ . Такое увеличение было обусловлено ремобилизацией азота NO_3^- и мочевины, когда через 20-28 дней после цветения активируются гены, контролирующие синтез белка глютена и дисульфидные связи, способствуя увеличению содержания белка зерне [22].

Азот является ключевым элементом в производстве зерновых и его эффективное использование будет определять количество и качество продукции. Однако, природа, дозы, фитосанитарные аспекты самой культуры, а также форма и климатические условия, в которых необходимо вносить азот, являются актуальной проблемой в производстве пшеницы [19; 20].

Постоянный поиск оптимальных условий для получения максимального урожая зерна и удовлетворительных хлебопекарных свойств пшеницы придаёт фундаментальное значение изучению роли агротехнических приёмов в конкретных условиях [25].

Во многих хозяйствах региона сейчас практикуется обработка пшеницы баковыми смесями фунгицидов и азотных удобрений, в основном карбамидом. Рынок предлагает огромный выбор как водорастворимых, так и жидких комплексных удобрений (ЖКУ) на основе макро- и микроэлементов. Поэтому изучение применения фунгицидной обработки препаратами на основе триазолов и стробилируинов, а также некорневой подкормки карбамидом и ЖКУ является научной новизной данных исследований, результаты которых могут использоваться как база данных для автоматизированных программ защиты и подкормки яровой мягкой пшеницы на юге Западной Сибири.

Условия и методика исследования

Полевая часть исследований проведена на опытных полях «Омского АНЦ» в период с 2018 по 2021 гг., на посевах яровой мягкой пшеницы сорта Омская 36 среднераннего экотипа [13]. Севооборот: пар чистый – яровая пшеница – яровая пшеница – ячмень. Предшественник – пшеница после пара. Почва опытного участка – чернозём выщелоченный, средне- и тяжелосуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 6,5-7%. Агротехника возделывания пшеницы зональная. Фоновое внесение удобрений не проводили. Опыт двухфакторный, фактор А – фунгициды, фактор В – подкормки. Площадь делянки в опытах 25 м², размещение ва-

риантов – рендомизированное, повторность 4-х кратная. В схему опыта включены: химические системные фунгициды Титул Дуо, ККР и Абакус Ультра, СЭ, азотное удобрение карбамид, а также жидкое комплексное удобрение Agree's «Азот», на основе трех форм азота, микроэлементов, комплекса аминокислот и органических кислот, баковые смеси этих фунгицидов и удобрений [3]. Период применения – от начала колошения до начала цветения культуры. Внесение препаратов проводили ранцевыми опрыскивателями «PJ-18» с расходом рабочей жидкости 200 л/га. Методики фитопатологических наблюдений – общепринятые [9]. При учёте листостеблевых болезней пшеницы определяли распространение и развитие инфекций. Развитие мучнистой росы (интенсивность поражённости растений) – по шкале Гешеле, бурой ржавчины – Петерсона и др. Расчёт проводили по формуле: $R = \Sigma (a \times b) \div N$, где R – развитие болезни, %; $\Sigma (a \times b)$ – сумма произведений числа больных растений (a) на соответствующий % поражённости (b); N – общее количество растений в пробах. Учёт болезней проводился через 20 дней после обработки посевов. Учёт урожая зерна – однофазная уборка комбайном «Сампо-130». Обработка урожайных данных выполнялась методом дисперсионного анализа [6] с использованием прикладных программ.

Результаты исследования

Климатические условия вегетационных периодов значительно различались. Май и июнь 2018 года с повышенным количеством осадков. В целом условия года были благоприятными для развития листостеблевых болезней, особенно видов ржавчины пшеницы. В июне 2019 года преобладала прохладная дождливая погода, осадков выпало 85 мм (167% нормы). Июль был тёплым и засушливым. Условия вегетации оказались благоприятными для развития мучнистой росы, а с начала колошения появилась бурая ржавчина, позднее и линейная. В мае 2020 года было жарко и сухо, температура воздуха превысила норму на 5,6°C, не было существенных осадков и в первой – второй декадах июня. ГТК за июль составил 0,2, что свидетельствует о сильной засушливости. Период вегетации оказался неблагоприятным для зерновых культур. Май 2021 года был характерен жаркой и сухой погодой с температурой воздуха выше нормы на 4,3°C. Существенные осадки выпали в конце второй – начале третьей декады июня. В целом, условия вегетации этого года, с периодами высоких температур воздуха и дефицита атмосферных осадков, были неблагоприятными для роста и развития яровой пшеницы.

Развитие болезней значительно различалось по годам исследований. Наибольшее развитие мучнистая роса получила в 2018 году – 30,5, средняя пораженность за 4 года – 21,8%. Максимальное развитие видов ржавчин отмечалось в условиях 2019 года – 68%, средний показатель – 52,4%, депрессивное – в засушливом 2021 году – 1,0%. Септориозом посевы поражались в основном незначительно, наибольшее значение в 2019 году – 8,6%.

Обработка посевов карбамидом и ЖКУ Agree's «Азот» снижала развитие грибных инфекций в посевах пшеницы, биологическая эффективность против мучнистой росы составляла до 32,6%, на 61,6% уменьшалась пораженность ржавчинами от удобрения Agree's «Азот», по септориозу 28,8%. Вероятно, удобрения способствовали повышению иммунитета у культуры, не исключено и хемотрепизирующее действие их растворов (таблица 1).

Таблица 1.

Биологическая эффективность фунгицидов в посевах яровой пшеницы Омская 36, вторая культура после пара, средние показатели за 2018-2021 гг.

Фактор А - фунгициды	Фактор В - подкормки	Мучнистая роса		Виды ржавчины		Септориоз	
		Р	Б.Э.	Р	Б.Э.	Р	Б.Э.
Без фунгицида	0*	21,8	-	52,4	-	5,9	-
	карбамид, 10 кг/га	15,2	30,3	48,7	7,6	4,8	18,6
	карбамид, 15 кг/га	15,0	31,2	44,7	14,7	5,0	15,3
	Agree's «Азот»	14,7	32,6	20,1	61,6	4,2	28,8
Титул Дуо, ККР	0	4,6	78,9	9,0	82,8	2,6	55,9
	карбамид, 10 кг/га	6,9	68,4	3,4	93,5	2,0	66,1
	карбамид, 15 кг/га	4,4	79,8	3,5	93,3	2,2	62,7
	Agree's «Азот»	4,8	78,0	1,4	97,3	3,2	45,7
Абакус Ультра, СЭ	0	3,5	83,9	0,2	99,6	0,9	84,7
	карбамид, 10 кг/га	3,9	82,1	0,1	99,8	2,8	52,5
	карбамид, 15 кг/га	3,4	84,4	0,2	99,6	2,4	59,5
	Agree's «Азот»	2,5	88,5	1,4	97,3	0,6	89,8

Примечание: Р – развитие инфекции, %; Б.Э. – биологическая эффективность, %.

За период исследований 2018-2021 гг. обработка фунгицидами имела высокую биологическую эффективность, так пораженность мучнистой росой при обработке Абакус Ультра, СЭ в среднем снижалась на 83,9, а ржавчинами – на 99,6%. Заметный рост эффективности по видам ржавчин отмечен у баковых смесей Титул Дуо, ККР с удобрениями – до 93,3-97,3%, тогда как раздельное применение этого фунгицида только 82,8%.

Обработка посевов фунгицидами и удобрениями для некорневой подкормки во все годы исследований приводили к увеличению урожайности зерна. В 2018 году, на фоне высокой поражённости листостеблевыми болезнями, баковые смеси фунгицидов с карбамидом и ЖКУ обеспечили существенный рост урожайности на 0,68-1,74 т/га, максимальная прибавка к контролю была от смеси «Абакус Ультра, СЭ + Agree's «Азот». По вариантам только с некорневой подкормкой отмечена лишь тенденция к росту. Близкие результаты получены и в условиях 2019 года – 1,31-1,78 т/га, существенную прибавку обеспечило ЖКУ Agree's «Азот» – 0,54 т/га. Увеличение нормы расхода карбамида с 10 до 15 кг/га в смесях с Титул Дуо, ККР привело к значительному снижению урожайности. По-видимому, здесь увеличение концентрации рабочей жидкости оказывает токсический эффект на культуру (таблица 2).

На фоне незначительной степени развития болезней в засушливом 2020 году, получен существенный рост урожайности от удобрений без фунгицидов, максимальный (1,35 т/га) – при подкормке Agree's «Азот. Урожайность по варианту с карбамидом 10 кг была выше, чем при 15 кг/га, разница составила 0,45 т/га. Прибавки к контролю от баковых смесей удобрений и фунгицидов варьировали от 0,72 до 1,4 т/га. В неблагоприятных засушливых погодных условиях 2021 года наибольший рост урожайности был по вариантам с обработкой Абакус Ультра, СЭ и «Абакус Ультра, СЭ + Agree's «Азот», соответственно 0,38 и 0,34 т/га.

В среднем за 2018-2021 годы исследований в наиболее значительной степени на урожайность яровой пшеницы влияла фунгицидная обработка посевов (фактор А). Максимальная урожайность отмечена на варианте с препаратом на основе триазола (эпоксиконазола) и стробилурина (пираклостробина) Абакус Ультра, СЭ, обладающего фунгицидным и выраженным физиологическим воздействием на культуру, прибавка к контролю составила 0,71 (29,6%), варианте с Титул Дуо, ККР на основе двух триазолов (пропиконазол, тебуконазол) – 0,48 (20,0%), на контроле в среднем 2,40 т/га ($HC\bar{P}_{05} - 0,35$).

По фактору В (применение листовых подкормок) существенного увеличения урожайности зерна в опыте не получено, наибольшая тенденция к росту отмечена на вариантах с ЖКУ Agree's «Азот» - 0,33 т/га, в меньшей степени с карбамидом в дозе 15 кг/га - 0,12 т/га.

Защита яровой пшеницы против грибных инфекций (фактор А) позволяет дольше сохранять в зелёном фотосинтетически активном состоянии листовой аппарат, что положительно сказывается не только на урожайности зерна, но и его качественных показателях (таблица 3).

Таблица 2.

Влияние обработки яровой пшеницы Омская 36 препаратами и баковыми смесями на урожайность зерна (т/га), 2018-2021 гг.

Фактор А - фунгициды	Фактор В - подкормки	Урожайность, т/га				Урожайность, т/га	Среднее по фактору А НСР ₀₅ - 0,35	Хозяйственная эффективность, %
		2018	2019	2020	2021	среднее		
Без фунгицида	0*	1,64	2,30	1,79	2,36	2,02	2,40	-
	карбамид, 10 кг/га	1,94	2,56	2,94	2,50	2,48		18,5
	карбамид, 15 кг/га	1,90	2,73	2,49	2,57	2,42		16,5
	Agree's «Азот»	2,14	2,84	3,14	2,48	2,65		23,8
Титул Дуо, ККР	0	2,64	3,61	2,06	2,60	2,73	2,88 0,48	26,0
	карбамид, 10 кг/га	2,80	3,88	3,08	2,50	3,06		34,0
	карбамид, 15 кг/га	2,32	2,75	3,19	2,67	2,73		26,0
	Agree's «Азот»	2,84	3,58	3,05	2,51	3,0		32,7
Абакус Ультра, СЭ	0	2,99	3,66	3,19	2,74	3,14	3,11 0,71	35,7
	карбамид, 10 кг/га	2,82	3,90	2,51	2,62	2,96		31,8
	карбамид, 15 кг/га	2,57	4,08	3,15	2,63	3,11		35,0
	Agree's «Азот»	3,38	3,82	3,02	2,70	3,23		37,5
		НСР ₀₅ - 0,58	НСР ₀₅ - 0,50	НСР ₀₅ - 0,42	НСР ₀₅ - 0,19			
Среднее по фактору В	0	2,42	3,19	2,35	2,57	2,63	Фактор В - подкормки НСР ₀₅ - 0,41	
	карбамид, 10 кг/га	2,52	3,45	2,84	2,54	2,84 0,21		
	карбамид, 15 кг/га	2,26	3,19	2,94	2,62	2,75 0,12		
	Agree's «Азот»	2,79	3,41	3,07	2,56	2,96 0,33		

Примечание: * - контроль (без обработки фунгицидом и не подкормки); НСР₀₅ для частных средних – 0,71; полужирным шрифтом выделены достоверные показатели роста урожайности зерна.

Таблица 3.

Качество зерна яровой пшеницы Омская 36, 2018-2021 гг.

Фактор А - фунгициды	Фактор В - подкормки	Натура зерна, г/л	Среднее по фактору А НСР ₀₅ - 14	Масса 1000 зёрен, г	Среднее по фактору А НСР ₀₅ - 2,2
Без фунгицида	0	711	729	31,6	33,6
	карбамид, 10	736		33,8	
	карбамид, 15	729		34,3	
	Agree's «Азот», 3	740		34,8	
Титул Дуо	0	736	744 15	35,5	36,0 2,4
	карбамид, 10	745		36,2	
	карбамид, 15	744		35,3	
	Agree's «Азот», 3	753		36,9	
Абакус Ультра	0	758	750 21	38,2	37,7 4,1
	карбамид, 10	744		37,2	
	карбамид, 15	749		37,4	
	Agree's «Азот»	750		38,3	
Среднее по фактору В	0	735	Фактор В - подкормки НСР ₀₅ - 16	35,1	Фактор В - подкормки НСР ₀₅ - 2,6
	карбамид, 10	742		35,7	
	карбамид, 15	741		35,8	
	Agree's «Азот»	747		36,7	

Примечание: НСР₀₅ для частных средних – 27,6 (натура зерна); НСР₀₅ для частных средних – 4,4 (масса 1000 зёрен); полужирным шрифтом выделены достоверные показатели роста урожайности.

За 2018-2021 гг. годы исследований наибольшее и достоверное увеличение натуры на 21 г/л и массы 1000 зёрен на 4,1 г к контролю отмечено на варианте с фунгицидом Абакус Ультра, СЭ, в меньшей степени с Титул Дуо, ККР, соответственно, на 15 г/л и 2,4 г.

В среднем за тот же период по изучаемым фунгицидам и подкормкам показатели клейковины и белка изменялись незначительно, наибольшая тенденция к увеличению по препарату Абакус Ультра, СЭ, содержащему стробилурин (пираклостробин) (таблица 4).

При частном анализе в разные годы исследований баковые смеси с Абакус Ультра, СЭ увеличивали содержание клейковины на уровне от 1,0 до 4,3%, с Титул Дуо от 1,2-3,1%, удобрения без фунгицидов на 0,8-3,2%, белка, соответственно, на 1,02-4,2, на 0,66-3,2 и на 0,80-2,57%. Наибольшая прибавка в 2019 году, когда погодные условия способствовали максимальному развитию видов ржавчин до 68,0%, наименьшая - в острозасушливом 2021 - 1,0%.

Таблица 4.

Качество зерна яровой пшеницы Омская 36, 2018-2021 гг.

Фактор А - фунгициды	Фактор В - подкормки	Клейковина, %	Среднее по фактору А НСР ₀₅ - 3,5	Белок, %	Среднее по фактору А НСР ₀₅ - 2,12
Без фунгицида	0	26,5	27,1	12,81	13,64
	карбамид, 10	27,5		14,21	
	карбамид, 15	26,5		13,75	
	Agree's «Азот», 3	27,9		13,77	
Титул Дуо	0	27,5	28,1 1	14,46	14,06 0,42
	карбамид, 10	28,9		14,18	
	карбамид, 15	28,1		14,12	
	Agree's «Азот», 3	27,9		13,47	
Абакус Ультра	0	28,2	28,4 1,3	14,08	14,69 1,05
	карбамид, 10	28,7		14,55	
	карбамид, 15	28,6		15,52	
	Agree's «Азот»	28,2		14,60	
Среднее по фактору В	0	27,4	фактор В - подкормки НСР ₀₅ - 4,1	13,78	фактор В - подкормки НСР ₀₅ - 2,45
	карбамид, 10	28,3		14,31	
	карбамид, 15	27,7		14,13	
	Agree's «Азот»	28,0		13,39	

Примечание НСР₀₅ для частных средних – 7,1 (клейковина); НСР₀₅ для частных средних – 4,23 (белок).

Наименьшие затраты на контроле – 12940 руб./га, наибольшие по варианту (Абакус Ультра + Agree's «Азот») – 16103 руб./га. При цене реализации пшеницы 4 класса 14500 руб. с НДС (10%) в баковой смеси фунгицидом Титул Дуо, ККР наиболее рентабельно было использовать карбамид 10 кг/га – 110%, Agree's «Азот» - 90%, с препаратом Абакус Ультра, СЭ это был карбамид 15 кг/га и Agree's «Азот» – 91%, на контроле 26%.

Заключение

Наиболее сильное развитие виды ржавчины получили в благоприятные по увлажнению 2018 и 2019 годы, наименьшее – в засушливом 2021. Фунгициды не снижали биологическую эффективность в баковых смесях с карбамидом и ЖКУ. Против мучнистой росы высокие показатели у фунгицида Абакус Ультра, СЭ, содержащего стробилаурин (пираклостробин) и эпоксиконазол (триазол) и его баковой смеси с ЖКУ Agree's «Азот» - 83,9 и 88,5%; против видов ржавчины с карбамидом – 99,6-99,8%, септо-

риоза – 84,7%. Необходимо отметить снижение пораженности болезнями от листовой подкормки карбамидом и жидким комплексным удобрением Agree's «Азот» без фунгицидов, по мучнистой росе – 30,3-32,6%, по ржавчинам достигала 61,6% (Agree's «Азот»). По вариантам с фунгицидом Абакус Ультра, СЭ урожайность за 2018-2021 гг. в среднем была выше на 29,6%, с препаратом на основе триазолов (пропиконазол, тебуконазол) Титул Дуо, ККР на 20,0%, на контроле 2,40 т/га. Наибольшая тенденция к увеличению урожайности зерна – 0,33 т/га отмечена при использовании в баковой смеси жидкого комплексного удобрения на основе макро- и микроэлементов Agree's «Азот», в меньшей степени от карбамида 10 кг/га – 0,21, 15 кг/га – 0,12 т/га, НСР₀₅ – 0,41. Хозяйственная эффективность изучаемых вариантов от 23,8 до 37,5%.

За период исследований фунгицидная обработка существенно увеличивала массу и массу 1000 зёрен, соответственно, препаратом Абакус Ультра, СЭ на 21 г/л и 4,7 г, Титул Дуо, ККР – на 15 г/л и 2,4 г, содержание сырой клейковины и белка в среднем изменялось недостоверно. Однако, в условиях высокого развития ржавчинных инфекций в 2019 году показатели клейковины и белка возрастали значительно, причём в большей степени с Абакус Ультра, СЭ, соответственно, на 4,3 и 4,22%, с Титул Дуо, ККР на 3,2 и 2,57%, на контроле 24,1 и 10,37%.

Максимальную экономическую эффективность имели варианты с менее дорогостоящим фунгицидом Титул Дуо, ККР, наибольшая рентабельность в баковой смеси с карбамидом 10 кг/га – 110%, с ЖКУ Agree's «Азот» - 90%, с более дорогим препаратом Абакус Ультра, СЭ это был карбамид 15 кг/га и Agree's «Азот» - 91%, на контроле 26%.

Проведённые опыты показывают высокую эффективность фунгицида, содержащего пираклостробин в условиях юга Западной Сибири. Широкое применение подобных препаратов во многом ограничено их высокой рыночной стоимостью по сравнению с препаратами на основе триазолов.

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

Список литературы

1. Биологическая эффективность баковых смесей препаратов для защиты яровой пшеницы и их влияние на качество зерна / Доронин В.Г., Ледовский Е.Н., Пахотина И.В., Молод Я.Ф. // Агрохимия. 2023. № 9. С. 42–49. <https://doi.org/10.31857/S0002188123090053>

2. Биологическое обоснование использования стробилируинов в защите зерновых культур / Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Милютенкова Т.И., Шатова А.С., Сеницын Д.Ю. // Современные системы защиты растений от болезней и перспективы использования достижений биотехнологии и генной инженерии. Материалы Всероссийского совещания, посвященного 45-летию ВНИИ Фитопатологии. Голицыно. 2003. С. 163–165.
3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. Часть 1. Пестициды. М.: Минсельхоз России, 2019. 873 с.
4. Гришечкина Л.Д. Агробиологическое и экотоксикологическое обоснование формирования ассортимента фунгицидов для защиты пшеницы: Дис. ... д-ра с.-х. наук. Санкт-Петербург-Пушкин, 2018. 395 с.
5. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н., Кривошеева С.В. Эффективность препаратов при защите яровой мягкой пшеницы от листостеблевых болезней в южной лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2016. № 6. С. 43–46.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1979. 416 с.
7. Колмаков Ю.В., Ледовский Е.Н., Пахотина И.В. Качество зерна пшеницы при защите посевов от болезней // Вестник ОмГАУ. 2016. № 3. С. 9–11.
8. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.64rus>
9. Методические указания по государственным испытаниям фунгицидов, антибиотиков и протравителей семян сельскохозяйственных культур / Гос. комис. по хим. средствам борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками при Минсельхозе СССР, ВНИИ защиты растений: подготовили Баталова Т.С. и др. М.: Б. и., 1985. 130 с.
10. Миронова Г.В. Химическая защита яровой пшеницы от болезней // Интенсификация производства зерна в Западной Сибири: сб. науч. тр. / РАСХН. Сиб. отд-ние. Новосибирск, 1992. С. 18–25.
11. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири / Россеева Л.П., Белан И.А., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Ложникова Л.Ф., Трубочеева Н.В., Першина Л.А. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. №7 (153). С. 5–12.
12. Система адаптивного земледелия Омской области. ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2020. 522 с.
13. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Омский АНЦ»: каталог / Под общ. ред. канд. техн. наук М.С. Чекусова. Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2020. 148 с.

14. Тепляков Б.И., Теплякова О.И. Болезни яровой пшеницы в Западной Сибири // Защита и карантин растений. 2003. № 1. С. 7–18.
15. Устойчивость сортов мягкой яровой пшеницы к листостебельным патогенам в Западной Сибири / Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Белан И.А., Поползухин П.В., Василевский В.Д., Гайдар А.А., Паршуткин Ю.Ю. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (175). С. 5–11.
16. Чулкина В.А., Коняева Н.М., Кузнецова Т.Т. Борьба с болезнями сельскохозяйственных культур в Сибири. М.: Россельхозиздат, 1987. 253 с.
17. Blandino M., Reyneri A. Effekt of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination // European Journal of Agronomy. 2009. Vol. 30 (4). P. 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.12.005>
18. Brinkman J.M.P., Dean W., Lauzon J.D., Hooker D.C. Synergism of nitrogen rate and foliar fungicides in soft red winter wheat // Agronomy Journal. 2014. Vol. 106. P. 491–510. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0395>
19. Eddine B.S., Douira A., El Yousfi B. Effets des engrais azotés sur le rendement du blé et de l'orge sous stress biotique dû à la pourriture sèche du collet induite par le *Fusarium culmorum* // Moroccan Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 10(1). P. 17–30.
20. Effects of nitrogen and intercropping on the occurrence of wheat powdery mildew and stripe rust and the relationship with crop yield / Luo C., Ma L., Zhu J., Guo Z., Dong K., Dong Y. // Frontiers Plant Science. 2021. Vol. 12. No. 637393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637393>
21. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases-a field perspective // Molecular plant pathology. 2018. Vol. 19 (6). P. 1523–1536. <https://doi.org/10.1111/mpp.12618>
22. Foliar application of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization / Lyu X., Liu Y., Li N., Ku L., Hou Y., Wen X. // The Crop Journal. 2022. Vol. 10. P. 1165–1177. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>
23. How Foliar Fungal Diseases Affect Nitrogen Dynamics, Milling and End-Use Quality of Wheat / Simon M.R., Fleitas M.C., Castro A.C., Schierenbek M. // Frontiers in plant science. 2020. Vol. 11. P. 401–569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569401>
24. Kresoxim-methyl primes *Medicago truncatula* plants against abiotic stress factors via altered reactive oxygen and nitrogen species signalling leading to downstream transcriptional and metabolic readjustment / Filippou P., Antoniou C.,

- Obata T., Van Der Kelen K., Harokopos V., Kanetis L., Aidinis V., Van Breusegem F., Fernie A.R., Fotopoulos V. // *Journal of Experimental Botany*. 2016. Vol. 67. Issue 5. P. 1259–1274. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv516>
25. Landolfi V., Visioli G., Blandino M. Effect of Nitrogen Fertilization and Fungicide Application at Heading on the Gluten Protein Composition and Rheological Quality of Wheat // *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (9). P. 16–87. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091687>
26. Nason M.A., Farrar J., Bartlett D. Strobilurin fungicides induce changes in photosynthetic gas exchange that do not improve water use efficiency of plants grown under conditions of water stress // *Pest Management Science*. 2007. Vol. 63. Issue 12. P. 1191–1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>
27. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants / Köhle H., Grossmann K., Jabs T., Gerhard M., Kaiser W.M., Glaab J., Conrath U., Seehaus K., Herms S. // *Modern fungicides and antifungal compounds III: 13th International Reinhardsbrunn Symposium (Friedrichroda, May 14th–18th 2001)*. Bonn: Agroconcept, 2002. P. 61–74.
28. The global burden of pathogens and pests on major food crops / Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P.H., McRoberts N., Nelson A. // *Nature ecology evolution*. 2019. Vol. 3 (3). P. 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

References

1. Biologicheskaya effektivnost' bakovykh smesey preparatov dlya zashchity yarovoy pshenitsy i ikh vliyanie na kachestvo zerna [Biological effectiveness of tank mixtures of preparations for the protection of spring wheat and their effect on grain quality] / Doronin V.G., Ledovskiy E.N., Pakhotina I.V., Molod Ya.F. *Agrokhiimiya*, 2023, no. 9, pp. 42–49. <https://doi.org/10.31857/S0002188123090053>
2. Biologicheskoe obosnovanie ispol'zovaniya strobilurinov v zashchite zernovykh kul'tur [Biological rationale for the use of strobilurins in the protection of grain crops] / Grishechkina L.D., Dolzhenko V.I., Milyutenkova T.I., Shatova A.S., Sinitsyn D.Yu. *Sovremennye sistemy zashchity rasteniy ot bolezney i perspektivy ispol'zovaniya dostizheniy biotekhnologii i gen-noy inzhenerii. Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya, posvyashch. 45-letiyu VNIIF itopatologii* [Modern systems of plant protection against diseases and prospects for the use of biotechnology and genetic engineering. Proceedings of the All-Russian meeting dedicated to the 45th anniversary of the All-Russian Research Institute of Phytopathology]. Golitsyno, 2003, pp. 163–165.

3. *Gosudarstvennyy katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeniyu na territorii Rossiyskoy Federatsii. Chast' 1. Pestitsidy* [State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. Part 1. Pesticides]. Moscow: Minsel'khoz Rossii Publ., 2019, 873 p.
4. Grishechkina L.D. *Agrobiologicheskoe i ekotoksikologicheskoe obosnovanie formirovaniya assortimenta fungitsidov dlya zashchity pshenitsy* [Agrobiological and ecotoxicological rationale for the formation of an assortment of fungicides for the protection of wheat]. Abstract of PhD dissertation. St. Petersburg-Pushkin, 2018, 395 p.
5. Doronin V.G., Ledovskiy E.N., Krivosheeva S.V. *Effektivnost' preparatov pri zashchite yarovoy myagkoy pshenitsy ot listostblevykh bolezney v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri* [Efficiency of drugs in protecting spring soft wheat from leaf and stem diseases in the southern forest-steppe of Western Siberia]. *Zemledelie*, 2016, no. 6, pp. 43–46.
6. Dospelkhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Kolos Publ., 1979, 416 p.
7. Kolmakov Yu.V., Ledovskiy E.N., Pakhotina I.V. *Kachestvo zerna pshenitsy pri zashchite posevov ot bolezney* [Quality of wheat grain when protecting crops from diseases]. *Vestnik OmGAU*, 2016, no. 3, pp. 9–11.
8. Levitin M.M. *Mikroorganizmy v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata* [Microorganisms in the context of global climate change]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 641–647. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.64rus>
9. *Metodicheskie ukazaniya po gosudarstvennym ispytaniyam fungitsidov, antibiotikov i protraviteley semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Guidelines for state testing of fungicides, antibiotics and seed protectants for agricultural crops]. Batalova T.S. et al. Moscow: B. i. Publ., 1985, 130 p.
10. Mironova G.V. *Khimicheskaya zashchita yarovoy pshenitsy ot bolezney* [Chemical protection of spring wheat from diseases]. *Intensifikatsiya proizvodstva zerna v Zapadnoy Sibiri: sb. nauch. tr.* [Intensification of grain production in Western Siberia: collection of scientific articles] / RASKhN. Sib. otd-nie. Novosibirsk, 1992, pp. 18–25.
11. *Selektsiya na ustoychivost' k steblevoy rzhavchine yarovoy myagkoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri* [Breeding for resistance to stem rust of spring soft wheat in Western Siberia] / Rosseeva L.P., Belan I.A., Meshkova L.V., Blokhina N.P., Lozhnikova L.F., Trubacheeva N.V., Pershina L.A. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 7 (153), pp. 5–12.

12. *Sistema adaptivnogo zemledeliya Omskoy oblasti* [System of adaptive agriculture of the Omsk region]. FGBNU «Omskiy ANTs». Omsk: IP Maksheevoy E.A. Publ., 2020, 522 p.
13. *Sorta sel'skokhozyaystvennykh kul'tur selektsii FGBNU «Omskiy ANTs»: katalog* [Varieties of agricultural crops selected by the Federal State Budgetary Institution «Omsk ANC»: catalog] / ed. M.S. Chekusov. Omsk: IP Maksheevoy E.A. Publ., 2020, 148 p.
14. Teplyakov B.I., Teplyakova O.I. Bolezni yarovoy pshenitsy v Zapadnoy Sibiri [Diseases of spring wheat in Western Siberia]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2003, no. 1, pp. 7–18.
15. Ustoychivost' sortov myagkoy yarovoy pshenitsy k listostebel'nym patogenam v Zapadnoy Sibiri [Resistance of soft spring wheat varieties to leaf-stem pathogens in Western Siberia] / Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Belan I.A., Popolzukhin P.V., Vasilevskiy V.D., Gaydar A.A., Parshutkin Yu.Yu. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2019, no. 5 (175), pp. 5–11.
16. Chulkina V.A., Konyaeva N.M., Kuznetsova T.T. *Bor'ba s boleznyami sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Sibiri* [Fighting crop diseases in Siberia]. Moscow: Rossel'khozizdat Publ., 1987, 253 p.
17. Blandino M., Reyneri A. Effekt of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. *European Journal of Agronomy*, 2009, vol. 30 (4), pp. 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.12.005>
18. Brinkman J.M.P., Dean W., Lauzon J.D., Hooker D.C. Synergism of nitrogen rate and foliar fungicides in soft red winter wheat. *Agronomy Journal*, 2014, vol. 106, pp. 491–510. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0395>
19. Eddine B.S., Douira A., El Yousfi B. Effets des engrais azotés sur le rendement du blé et de l'orge sous stress biotique dû à la pourriture sèche du collet induite par le *Fusarium culmorum*. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 2022, vol. 10(1), pp. 17–30.
20. Effects of nitrogen and intercropping on the occurrence of wheat powdery mildew and stripe rust and the relationship with crop yield. Luo C., Ma L., Zhu J., Guo Z., Dong K., Dong Y. *Frontiers Plant Science*, 2021, vol. 12, p. 637393. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637393>
21. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases—a field perspective. *Molecular plant pathology*, 2018, vol. 19 (6), pp. 1523–1536. <https://doi.org/10.1111/mpp.12618>
22. Foliar application of various nitrogen (N) forms to winter wheat affect grain protein accumulation and quality via N metabolism and remobilization / Lyu

- X., Liu Y., Li N., Ku L., Hou Y., Wen X. *The Crop Journal*, 2022, vol. 10, pp. 1165–1177. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.10.009>
23. How Foliar Fungal Diseases Affect Nitrogen Dynamics, Milling and End-Use Quality of Wheat. Simon M.R., Fleitas M.C., Castro A.C., Schierenbek M. *Frontiers in plant science*, 2020, vol. 11, pp. 401–569. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.569401>
24. Kresoxim-methyl primes *Medicago truncatula* plants against abiotic stress factors via altered reactive oxygen and nitrogen species signalling leading to downstream transcriptional and metabolic readjustment / Filippou P., Antoniou C., Obata T., Van Der Kelen K., Harokopos V., Kanetis L., Aidinis V., Van Breusegem F., Fernie A.R., Fotopoulos V. *Journal of Experimental Botany*, 2016, vol. 67, issue 5, pp. 1259–1274. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv516>
25. Landolfi V., Visioli G., Blandino M. Effect of Nitrogen Fertilization and Fungicide Application at Heading on the Gluten Protein Composition and Rheological Quality of Wheat. *Agronomy*, 2021, vol. 11 (9), pp. 16–87. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091687>
26. Nason M.A., Farrar J., Bartlett D. Strobilurin fungicides induce changes in photosynthetic gas exchange that do not improve water use efficiency of plants grown under conditions of water stress. *Pest Management Science*, 2007, vol. 63, issue 12, pp. 1191–1200. <https://doi.org/10.1002/ps.1443>
27. Physiological effects of the strobilurin fungicide F 500 on plants. Köhle H., Grossmann K., Jabs T., Gerhard M., Kaiser W.M., Glaab J., Conrath U., Seehaus K., Herms S. *Modern fungicides and antifungal compounds III: 13th International Reinhardtbrunn Symposium* (Friedrichroda, May 14th–18th 2001). Bonn: Agroconcept, 2002, pp. 61–74.
28. The global burden of pathogens and pests on major food crops / Savary S., Willocquet L., Pethybridge S.J., Esker P.N., McRoberts N., Nelson A. *Nature ecology evolution*, 2019, vol. 3 (3), pp. 430–439. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0793-y>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHORS CONTRIBUTIONS

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

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ледовский Евгений Николаевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией защиты растений

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»*

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

evgeniy_nl@mail.ru

Доронин Владимир Георгиевич, к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории защиты растений

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»*

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

evgeniy_nl@mail.ru

Пахотина Ирина Владимировна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией качества зерна

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»*

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

pakhotina@anc55.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy N. Ledovsky, Cand. Sci. (Agric.), Head of the Plant Protection Laboratory

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

evgeniy_nl@mail.ru

SPIN-code: 5164-0468

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9948-6105>

Vladimir G. Doronin, Cand. Sci. (Agric.), Leading researcher of the Plant Protection Laboratory

Omsk Agrarian Scientific Center

26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

evgeniy_nl@mail.ru

SPIN-code: 3252-9912

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2288-1913>

Irina V. Pakhotina, Cand. Sci. (Agric.), Head of the Grain Quality Laboratory

Omsk Agrarian Scientific Center

26 Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

pakhotina@anc55.ru

SPIN-code: 4557-8357

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9709-1951>

Scopus Author ID: 58084178100

Поступила 02.05.2024

После рецензирования 07.08.2024

Принята 20.08.2024

Received 02.05.2024

Revised 07.08.2024

Accepted 20.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-940

УДК 632.93:631.559.2



Научная статья

ЭНТОМОФАГИ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА

**Р.В. Щучка, В.А. Гулидова, Т.В. Зубкова,
О.А. Дубровина, В.Л. Захаров**

Актуальность обусловлена возросшими требованиями к качеству получаемой продукции, увеличением рыночной стоимости пестицидов и возрастающей резистентностью вредителей к ним. В условиях стремительного развития тепличных технологий в последние годы и возрастающей численности видового состава вредных организмов систему защиты растений нужно постоянно актуализировать. Целью работы стало получение экологически чистого продукта с меньшими финансовыми затратами без использования химических обработок посредством заселения и разведения в производственном блоке теплицы паразитарной осы (*Aphidius colemani*), как средства защиты от бахчевой тли (*Aphis gossypii*). Для выявления заселенности растений вредителями использовался метод мониторинговых цветных клеевых ловушек. Учет урожайности растений огурца проводили после каждого сбора, процент нестандартной продукции определяли путем визуального осмотра. Для получения высоко экологичного продукта питания разработали, апробировали и внедрили экспериментальную схему защиты от тли в осенний период с применением энтомофагов *Aphidius colemani* и *Amblyseius swirski*. Установили целесообразность внесения по 1 особи на один м² каждую неделю в течение как минимум 6 недель, начиная с размещения рассады на постоянное место плодоношения. Если очагов не обнаруживали, спустя это время, норму внесения понижали. В случае обнаружения, очаг отмечали на карте и сразу вносили дополнительно *Aphidius colemani* в соотношении хищник:жертва как 1:10-20. Выявили, что экспериментальная схема применения энтомофагов является экологически безопасной и экономически выгодной: повысилась урожайность на 3,6 кг/м², снизились производственные затраты (на 1,1 руб./кг) и, как результат, уровень рентабельности увеличился на 1,1 %.

Ключевые слова: защита растений огурца; энтомофаги; безопасность; биометод; закрытый грунт; качество; паразитарная оса; *Aphidius colemani*; тля; *Aphis gossypii*; хищный клещ; *Amblyseius swirski*

Для цитирования. Щучка Р.В., Гулидова В.А., Зубкова Т.В., Дубровина О.А., Захаров В.Л. Энтомофаги в системе защиты растений огурца // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 204-220. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-940

Original article

ENTOMOPHAGES IN THE CUCUMBER PLANT PROTECTION SYSTEM

**R.V. Shchuchka, V.A. Gulidova, T.V. Zubkova,
O.A. Dubrovina, V.L. Zakharov**

*The relevance is due to the increased requirements for the quality of the products obtained, the increase in the market value of pesticides and the increasing resistance of pests to them. In the context of the rapid development of greenhouse technologies in recent years and the increasing number of species of harmful organisms, the plant protection system needs to be constantly updated. The aim of the work was to obtain an environmentally friendly product with lower financial costs without the use of chemical treatments by settling and breeding a parasitic wasp (*Aphidius colemani*) in the greenhouse production unit as a means of protection against melon aphids (*Aphis gossypii*). The method of monitoring colored glue traps was used to identify pest infestation of plants. The yield of cucumber plants was taken into account after each harvest, the percentage of non-standard products was determined by visual inspection. To obtain a highly environmentally friendly food product, an experimental aphid protection scheme was developed, tested and implemented in the autumn period using *Aphidius colemani* and *Amblyseius swirski* entomophages. It has been established that it is advisable to add 1 individual per m² every week for at least 6 weeks, starting with the placement of seedlings for a permanent fruiting period. If no foci were found, after this time, the application rate was lowered. In case of detection, the focus was marked on the map and immediately an additional *Aphidius colemani* was added with an approximate predator:prey ratio of 1:10-20. It was revealed that the experimental scheme for the use of entomophages is environmentally safe and economically profitable: productivity increased by 3.6 kg/m², production costs decreased (by 1.1 rubles/kg) and, as a result, the level of profitability increased by 1.1%.*

Keywords: cucumber plant protection; entomophages; safety; biometnode; indoor soil; quality; parasitic wasp; *Aphidius colemani*; aphid; *Aphis gossypii*; predatory mite; *Amblyseius swirski*

For citation. Shchuchka R.V., Gulidova V.A., Zubkova T.V., Dubrovina O.A., Zakharov V.L. *Entomophages in the Cucumber Plant Protection System. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 204-220. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-940

Введение

В России в зависимости от региона культура огурца занимает 75-80% площади теплиц. Площадь под светокulturой огурец в РФ на начало 2019 года составило в 1,5 раза больше площади, занятой под светокulturой томат. В 2022 году из 1,5 млн. тонн урожая теплиц, 850 т. приходилось на огурец [8].

Известный отечественный специалист Пыженков В. И. так дал ботаническое описание огурцу (Культурная флора, 1994): «Растение однолетнее. Стебель длиной 8-10м, стелющийся или вьющийся, цепляющийся с помощью простых усиков. Опушение густое, жесткое. Листья очередные, пятиугольно-лопастные, опушенные, с городчатыми или зубчатыми краями. Цветки мужские и женские, реже гермафродитные, пазушные, одиночные или собранные в соцветие (щиток). Чашелистики ланцетошиловидные. Венчик широковоронковидный, желтый, рассечен на пять долей. Тычинок пять; из них четыре по парно сросшиеся и одна свободная. Завязь нижняя, удлинённая, бугорчатая с шипиками, белой черной или коричневой окраски. Плоды- многосемянная сочная тыква, разнообразны по величине и форме (от шиловидных до удлинённо-цилиндрических). Семена удлинённые, с толстой кожурой. Число хромосом $2n=14$. Происхождение – Индия. Вид включает возделываемые и декоративные формы» [11].

Технология выращивания огурца в теплицах разнообразна и зависит от нескольких факторов: количество гибридов, тип субстрата, различные способы освещения растений (дневной свет и досветка), разные способы отопления и вентилирования теплиц, разные варианты воздухоподготовки, множество модификаций посадки растений и т.д. Главное – технология выращивания должна быть увязана с имеющимся инженерным оборудованием, со средствами механизации, контроля и управления климатом, поливом, учетом трудозатрат, транспортом, цехом и т.д. Исходя из этого каждое хозяйство разрабатывает собственную систему ухода за растениями, в том числе и мероприятия по защите, с учетом конкретно сложившихся условий [10; 15; 21].

Искусственно сформированная среда дает возможность получать и представлять на прилавки круглый год качественный урожай. Тем не менее, все эти операции не дают гарантированной защиты растений огурца от воздействия различных вирусов, грибов, микроорганизмов, фитопатогенных нематод, кле-

щей и т.д. Поэтому одно из наиболее важных мест в теплицах «защищенного грунта» занимает отдел по защите растений агрономической службы, с помощью которого разрабатываются и выполняются мероприятия по производственной программе «Система интегрированной защиты растений».

Состояние вопроса

Исследования по применению биометода для защиты сельскохозяйственных культур в нашей стране начались еще в 19 веке. В начале 20 столетия И.В. Васильев и А.Ф. Радецкий одними из первых начали применять энтомофаги [9]. В последние годы этот метод борьбы с вредными насекомыми в условиях закрытого грунта является самым эффективным и безопасным, особенно при реализации технологии органического земледелия.

Однако, значительное развитие тепличных технологий в последние десятилетия в мире и в нашей стране требует постоянного контроля и изменения подходов к отбору энтомофагов. Изменились материалы, конструкции современных теплиц, сама технология возделывания растений постоянно совершенствуется. Кроме того, расширение видового состава вредителей, в то числе и за счет инвазивных видов, требует новых подходов к биологическому контролю вредителей [6]. Достигнуть этого можно, в том числе, и подбором оптимальных схем заселения энтомофагами культурных растений.

В данном исследовании предложена востребованная на сегодняшний день схема защиты культуры огурца с применением энтомофагов [16, 19, 22]. Актуальность обусловлена увеличением рыночной стоимости пестицидов в нашей стране и возрастающей резистентностью вредителей к ним [12, 17, 18], а также возросшим требованием к качеству получаемой продукции.

Цель исследований

Получение экологически чистого продукта с меньшими финансовыми затратами без использования пестицидных обработок посредством заселения и разведения в производственном блоке теплицы паразитарной осы (*Aphidius colemani*), как средства защиты от бахчевой тли (*Aphis gossypii*).

Материалы и методы

Исследования проводили в тепличном комбинате «Елецкие овощи». Предприятие специализируется на выращивании огурца, томатов, салата. Площадь теплиц в этом предприятии составляет 60 га. Сюда входят производственные блоки по выращиванию огурца, рассадное отделение, а также производственные площади. Тепличный комбинат «Елецкие овощи» – это

теплицы пятого поколения, которые позволяют эффективнее, чем в классических теплицах получать высокую урожайность с минимальными энергозатратами, контролировать весь процесс выращивания растений.

В теплице имеются специализированные рукава, которые подают воздух внутри теплицы, в результате создается идеальный микроклимат, за счет этого растения развиваются именно в той среде, которая необходима для получения дополнительного высокого урожая, порядка 15%.

Для стимулирования роста и развития растений на комбинате используется система искусственного освещения. Освещенность составляет 230W на м², что составляет приблизительно 30 тыс. lux.

Все необходимые показатели датчиков и работы автоматизированных систем отображаются на мониторах в операторской. Контролируются температура, влажность, уровень CO₂, уровень освещенность и тепла, также показатели ЕС растворов, которые поступают для питания растений.

Комбинат оснащен гигиеническими модулями, которые обеспечивают строгое соблюдение фитосанитарного режима, сокращая риски случайного заноса бактериальных и грибных болезней растений.

Объектами исследований были гибриды огурца и биоагенты, применяемые в закрытом грунте. Все гибриды первого поколения: длинноплодный гладкий огурец Бальтазар, среднеплодный гладкий огурец Мева и среднеплодный гладкий огурец Мирослава [13]. Ниже приводится их краткая характеристика (табл. 1).

Таблица 1.

Характеристика гибридов огурца

Бальтазар (<i>Baltasara</i>)	Мева (<i>Mewa</i>)	Мирослава (<i>Miroslawa</i>)
Длинноплодный высокоурожайный гибрид для светокультуры. Плоды высокого качества, цилиндрической формы, длиной 28-30см. массой более 300г. Обладают высокой устойчивостью к мучнистой росе и вирусу зеленой крапчатой мозаики огурца.	Среднеплодный гладкий, высокоурожайный теневыносливый гибрид для выращивания на светокультуре. Обладает высокой регенеративной способностью. Длина плода в начале вегетации 17-20 см, в конце 20-25см, плоды цилиндрической формы, блестящие. Растения меньше повреждаются вирусом зеленой крапчатой мозаики огурца	Гибрид для светокультуры в типе «Мева» со стабильной длиной плодов: 17-18 см в начале вегетации, до 22см в конце вегетации. Плоды хорошо выполненные, лёжкие, отлично переносят транспортировку, хорошо подходят для фасовки. Обладают высокой устойчивостью к мучнистой росе, устойчивостью к вирусу зеленой крапчатой мозаики огурца на уровне Мевы.

В исследованиях применяли биоагенты [1; 2; 6; 20].

Галлица афидимиза (*Aphidoletes aphidimyza*) – насекомое, внешний вид похож на небольшой комарик. Личинки питаются различными видами тли. Самки находят колонию тли и откладывают в нее мелкие оранжевые яйца. Из них выходят червеобразные, безногие личинки. В слюне личинок содержатся ферменты, которые парализуют жертву, причем хищник убивает больше вредителей, чем может съесть. Используют в качестве защиты от персиковой, бахчевой, большой и обыкновенной картофельной тли.

Хищный клещ (*Amblyseius swirski*) – мелкий клещ светло-бежевой окраски, его размеры до 0,38мм. Как правило, обитает на нижней стороне листовой пластинки, откладывает яйца поодиночке. В теплицах успешно сдерживает распространение популяции белокрылки (*Trialeurodes vaporariorum*), трипса (*Thrips tabaci*). Косвенно контролирует колонии паутинного клеща (*Tetranychus urticae*).

Паразитарная оса (*Aphidius colemani*) – взрослая особь выживает всего 5-7 дней. Самка паразита в состоянии сделать сотни попыток яйцекладки в течении ее жизни. Она вкалывает яйценосную трубку в тело тли и откладывает в него одно яйцо. Личинка окукливается внутри тли, которая превращается в мумию. Самый популярный энтомофаг, который контролирует более 40 видов тли, включая бахчевую (*Aphis gossypii*) и персиковую тлю (*Myzus persicae* subsp. *persicae*), поэтому в теплицах защищенного грунта является первым защитником при борьбе с вредителем.

Бахчевая тля (*Aphis gossypii*) – это мелкие насекомые размером от 1,5 до 2,1 мм с колюще-сосущим ротовым аппаратом, питается соком растений, истощая их. Тля бывает разной окраски от светло-жёлтого, зелёного или черного цвета. Появляется в теплицах в наших условиях, как правило, в мае, повреждая нежные растения огурцов. Колонии тли начинают вредоносную деятельность с нижней стороны листа, прилипая также к молодым побегам и цветоносам. В процессе своей жизнедеятельности тля переносит различные инфекции, в том числе и вирусные.

Результаты исследования

На предприятии ООО тепличный комбинат «Елецкие овощи» реализуется базовая технологическая схема защиты культуры огурца, которая является основой. В ее основе лежит разработка календарных планов защитных работ с учетом вида культуры и сортовых особенностей [8]. В настоящее время тепличный комплекс не всегда работает по базовой схеме. На использование той или иной схемы защиты влияет большое количество

фактов: качественный мониторинг в производственном блоке, степень интенсивности распространения вредителей, сезон года, климатические условия, спрос на продукцию.

Как правило, в весенне-летний, летний и летне-осенний периоды применяется биологический метод защиты, который основывается только на выселение энтомофагов, а именно, хищного клеща (*Amblyseius swirski*). Этот вредитель применяется для контроля трипса (*Thrips tabaci* Lind.), белокрылки (*Trialeurodes vaporariorum*), афидиуса (*Aphidius colemani*). Галлица (*Aphidius colemani*) осуществляет контроль бахчевой тли (*Aphis gossypii*). Срок для выселения энтомофагов обуславливается комфортной температурой как в помещении теплицы, так и на улице, а также продолжительностью светового дня. Эти условия позволяют энтомофагам быстро адаптироваться и качественно работать в течение всего оборота [15].

В осенне-зимний и зимний период выстраивается система защиты по базовой схеме, которая предусматривает применение пестицидов и агрохимикатов (табл. 2).

Таблица 2.

**Базовая схема защиты огурца в закрытом грунте на предприятии
«Елецкие овощи»**

Наименование мероприятий	Срок выполнения	Норма расхода
Внесение Веримарка в капельный полив двукратно с интервалом 10 дней.	2-я неделя после посадки, 4-я неделя после посадки	0,5 л/га
Корректировка тли в очагах: Беневия 0,1% (2-кратно)	4-я и 6-я недели после посадки,	2,0 л/га
Корректировка тли в очагах: Пленум 0,06% (2-кратно)	8-я и 10-я недели после посадки	1,0 л/га
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i> (2-кратно)	4-я и 5-я недели плодоношения	0,4 ос/м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidoletes aphidimyza</i> (2-кратно)	6-я и 7-я недели плодоношения	1,2 ос./м ²

В базовой схеме защиты в течение всего оборота применялись пестициды: после посадки – внесение в капельную линию, в период плодоношения – опрыскивание по листу. Согласно регламенту применения,

пестициды имели срок ожидания, то есть промежуток времени до сбора урожая, в течение которого уровень пестицида снижается до безопасного. В базовой схеме применяли инсектицид Беневия, МД (100 г/л *циантранилипрола*), который позволял конт ролировать тлю и трипсов с нормой расхода 2,0 л/га. У него короткий период ожидания всего 1 день. Инсектицид Пленум, ВДГ (500 г/кг *ниметпрозина*) в дозе 1 л/га имеет более длительный срок ожидания - 3 дня. В течение данного периода весь товарный огурец выбраковывался и утилизировался, что приносило убытки предприятию.

Экспериментальная схема позволила полностью исключить применение химических обработок, соответственно весь собранный огурец полностью поставлялся в торговую сеть. Для получения высоко экологичного продукта авторами была разработана, апробирована и внедрена экспериментальная схема защиты от тли в осенний период с применением энтомофага *Aphidius colemani* (паразитарная оса), одновременно сохранялась схема по внесению биопрепаратов и схема заселения теплицы хищным клещом (*Amblyseius swirski*). В данном эксперименте предпочтение отдавалось «превентивной стратегии» и не допущения появления очагов тли, то есть работали не с очагами тли, а не допускали их возникновения (табл. 3).

Таблица 3.

Экспериментальная схема защиты огурца в закрытом грунте на предприятии «Елецкие овощи» с помощью энтомофага *Aphidius colemani*

Наименование мероприятий	Срок выполнения (неделя плодоношения огурца)	Норма расхода
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	1-я неделя после высадки	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	2-я неделя после высадки	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	3-я неделя после высадки	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	1-я неделя плодоношения	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	2-я неделя плодоношения	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	3-я неделя плодоношения	1,1 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	4-я неделя плодоношения	0,5 ос./м ²
Внесение энтомофага <i>Aphidius colemani</i>	5-я неделя плодоношения	0,5 ос./м ²

Планируя выселения *Aphidius colemani* всегда учитывали уходные работы. Так, первое выселение проводили после ослепления и пасынкования растений. Не выселяли энтомофагов, если в это же время проводили приспуск или подкручивание растений. Выполняли работы с таким расчетом, чтобы энтомофаги как можно раньше попадали в производственные блоки. Соседние блоки, которые имеют близкие сроки по посадке по возможности проводили спарено.

Для летних оборотов применяется 5 ступеней первичного заселения производственного блока, для зимних оборотов достаточно 4-х. В норме ежемесячно вносили по 100 особей *Amblyseius swirski* на 1 м² – летом и 80 особей – зимой. Сплошных выселений по 40-50 ос/м² бывает от 4 до 5-6 за оборот, это зависит от продолжительности вегетации культуры. В межсезонье оценивали ситуацию развития популяции вредителей в блоке и решали, в какой момент надо перестроиться на летнюю или зимнюю схему выселения. За зимний оборот расходовали суммарно около 280 ос/м² (141 банок по 50 тыс.ос. при цене 2666,67 руб. без НДС, затраты на оборот культуры – 376000,5 руб.), за летний около 340 ос/м² (170 банок по 50 тыс.ос., затраты на оборот культуры – 453333,9 руб.). За 1 месяц до конца оборота культуры выселения прекращали.

Разработанная и применяемая схема защиты от тли на культуре огурца подразумевала частичное применение пестицидов [14] на ранних стадиях развития, а также корректировки очагов тли в течение всего вегетационного периода. Но не всегда эти корректировки очагов тли были эффективны, что приводило к увеличению их популяции и повторному применению пестицидов и как следствие - уменьшению энтомофагов. Такое применение энтомофагов и пестицидов экономически не целесообразно, так как по регламенту применения пестицидов есть ограничения (срок ожидания), при котором продукция, подлежащая обработке, выбраковывается и утилизируется, а также происходит снижение популяции энтомофагов и образование новых очагов вредителя.

Применялась «классическая» схема интродукции *Aphidius colemani*, когда его вносят часто и понемногу, равномерно распределяя внутри теплицы. В момент размещения рассады на постоянное место плодоношения рекомендовалось вносить по 1 особи на м² каждую неделю (как минимум 6 недель). Если очагов не обнаружено, спустя это время норму понижали. В случае обнаружения, очаг отмечали на карте и сразу вносили дополнительно *Aphidius colemani* с примерным соотношением хищник : жертва как 1:10-20.

При применении данной схемы защиты от тли и соблюдении графика выселения *Aphidius colemani*, с учетом корректных поставок (поставки

соответствовали заявленной дате и количеству биоматериала) достаточно было только основных внесений для закрепления и разведения данного энтомофага в теплицы. Обусловлено это высоким качеством поступавшего материала (при проверке выход *Aphidius colemani* составлял 98%), а также высокой способностью осы данного вида находить даже небольшие колонии тли.

В представленной схеме отмечаем, что активное заселение энтомофагом происходило в течении 6 недель. Качественное и правильное выселение, а также комфортная температура дают возможность энтомофагу приживаться и заселять всю теплицу за короткое время. В качестве профилактики было сделано еще несколько выселений и установлены маточники. Дальнейшее выселение *Aphidius colemani*, согласно рекомендациям, не потребовалось. Следует отметить, что главным достоинством биометода является то, что энтомофаги воздействуют на все фазы развития вредителей (от яйца-до взрослой особи), в то время как химические препараты не воздействуют на такие фазы развития как яйцо, куколка, что приводит через определенный промежуток времени новому появлению вредителя.

Результатом данного эксперимента стал полный отказ от пестицидной обработки и получение ежедневно, в течение всего оборота экологически чистого продукта с продуктивностью растений 55,5 кг/м² (табл. 4). Превышение урожайности над базовой защитой составило 3,6 кг/м². Увеличение урожайности связано с своевременной поставкой и высоким качеством биоматериала, неспособностью вредителей вырабатывать резистентность к энтомофагам и условиями окружающей среды. Не последнюю роль оказала качественная работа рабочих звена мониторинга. Применение биологической защиты огурца в теплице это не только экологически безопасный, но и экономически выгодный агроприем, а именно, снизились производственные затраты на 1,1 руб./кг и повысился уровень рентабельности на 1,1 %.

Таблица 4.

Урожайность огурца в закрытом грунте на предприятии «Елецкие овощи» в зависимости от схем защиты от вредителей

Показатель	Урожайность, кг/м ²
Базовая защита	51,9
Экспериментальная защита	55,5
НСР ₀₅	2,54
НСР%	4,72

Заключение

Экспериментальная схема защиты огурца способствовала получению экологически чистой овощной продукции, с безупречным вкусом и привлекательным внешним видом. Эта схема оказалась экономически выгоднее за счет повышения урожайности на 3,6 кг/м², снижения производственных затрат на 1,1 руб./кг и повышение уровня рентабельности производства огурца в закрытом грунте на 1,1 %.

В базовой схеме защиты огурца в теплицах использование пестицидов способствовало у вредителей выработке резистентности, а также за счет чередования химических препаратов приводило к удорожанию защиты, тогда как в экспериментальной схеме резистентность к энтомофагам не была выявлена.

При применении биологического метода защиты в экспериментальной схеме необходим систематический мониторинг, который должен быть объективным, своевременный и базироваться на конкретных цифровых показателях: учитывать сезон года, температуру и продолжительность светового дня, определять входной контроль биоматериала (учитывать % вылупляемости и соотношение самец : самка), контролировать поставки *Aphidius colemani* согласно плану заселения теплицы.

Список литературы

1. Ахатов А.К. Мир огурца глазами фитопатолога. Москва: Товарищество научных изданий «КМК», 2020. 320 с.
2. Ахатов А.К. Практическое пособие по идентификации клещей и насекомых в овощных теплицах. Москва: Товарищество научных изданий «КМК», 2016. 94 с.
3. Басарыгина Е. М. Экологизированная защита растений в гидропонном овощеводстве / Е. М. Басарыгина, Р. И. Панова, Т. А. Путилова // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. Т. 67, № 1. С. 5-8.
4. Белова М. К. Биологизированная система защиты огурца (*Cucumis sativus*) в защищенном грунте / М. К. Белова, С. С. Цыгикало // Защита растений от вредных организмов: Материалы XI международной научно-практической конференции, Краснодар, 19–23 июня 2023 года. Том Выпуск 11. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, 2023. С. 50-52.
5. Белякова Н. А. Скрининг биоресурсов насекомых и клещей для биологического контроля вредителей в защищенном грунте / Н. А. Белякова, В. А.

- Павлюшин // Вестник защиты растений. 2023. Т. 106, № 1. С. 49-70. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533>
6. Белякова Н. А. Освоение биоресурсов энтомофагов: проблемы и дальнейшие пути развития / Н. А. Белякова, В. А. Павлюшин, Д. А. Попов // Труды Русского энтомологического общества / Под ред. С.А. Белокобыльского; Российская академия наук. Том 93. Санкт-Петербург: Русское энтомологическое общество, 2022. С. 5-20. https://doi.org/10.47640/1605-7678_2022_93_5
 7. Гриценко В.В. Вредители и болезни сельскохозяйственных культур/ В.В. Гриценко, Ю.М. Стройков, Н.Н. Третьяков. Москва: Академия, 2012. 224 с.
 8. Долженко Т.В. Биорациональные средства защиты растений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 23. С. 104-109.
 9. Замотайлов А.С. История и методология биологической защиты растений. Электронный курс лекций. Краснодар, 2012. 237 с.
 10. Козлова Е. Г. Опыт применения биосредств в защите огурца от комплекса вредителей в теплицах / Е. Г. Козлова, Л. П. Красавина, Г. С. Орлова // Защита и карантин растений. 2019. № 11. С. 39-42.
 11. Культурная флора = Flora of cultivated plants. Тыквенные. Т. 21: (Огурец, дыня) / В.И. Пыженков, М.И. Малинина; Ред. В. И. Пыженков. Москва: Колос, 1994. 287 с.
 12. Мехдиев Т. В. Экологические проблемы применения пестицидов // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 5. С. 98-103.
 13. Огурец: от посева до урожая / Портянкин А.Е., Шамшина А.В. (под общ. ред. С.Ф Гавриша). Москва: ООО «Гибридные семена «Гавриш» для НП НИИОЗГ: «Фитон+», 2010. 400с.
 14. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации 2023. Москва, версия 59 от 13.01.2023.
 15. Токарева А. К. Защита растений и повышение их продуктивности в условиях теплицы / А. К. Токарева, О. В. Петрушина // Разнообразие и устойчивое развитие агробиоценозов Омского Прииртышья: материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ботанического сада Омского ГАУ, Омск, 25 сентября 2017 года. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2017. С. 70-72.
 16. Emaru A., Gaoqiong L., Rwtotonen I.B. Green pest management: A case study of *Aphidius colemani*, Viereck, a biological control agent // Int. J. Phytol. Res. 2023. Vol. 3, No. 4. P. 22–30.

17. Adly D., Mahmoud Ibrahim H., Mohamed Salleh A. E. H. Synergistic effects of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) and *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) releases for the biological control of *Diuraphis noxia* in wheat fields // *Biocontrol Science and Technology*. 2023. P. 1-16. <https://doi.org/10.1080/09583157.2023.2277652>
18. Diwas Khatri, Xiong Z He, Qiao Wang, Potential Aphid Population Regulation by *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) in Response to Host Density, Parasitoid Density, and Age // *Journal of Economic Entomology*. 2021. Vol. 114, Issue 4. P. 1847–1851. <https://doi.org/10.1093/jee/toab090>
19. Jerbi-Elayed M., Foray V., Tougeron K., Grissa-Lebdi K., Hance T. Developmental Temperature Affects Life-History Traits and Heat Tolerance in the Aphid Parasitoid *Aphidius colemani* // *Insects*. 2021. Vol. 12, 852. <https://doi.org/10.3390/insects12100852>
20. Marinchenko T. Entomophages as a Perspective Direction of Plant Protection // *KnE Life Sciences*. 2021. Vol. 6(3). P. 374–383. <https://doi.org/10.18502/kl.v0i0.8968>
21. Moreno-Delafuente A. et al. Elevated carbon dioxide reduces *Aphis gossypii* intrinsic increase rates without affecting *Aphidius colemani* parasitism rate // *Biological Control*. 2021. Vol. 163. P. 104741. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104741>
22. Pirayeshfar F., Safavi S.A., Moayeri H.R.S. et al. Provision of astigmatid mites as supplementary food increases the density of the predatory mite *Amblyseius swirskii* in greenhouse crops, but does not support the omnivorous pest, western flower thrips // *BioControl*. 2021. Vol. 66. P. 511–522. <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10092-9>

References

1. Akhatov A.K. *The world of cucumber through the eyes of phytopathologist*. Moscow: Partnership of scientific editions “KMK”, 2020, 320 p.
2. Akhatov A.K. *Practical guide to the identification of mites and insects in vegetable greenhouses*. Moscow: Partnership of scientific publications “KMK”, 2016, 94 p.
3. Basarygina E. M. Ecologized plant protection in hydroponic vegetable growing / E. M. Basarygina, R. I. Panova, T. A. Putilova. *Bulletin of Chelyabinsk State Agroengineering Academy*, 2014, vol. 67, no. 1, pp. 5-8.
4. Belova M. K. Biologized system of protection of cucumber (*Cucumis sativus*) in protected ground / M. K. Belova, S. S. Tsygikalo. *Plant protection from pests: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*,

- Krasnodar, 19-23 June 2023*. Vol. Issue 11. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2023, pp. 50-52.
5. Belyakova N. A. Screening of bioresources of insects and mites for biological control of pests in protected soil / N. A. Belyakova, V. A. Pavlyushin. *Plant Protection Bulletin*, 2023, vol. 106, no. 1, pp. 49-70. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-1-15533>
 6. Belyakova N. A. Development of bioresources of entomophages: problems and further ways of development / N. A. Belyakova, V. A. Pavlyushin, D. A. Popov. *Proceedings of the Russian Entomological Society* / Edited by S. A. Belokobylsky; Russian Academy of Sciences. Vol. 93. St. Petersburg: Russian Entomological Society, 2022, pp. 5-20. https://doi.org/10.47640/1605-7678_2022_93_5
 7. Gritsenko V.V. *Pests and diseases of agricultural crops* / V.V. Gritsenko. Gritsenko, Y.M. Stroikov, N.N. Tretyakov. Moscow: Academy, 2012, 224 p.
 8. Dolzhenko T.V. Biorational means of plant protection. *Izvestiya St. Petersburg State Agrarian University*, 2011, no. 23, pp. 104-109.
 9. Zamotaylov A.S. *History and methodology of biological plant protection*. Electronic course of lectures. Krasnodar, 2012, 237 p.
 10. Kozlova E. G. Experience in the use of bio-mediators in the protection of cucumber from a complex of pests in greenhouses / E. G. Kozlova, L. P. Krasavina, G. S. Orlova. *Plant Protection and Quarantine*, 2019, no. 11, pp. 39-42.
 11. *Cultivated flora. Pumpkin plants*. Vol. 21: (Cucumber, melon) / V.I. Pyzhenkov, M.I. Malinina; Ed. V.I. Pyzhenkov. Moscow: Kolos, 1994, 287 p.
 12. Mehdiyev T. V. Ecological problems of pesticide use. *Agricultural sciences and agroindustrial complex at the turn of the century*, 2014, no. 5, pp. 98-103.
 13. *Cucumber: from sowing to harvest* / Portyankin A.E., Shamshina A.V. (edited by S.F. Gavrish). Moscow: LLC "Hybrid seeds Gavrish" for NP NIIOZG: "Fiton +", 2010, 400 p.
 14. Directory of pesticides and agrochemicals authorized for use on the territory of the Russian Federation 2023. Moscow, version 59, 13.01.2023.
 15. Tokareva A. K. Plant protection and increasing their productivity in greenhouse conditions / A. K. Tokareva, O. V. Petrushina. *Diversity and sustainable development of agrobiocenoses of Omsk Priirtyshye: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Botanical Garden of Omsk GAU, Omsk, September 25, 2017*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, 2017, pp. 70-72.
 16. Emaru A., Gaoqiong L., Rwtotonen I.B. Green pest management: A case study of *Aphidius colemani*, Viereck, a biological control agent. *Int. J. Phytol. Res.*, 2023, vol. 3, no. 4, pp. 22-30.

17. Adly D., Mahmoud Ibrahim H., Mohamed Salleh A. E. H. Synergistic effects of *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) and *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) releases for the biological control of *Diuraphis noxia* in wheat fields. *Biocontrol Science and Technology*, 2023, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1080/09583157.2023.2277652>
18. Diwas Khatri, Xiong Z He, Qiao Wang, Potential Aphid Population Regulation by *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiidae) in Response to Host Density, Parasitoid Density, and Age. *Journal of Economic Entomology*, 2021, vol. 114, issue 4, pp. 1847-1851. <https://doi.org/10.1093/jee/toab090>
19. Jerbi-Elayed M., Foray V., Tougeron K., Grissa-Lebdi K., Hance T. Developmental Temperature Affects Life-History Traits and Heat Tolerance in the Aphid Parasitoid *Aphidius colemani*. *Insects*, 2021, vol. 12, 852. <https://doi.org/10.3390/insects12100852>
20. Marinchenko T. Entomophages as a Perspective Direction of Plant Protection. *KnE Life Sciences*, 2021, vol. 6(3), pp. 374-383. <https://doi.org/10.18502/kl.v0i0.8968>
21. Moreno-Delafuente A. et al. Elevated carbon dioxide reduces *Aphis gossypii* intrinsic increase rates without affecting *Aphidius colemani* parasitism rates. *Biological Control*, 2021, vol. 163, p. 104741. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104741>
22. Pirayeshfar F., Safavi S.A., Moayeri H.R.S. et al. Provision of astigmatid mites as supplementary food increases the density of the predatory mite *Amblyseius swirskii* in greenhouse crops, but does not support the omnivorous pest, western flower thrips. *BioControl*, 2021, vol. 66, pp. 511-522. <https://doi.org/10.1007/s10526-021-10092-9>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Щучка Роман Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
romanelez@yandex.ru

Гулидова Валентина Андреевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»

*ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
Guli49@yandex.ru*

Зубкова Татьяна Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

*ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
zubkovatanua@ya.ru*

Дубровина Ольга Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

*ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
laboratoria101@mail.ru*

Захаров Вячеслав Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

*ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина»
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
zaharov7979@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman V. Shchuchka, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products

*Yelets State University named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
romanelez@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1011-5413>

Scopus Author ID: 57208116311

SPIN-code: 9683-8362

Valentina A. Gulidova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of Agricultural Products

Yelets State University named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
guli49@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7585-0956>
Scopus Author ID: 57131091400
SPIN-code: 6368-1625

Tatyana V. Zubkova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department Chair of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
zubkovatanua@ya.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-488X>
Scopus Author ID: 57212196057
SPIN-code: 5140-1260

Olga A. Dubrovina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
laboratoria101@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3584-409X>
Scopus Author ID: 57200073127
SPIN-code: 7923-0804

Vyacheslav L. Zakharov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
zaxarov7979@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4891-658X>
Scopus Author ID: 57211760974
SPIN-code: 1388-8430

Поступила 14.02.2024
После рецензирования 01.04.2024
Принята 15.04.2024

Received 14.02.2024
Revised 01.04.2024
Accepted 15.04.2024

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL
SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

УДК 635.655:631.82:631.8472



Научная статья

МОЛИБДЕН И МЕДЬ
В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СОИ

*Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова,
В.А. Волкова, Е.В. Тукмачева*

Обоснование. В современном земледелии усовершенствование зональной технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе и сои с учётом новых знаний в области агрохимии имеет актуальное значение.

Цель исследований. Изучить влияние предпосевной обработки семян молибденом и медью на урожайность и качество семян сои.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2022-2023 гг. на опытном поле лаборатории агрохимии Омского аграрного научного центра в длительном стационарном опыте на основе зернопарового севооборота. Опыт двухфакторный: фактор А – варианты внесения удобрений: 1) без удобрений; 2) предпосевная обработка семян (ПОС) молибдатом аммония (Mo); 3) ПОС Mo + Si; 4) ПОС Mo + инокуляция семян Ризоторфином; 5) ПОС Mo + Si + инокуляция. Фактор В – основное внесение минеральных удобрений: 1) Без удобрений (фон 0); 2) внесение удобрений (фон $N_{30}P_{30}$). Почва опытного участка лугово-чернозёмная среднегумусовая среднемощная тяжелосуглинистая, содержание подвижного фосфора среднее, обменного калия – высокое (по Чирикову), обеспеченность доступными формами молибдена – средняя, медью – низкая. Эмпирически определяли фотосинтетическую продуктивность посевов и симбиотическую способность растений сои, а также содержание белка и жира в семенах, продуктивность культуры в зависимости от изучаемых факторов.

Результаты. Установлено, что максимальная урожайность сои получена при посеве её семенами, обработанными Ризотрофином (штамм 835) и молибденом на фоне внесения $N_{30}P_{30} - 2,75$ т/га. Предпосевная обработка семян молибденом оказывает существенное влияние на фотосинтетическую продуктивность посевов (ФПП), облиственность растений увеличивалась на 30%. Интенсификация роста листовой поверхности определила продуктивность культуры, зависимость урожайности от площади и ФПП описывалось уравнением полиномиальной зависимости с тесной корреляцией признаков ($r=0,74$). Для условий южной лесостепи Западной Сибири выявлено, что максимальная предел площади листьев – 45 м^2 тыс/га, дальнейшее увеличение листовой поверхности приводило к снижению продуктивности культуры. Применение Ризоторфина, даже при наличии в почве спонтанной симбиотической микрофлоры, достаточно эффективно. Масса и количество клубеньков на корнях сои возросло на 24; 41% соответственно.

Заключение. Исследования показали, что при возделывании сои на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Омского Прииртышья наиболее эффективно посев ее обработанными семенами молибденом и Ризотрофином в сочетании с основным внесением макроудобрений.

Ключевые слова: соя; минеральные удобрения; бактериальные удобрения; молибден; медь; урожайность; качество; фотосинтетическая продуктивность посевов

Для цитирования. Воронкова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Тукмачева Е.В. Молибден и медь в системе удобрения сои // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

Original article

MOLYBDENUM AND COPPER IN THE SOYBEAN FERTILIZER SYSTEM

N.A. Voronkova, N.F. Balabanova,
V.A. Volkova, E.V. Tukmacheva

Background. In modern agriculture, the improvement of zonal technology for cultivating crops, including soybeans, taking into account new knowledge in the field of agrochemistry is of urgent importance.

Purpose. To study the effect of presowing treatment of seeds with molybdenum and copper on the yield and quality of soybean seeds.

Materials and methods. The research was carried out in 2022-2023 on the experimental field of the Laboratory of agrochemistry of the Omsk Agricultural Research Center in a long-term stationary experiment based on grain-steam crop rotation. Two-factor experience: factor A - fertilizer application options: 1) without fertilizers; 2) pre-sowing seed treatment (POS) with ammonium molybdate (Mo); 3) POS Mo + Cu; 4) POS Mo + inoculation of seeds with Rhizotorphin; 5) POS Mo + Cu + inoculation. Factor B is the main application of mineral fertilizers: 1) Without fertilizers (background 0); 2) fertilization (background $N_{30}P_{30}$). The soil of the experimental site is meadow-chernozem medium-humus medium-thick heavy loamy, the content of mobile phosphorus is average, exchangeable potassium is high (according to Chirikov), the availability of available forms of molybdenum is average, copper is low. The photosynthetic productivity of crops and the symbiotic ability of soybean plants, as well as the protein and fat content in seeds, and crop productivity were empirically determined depending on the factors studied.

Results. It was found that the maximum yield of soybeans was obtained by sowing it with seeds treated with risotrophin (strain 835) and molybdenum against the background of $N_{30}P_{30}$ application – 2.75 t/ha. Pre-sowing treatment of seeds with molybdenum has a significant effect on the photosynthetic productivity of crops (FPP), the foliage of plants increased by 30%. Intensification of leaf surface growth was determined by crop productivity, the dependence of yield on area and FPP was described by a polynomial dependence equation with a close correlation of features ($r=0.74$). For the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia, it was revealed that the maximum limit of the leaf area is 45 m² thousand/ha, further increase in the leaf surface led to a decrease in crop productivity. The use of Rhizotorphin, even in the presence of spontaneous symbiotic microflora in the soil, is quite effective. The weight and number of nodules on soybean roots increased by 24; 41%, respectively.

Conclusion. Studies have shown that when cultivating soybeans in the meadow-chernozem soil of the forest-steppe zone of the Omsk Irtysh region, sowing it with treated seeds with molybdenum and Rhizotorphin in combination with the main application of macro fertilizers is most effective.

Keywords: soybeans; mineral fertilizers; bacterial fertilizers; molybdenum; copper; yield; quality; photosynthetic productivity of crops

For citation. Voronkova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Tukmacheva E.V. Molybdenum and Copper in the Soybean Fertilizer System. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 221-242. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-982

Введение

В регионах, где земледелие развивается с высокой интенсивностью, с урожаем из почвы извлекается значительная часть микроэлементов и, в первую очередь, наиболее усвояемые формы их соединений. Кроме того, при систематическом и интенсивном использовании в качестве удобрений довольно ограниченного числа соединений, несомненно, будет изменяться метаболизм отдельных элементов в почве. Химизм превращений этих элементов может сопровождаться усилением образования слаборастворимых и мобильных соединений, активно мигрирующих по профилю почвы под влиянием складывающегося водного режима. Масштабное (около 40 млн. га) почвенное обследование пахотных почв, проведенное в конце двадцатого века в Российской Федерации показало, что площади с недостаточным (низким и средним) содержанием подвижных форм молибдена и меди составляют – 81%; меди – 49%, соответственно [9].

Многолетние наблюдения во всех зонах Омской области и учет состояния пахотных земель по реперным участкам позволили собрать и выявить информационную ситуацию о содержании микроэлементов во всех почвах региона. По результатам обследования низкое содержание отмечено на 99% площади пашни по цинку, на 70% – по кобальту, на 47% – по меди и 12% – по молибдену. На юге области, где почвенный покров представлен преимущественно черноземами обыкновенными, обеспеченность молибденом гораздо ниже, чем в почвах южной и северной лесостепи [1; 10].

Огромные площади пашни и других сельскохозяйственных угодий многих регионов страны по уровню концентрации доступных для растений форм соединений важнейших микроэлементов оцениваются как «бедные» и «очень бедные». В таких условиях баланс практически всех микроэлементов в земледелии страны складывается с большим дефицитом, что не позволяет реализовывать климатический, агроландшафтный и биологический потенциал продуктивности сельскохозяйственных культур, и соя в этом перечне не исключение [14].

Введение культуры сои в сельскохозяйственное производство решает главную задачу – это увеличение производства растительного белка. Для увеличения продуктивности необходимы меры по обеспечению её элементами питания, в том числе и микроэлементами. На вопрос о применении микроэлементов под сою с учетом содержания их в почве и потребности в них этой культуры ответ был получен рядом авторов [6; 25; 28]. Установлено, что молибден усиливает азотфиксацию, азотный обмен, поглощение растениями элементов минерального питания (фосфора, калия, марган-

ца); повышает устойчивость растений к климатическим стрессам. Медь существенно влияет на симбиотическую фиксацию молекулярного азота бобовыми культурами, на образование клубеньков на корнях растения и биохимические процессы в них, на обменные процессы (азотный, фосфорный, углеводный) растений [4; 24].

В результате многолетнего поиска ученых и практиков вариантов по оптимизации минерального питания сои получено единодушное мнение, что только при сбалансированном минеральном питании растений наиболее полно реализуется продукционный потенциал культуры, а дефицит как макро-, так и микроэлементов в почве либо сдерживает рост продуктивности культуры, либо снижает качество продукции [8; 18]. Исследования, проведенные в разных почвенно-климатических зонах РФ, свидетельствуют, что применение микроудобрений на фоне оптимальной обеспеченности растений основными элементами питания (N,P,K), обеспечивает рост урожайности [18; 25; 29], стрессоустойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды [4], резистентность к эпифитотии [2], повышение качества растениеводческой продукции [20; 25]. Важно отметить, что эффективность симбиотрофного типа питания также определяется содержанием микроэлементов в почве или их применением в качестве удобрения [6; 8; 27]. Активная нодуляция наблюдалась в опытах В.К. Храмого, Т.Д. Сихарулидзе и Е.В. Гуревой [24] при предпосевной обработке семян сои молибденом на темно-серой лесной почве Нечерноземной зоны России, а также на черноземных почвах Ставропольского края и Западной Сибири [5; 20].

Почвенно-климатические ресурсы Омской области, согласно исследованиям сибирских учёных [3; 6; 16; 12], вполне удовлетворяют требованиям произрастания растений сои, тем не менее, остаются недостаточно проработанными вопросы ее минерального питания, в том числе применение био- и микроудобрений. Поэтому разработка эффективной системы удобрений на основе применения полного комплекса удобрений (макро-, микро- и биоудобрения) и включение её в зональную технологическую карту возделывания культуры имеет неоспоримую актуальность. В этой связи **цель исследования** состояла в изучении влияния предпосевной обработки семян молибденом и медью на урожайность и качество семян сои.

Материалы и методы исследований

Поставленная цель исследования реализовывалась на опытном поле лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в 2022-2023 гг. в длительном стационарном опыте (заложен в 1987 г.) в южной лесостепи Западной

Сибири на основе зернопарового севооборота (пар чистый – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – ячмень). Объект исследования – растения сои (*Glycine max*), сорт – Сибириада. Предмет – выявление зависимости влияния применения макро-, микроудобрений (молибдена и меди) и ризоторфина (штамм 835) на продуктивность и качество семян сои.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднесиловатая, содержание гумуса 6,3-6,5% (по Тюрину), pH – 6,5 – 6,7, подвижного фосфора и обменного калия 101-120 мг/кг и 350-420 мг/кг почвы (по Чирикову), соответственно. Содержание нитратного азота в слое 0-40 см соответствовало средней обеспеченности в среднем за годы исследования. Валовое содержание молибдена в почве составляло 1,7–1,85 мг/кг почвы, подвижных форм – 0,24–0,31 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности растений доступными формами молибдена. Содержание кислоторастворимой меди в почве составляло 14,1–17,8 мг/кг, подвижной – 0,09-0,11 мг/кг и соответствовало низкой обеспеченности почвы данным элементом.

Климат Омской области характеризуется резкой континентальностью, малым количеством осадков, сухим воздухом, длинной и холодной зимой и теплым, но коротким летом. Продолжительность вегетационного периода составляет 155–165 дней. Общая фактическая температура в теплый период года составляет в среднем 1500–1700°C. Годовое количество осадков составляет 320–370 мм. Летом (при температуре выше 5°C) выпадает 160–210 мм осадков. Весной и летом осадки выпадают нерегулярно и очень неравномерно.

Изучение влияния инокуляции семян Ризоторфином и предпосевной обработки их микроудобрениями на урожайность сои проводили в полевом опыте по схеме: фактор А – варианты внесения удобрений: 1) без удобрений; 2) предпосевная обработка семян (ПОС) молибдатом аммония (Мо); 3) ПОС Мо + Cu; 4) ПОС Мо + инокуляция семян Ризоторфином; 5) ПОС Мо + Cu + инокуляция. Фактор В – основное внесение минеральных удобрений: 1) без удобрений (фон 0); 2) внесение удобрений (фон N₃₀P₃₀). Площадь делянки 2x8 м (16 м²), расположение делянок систематическое. Повторность 4x-трехкратная. В качестве молибденового удобрения применяли молибденовокислый аммоний ((NH₄)₂MoO₄), содержание действующего вещества в водорастворимой форме – 52%, в количестве 25 г на гектарную норму семян. ПОС сои медью проводилась раствором соли на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (Cu-EDTA) в расчете 150 г вещества на тонну семян (расчет дозы выполнен на элемент).

Расход рабочего раствора – 10 л/т семян. Для инокуляции использовали 300 г. биоудобрения – Ризоторфин (штамм 835) на гектарную норму высева сои, производитель ВНИИМ (г. Санкт-Петербург). Ризоторфин представляет собой препарат высокоэффективных клубеньковых бактерий из рода *Rhizobium*, выращенных на торфяном субстрате, обогащенном углеводами, минеральными веществами, витаминами и микроэлементами, для предпосевной обработки семян бобовых. Норма высева сои – 1,0 млн. шт. всхожих семян/га. Учет симбиотической активности проводили расчетом количества и массы клубеньков на корнях сои с 10 растений из четырех повторностей в фазу начала образования лопаток выполняли по методике Г.С. Посыпанова [21]. Измерение площади листьев сои проводили с использованием весового метода и вычислением ее с помощью программного обеспечения через сканирование листьев. Вычисление фотосинтетического потенциала посева (ФПП) проводилось по формуле:

$$\text{ФПП} = \frac{Л_1 + Л_2}{2} \times T,$$

где $Л_1$ – площадь листьев посева при первом определении, тыс. м²/га.

$Л_2$ – площадь листьев посева при втором определении, тыс. м²/га.

T – период между определениями или период от всходов до 1-го определения, сут.

В качестве удобрений использовали промышленные марки азот- и фосфорсодержащих удобрений, которые вносили перед посевом на глубину 6-8 см. Посев сои и учет урожайности проводили в соответствии с зональной агротехнологией в оптимальные сроки. Учет урожайности проводили прямым комбайнированием селекционным комбайном Wintersteiger. Урожайность культуры приведена к 100% чистоте и 14% влажности. Химический анализ почвенных, растительных образцов, определение белка, жира в семенах сои проведены по общепринятым методикам. Результаты, полученные в опытах и представленные в таблицах и на рисунках – усредненные данные за 2022-2023 гг., обработаны статистическими методами дисперсионного и корреляционного анализов.

Результаты исследования и их обсуждение

Формирование урожайности сои зависит от активности фотосинтетических процессов в растениях, и в целом продукционных процессов посева культуры как фотосинтезирующей системы [23]. При этом большое значение отводится ассимиляционной поверхности листьев каждого растения, которая достигает максимального значения в период цветения-образования

бобов. В наших исследованиях площадь листьев сои в указанный период в варианте без применения удобрений составила 23,7 тыс. м²/га (табл. 1).

Таблица 1.

Фотосинтетическая продуктивность сои в зависимости от применения удобрений, (среднее за 2022-2023 гг.)

Вариант	Площадь листьев, тыс. м ² /га		ФПП, тыс. м ² сут./га	
	фон 0	фон - N ₃₀ P ₃₀	фон - 0	фон - N ₃₀ P ₃₀
Контроль (без удобрений)	23,7	27,8	510	598
Mo	30,8	29,1	662	626
Cu + Mo	30,0	31,5	645	677
Mo + инокуляция	31,9	37,9	686	815
Cu + Mo + инокуляция	42,0	46,9	903	1008
НСР ₀₅ площади листьев	варианта – 3,4; фона – 3,7; частных средних – 5,7			
НСР ₀₅ ФПП	варианта – 47; фона – 45; частных средних – 62			

Примечание: * на 10 растениях

Максимальная площадь листьев сформировалась как на естественном фоне плодородия, так и на фоне внесения N₃₀P₃₀ при посеве семенами, обработанными микроэлементами (Mo и Cu), и Ризоторфином – 42,0; 46,9 тыс. м²/га, что превышало контрольный вариант на 77%; 81%, соответственно. Действие предпосевной обработки семян на ассимиляционную поверхность сои различалось по фонам удобренности. При рассмотрении влияния каждого удобрения по отдельности (Mo, Cu, инокуляция) на формирование листовой поверхности сои, следует отметить, что предпосевная обработка семян молибдатом аммония увеличивала площадь листьев культуры на 7,1 тыс. м²/га (или 30,%). Добавление меди существенно не увеличило площадь листьев культуры, тоже самое можно сказать и про инокуляцию. Она в варианте Mo + инокуляция составила – 31,9 тыс. м²/га. Только при совместном применении микроэлементов и инокуляции облиственность растений сои была максимальной. На минеральном фоне (N₃₀P₃₀), при добавлении каждого удобрения просматривалась другая реакция растения, то есть положительный эффект возрастал. Если предпосевная обработка молибденом увеличила ассимиляционную поверхность на 5%, то при добавлении меди к молибдену она увеличилась на 13%, при добавлении к молибдену инокуляции – на 36%. Наибольшая площадь листьев у сои была (также как и на неудобренном фоне) в варианте Cu + Mo + инокуляция – 46,9 тыс. м² сут./га.

Исследовательский интерес к фотосинтетическим показателям, установлению зависимостей влияния агрохимических приемов на продуктивность культуры проявляли многие ученые [5, 13, 22, 24]. В полевых опытах Синеговской В.М. [22] установлено, что размеры ассимиляционной поверхности листьев сои напрямую связаны с продуктивностью посевов. С уменьшением, или увеличением числа листьев в прямой зависимости изменялось число бобов, а, следовательно, урожай семян [5].

Аналогичная закономерность прослеживалась и в наших опытах: зависимость продуктивности сои описывалась полиномиальным уравнением с тесной корреляцией признаков ($r=0,74$) (рис. 1).

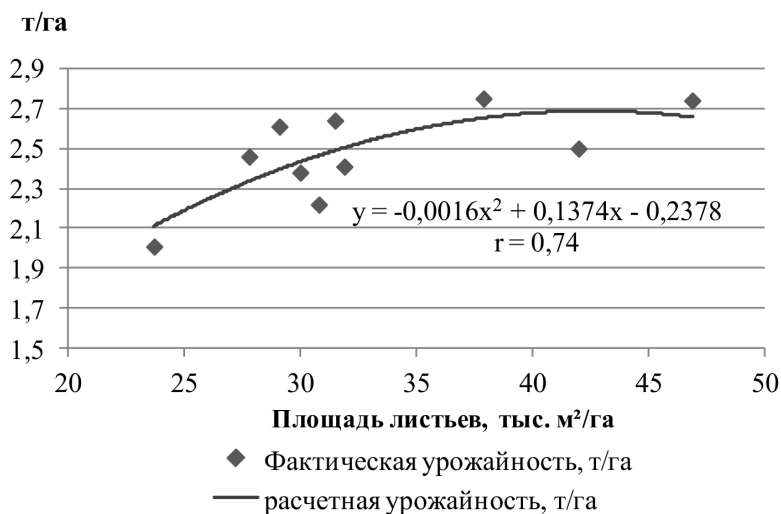


Рис. 1. Зависимость урожайности сои (Y, т/га) от площади листьев (X, тыс. м²/га)

Согласно графика существует определенный максимум площади листьев, определяющий рост урожайности, в нашем случае – это не более 45 тыс. м²/га, а вот увеличение площади сверх этого предела может стогнировать продуктивность культуры.

Формирование урожая зависит не только от величины площади листа, но и времени её функционирования. К началу фазы активного бобообразования фотосинтетический потенциал варьировал от 510 до 903 тыс. м² сут./га на удобренном фоне и от 598 до 1008 тыс. м² сут./га на удобренном фоне ($N_{30}P_{30}$). При основном внесении удобрений фотосинтетическая

производительность посевов (ФПП) сои возросла на 17% (или на 88 м² сут./га). Если учесть, что ФПП – это расчетная величина, при нахождении которой учитывается площадь листьев, рассмотренные ранее зависимости повторялись, что подтверждается аналогичным графиком (рис 2).

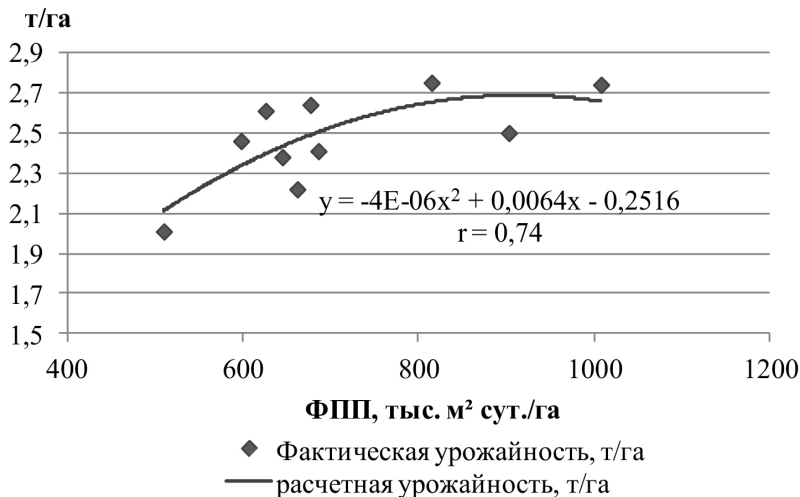


Рис. 2. Зависимость урожайности сои (Y, т/га) от ФПП (X тыс. м² сут./га)

Теоретически и экспериментально доказано, что для формирования урожая и становления симбиотической системы, роста и жизнедеятельности азотфиксирующих бактерий, используется один и тот же источник энергии – продукты фотосинтеза [19; 26; 31]. В.Л. Кретович [11] отмечал, что способность клубеньковых бактерий фиксировать молекулярный азот воздуха в большей степени зависит от интенсивности фотосинтеза. С точки зрения биохимических процессов углеводы – это энергетический субстрат, поступающий из листьев в клубеньки, необходимый для перевода $N_2 \rightarrow NH_3$, образование которых является одним из главных факторов, определяющих процесс азотфиксации у бобовых. В наших исследованиях зависимость азотфиксации (по массе клубеньков, г) от площади листьев описывалась линейным уравнением с высокой корреляцией признаков (рис. 3).

Определение симбиотической активности растений сои в контрольном варианте показало, что при выращивании её на полях, где ранее она высевалась инокулированными семенами, на корнях наблюдались колонии клубеньковых бактерий. Ранее проведённые исследования [7] свиде-

тельствуют о том, что данной аборигенной микрофлоры в региональных почвах нет. Важно отметить, что клубеньковые бактерии, ранее занесенные в почву, при суровых условиях зимнего периода Западносибирского региона, а также контрастных весенних и осенних, проявляют активную нодуляцию растений сои сортов сибирской селекции.



Рис. 3. Зависимость массы клубеньков сои (Y, г) от площади листьев (X, тыс. м²/га)

Одним из важных показателей активности азотфиксации является масса жизнеспособных клубеньков на корнях сои, что в значительной степени зависит от условий минерального питания [6; 30]. В неудобренном варианте на корнях насчитывалось 370 клубеньков с 10 растений, массой 3,7 г, а в других вариантах опыта симбиотическая активность культуры определялась видом удобрения и комплексным их применением (табл. 2).

При внесении удобрений ($N_{30}P_{30}$) наблюдалось увеличение и массы клубеньков, и их числа в сравнении с контрольным вариантом. Применение этой дозы удобрений экспериментально обоснованно [6], т.к. при симбиотическом типе азотного питания при внесении стартовой дозы азота N_{30} устраняется недостаток этого элемента в начальный период роста и развития до начала активной азотфиксации.

Механизм негативного влияния азота на симбиоз в зависимости от его дозы и формы изучен недостаточно. Л.Е. Макарова с соавторами [15] предполагают, что минеральный азот может влиять на экссудацию фенольных

соединений, вызывающих экспрессию под-генов у клубеньковых бактерий, способствующих их размножению в ризосфере. Так в опытах Н.Б. Митановой и её коллег [17] азотные удобрения не оказывали негативного влияния на рост свободноживущих бактерий, на их адгезию и проникновение в ткани корня бобового растения. Отрицательный эффект азотных удобрений на формирование бобово-ризобияльного симбиоза согласно их исследованиям связан с биохимическими превращениями минерального азота в клетках растения, в частности, с образованием оксида азота – NO, вызывающего токсический эффект как на ризобии, так и растение.

Таблица 2.

**Влияние удобрений на симбиотическую активность сои,
(среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Количество клубеньков, шт.		Сырая масса клубеньков, г	
	фон - 0	фон - N ₃₀ P ₃₀	фон - 0	фон - N ₃₀ P ₃₀
Контроль (без удобрений)	370	450	3,7	5,1
Mo	395	450	4,3	4,2
Cu + Mo	445	327	4,4	3,4
Mo + инокуляция	410	560	4,7	7,2
Cu + Mo + инокуляция	263	500	5,0	7,0
НСП ₀₅ количество клубеньков	варианта – 52 ; фона – 57; частных средних – 70			
НСП ₀₅ сырая масса клубеньков	варианта – 1,5; фона – 1,7; частных средних – 2,7			

*Примечание: *масса и количество клубеньков на 10 растениях*

Роль фосфора в процессе азотфиксации одна из основных: фосфорное удобрение стимулирует рост корневой системы, в частности корневых волосков, через которые проникают бактерии из почвы [6].

Важная роль молибдена для растений, особенно для бобовых культур, – объективно доказанный факт. Молибден повышает эффект симбиоза, увеличивая активность клубеньковых бактерий. При отсутствии молибдена в почве ризобии не проникают в корни бобового растения даже при искусственном их внесении. В нашем опыте при предпосевной обработке семян молибдатом аммония количество клубеньков (450 шт.) не изменилось в сравнении с фоновым вариантом (N₃₀P₃₀), а вот масса их уменьшилась на 18%. Специфическое проявление действия молибдена на массу клубеньков на корнях сои также отмечала Е.В. Переверзева [20]: при предпосевной обработке семян молибдатом аммония в дозе 50 г на гектарную норму семян в 1,1-2,4 раза снижалась масса активных клубеньков без существенных

изменений семенной продуктивности культуры. Несмотря на наличие в почве спонтанных форм клубеньковых бактерий эффективность инокуляции семян активным штаммом 835 была достаточно высокой только на удобренном фоне. Масса и количество клубеньков в этом варианте (Мо + инокуляция) увеличились на 24 и 41%, соответственно.

Эмпирически установлено, что использование меди не оказывало существенного влияния на симбиотический аппарат сои на удобренном фоне, максимальное число клубеньков и масса их получены в варианте Мо + инокуляция. На естественном фоне действие Си проявилось на морфологии нодуляции: количество клубеньков в варианте Си + Мо + инокуляция снизилось на 29%, а масса их возросла на 35%.

Бинарное сочетание (Мо + инокуляция), а также триада действия удобрений (Си + Мо + инокуляция) в ПОС положительно отразилась не только на симбиотической активности растений сои, но и продуктивности культуры.

Анализ семенной продуктивности сои показал, что без удобрений можно получить 2,01 т семян (табл. 3).

Таблица 3.

**Влияние удобрений на урожайность сои, т/га семян,
(среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Фон - 0		Фон - $N_{30}P_{30}$	
	урожайность	прибавка	урожайность	прибавка
Контроль (без удобрений)	2,01	-	2,46	-
Мо	2,22	0,21	2,61	0,15
Си + Мо	2,38	0,37	2,64	0,18
Мо + инокуляция	2,41	0,40	2,75	0,29
Си + Мо + инокуляция	2,50	0,49	2,74	0,28
НСР ₀₅ фактора А – 0,17; НСР ₀₅ фактора В – 0,18; НСР ₀₅ частных средних – 0,20				

Следует отметить, что применение минеральных удобрений ($N_{30}P_{30}$) оказало существенное влияние на урожайность сои, прибавка составила 0,45 т/га, что на 22% выше в сравнении с контрольным вариантом. При анализе каждого по отдельности удобрения нами установлено, что применение медного удобрения неэффективно, прибавка урожайности не превысила значение наименьшей существенной разницы (НСР₀₅ = 0,20 т/га семян). Действие ПОС молибденом проявилось на обоих фонах удобренности, наилучший результат получен при совместном применении молибдатом аммония с инокуляцией семян Ризоторфином, получена при-

бавка 0,40; 0,74 т/га семян соответственно на фонах контрольном и удобрённом.

Резюмируя эффективность применяемых удобрений, следует сказать, что для повышения урожайности сои на лугово-черноземной почве лесостепной зоны Омского Прииртышья целесообразно использовать молибденовые микроудобрения для предпосевной обработки, бактеризацию семян Ризоторфином на фоне внесения азотно-фосфорных удобрений ($N_{30}P_{30}$) (по результатам почвенной диагностики).

Содержание белка в семенах сои во всех вариантах опыта было высоким 39,9-42,5% (табл. 4).

Таблица 4.

**Влияние удобрений на содержание белка и жира в семенах сои, %
абс. ед., (среднее за 2022-2023 гг.)**

Вариант	Содержание белка		Содержание жира	
	фон - 0	фон - $N_{30}P_{30}$	фон - 0	фон - $N_{30}P_{30}$
Контроль (без удобрений)	39,9	40,3	18,7	18,8
Mo	42,2	41,8	19,6	19,2
Cu + Mo	40,9	41,5	19,0	19,0
Mo + инокуляция	40,4	40,7	18,8	18,7
Cu + Mo + инокуляция	40,4	42,5	18,9	19,0
HCP ₀₅ содержание белка	варианта –1,2; фона – 1,4; частных средних – 1,6			
HCP ₀₅ содержание жира	Fφ<Fт			

При внесении азотно-фосфорных удобрений под сою наблюдалась тенденция увеличения белковости семян (на 1,4% абс. ед.). Существенно (на 2,3% абс. ед.) возросло содержание белка в семенах сои в варианте предпосевной обработки молибдатом аммония, добавление инокуляции снизило уровень белковости семян до уровня 40,4-40,7%, вероятно, за счет эффекта разбавления. А применение меди для предпосевной обработки в сочетании с Mo ингибировало синтез белка, отчетливо это проявилось на неудобрённом фоне. Содержание белка в варианте (Mo + Cu) снизилось на 1,3 % абс. ед. в сравнении с вариантом ПОС молибденом. Следует отметить, что внесение макроэлементов (NP) нивелировало это негативное проявление меди.

Содержание жира в семенах сои по вариантам опыта изменялось в узких пределах от 18,7 до 19,6% без существенных закономерностей от изучаемых факторов.

Заключение

1. Фотосинтетическая продуктивность посевов сои при возделывании ее на лугово-черноземной почве в южной лесостепной зоне Западной Сибири возрастала на 79% при комплексном применении микро-, макроудобрений и Ризоторфина. Установлено, что наибольшее влияние на ассимиляционную поверхность оказывает ПОС молибдатом аммония, облиственность увеличилась на 30%. Активизация ростовых процессов определила уровень урожайности культуры. Зависимости урожайности культуры от площади листьев, ФПП описывались уравнениями полиномиальной зависимости с тесной корреляцией признаков ($r=0,74$).

2. Симбиотическая активность сои проявлялась во всех вариантах опыта. Наибольшее стимулирующее влияние на симбиоз культуры и бактерий оказало улучшение условий минерального питания ($N_{30}P_{30}$) в сочетании с предпосевной обработкой молибдатом аммония и искусственным заражением симбиотической микрофлорой. Количество клубеньков на корнях возрастало на 24%, а их масса – на 41%. Положительное действие ПОС Си на симбиотическую активность сои как отдельно, так и в сочетании с Мо и инокуляцией не установлено.

3. Улучшение условий минерального питания за счет внесения азотно-фосфорных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ обеспечило повышение урожайности культуры на 22%. Эффективна была ПОС молибдатом аммония в сочетании с инокуляцией семян Ризоторфином, прибавка составила – 0,40 т/га, на минеральном фоне ($N_{30}P_{30}$) в этом же варианте она возрастала почти в два раза.

4. Содержание белка в семенах сои существенно увеличивалось на 2,3% абс. ед. при ПОС молибдатом аммония, и добавление других удобрений к увеличению белковости семян не привело.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания НИР ФГБНУ «Омский АНЦ» №FNUN-2022-0015 «Создание адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе регулирования агрофизических, химических и биологических свойств почвы, фитосанитарного состояния агроценозов, управления потоками биогенных элементов в агроэкосистемах Западной Сибири».

Список литературы

1. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: монография. Омск: Издательство «Вариант-Омск», 2013. 232 с.
2. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Центр. науч.-исслед. ин-т агрохим. обслуживания сел хоз-ва. Москва: ЦИНАО, 2000. 522 с.
3. Асанов А.М., Омелянюк Л.В., Бойко В.С., Тимохин А.Ю. Отзывчивость сортов сои на орошение в степи Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2022. № 7. С. 52–61.
4. Анспок П.И. Микроудобрения. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. 272 с.
5. Васильчиков А.Г. Акулов А.С., А.В. Глазков. Продукционная и азотфиксирующая способность различных сортов сои в Орловской области // Земледелие. 2015. № 4. С. 7-10.
6. Воронкова Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография. Омск, 2014. 188 с.
7. Воронкова Н.А., Храмцов И.Ф., Хамова О.Ф. К вопросу об оценке почвенно-микробиологических условий минерального питания сои // Сельскохозяйственная биология. 2002. Т. 37. № 5. С. 52–56.
8. Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка, качество продукции зерновых и зернобобовых культур / А.Н. Аристархов [и др.] // Агрохимия. 2010. № 9. С. 36-49.
9. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Рос. акад. наук Сиб. отд-ние. Ин-т почвоведения и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 226 с.
10. Красницкий В.М., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Омской области // Плодородие. 2018. № 5. С. 42-46.
11. Кретович В.Л. Усвоение и метаболизм азота у растений. М.: Наука. 1987. 485 с.
12. Кузнецова Г.Н., Лошкомойников И.А., Кривошлыков К.М. Экономическая эффективность возделывания масличных культур в Омской области // Масличные культуры. 2021. № 3. С. 53–57.
13. Котлярова Е. Г. Грицина В. Г. Фотосинтетическая деятельность сортов сои в зависимости от уровня удобренности // Аграрный научный журнал. 2021. № 2. С. 25-32.

14. Лукин С. В., Хижняк Р. М. Экологическая оценка запасов цинка, меди и молибдена в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземной области // *Агрохимия*. 2015. № 8. С. 64-72.
15. Макарова Л.Е., Латышева С.Е., Путилина Т.Е. Влияние фенольных соединений, выделяемых в темноте корнями гороха, на размножение *Rhizobium* // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2007. Т. 43. № 3. С. 479–485.
16. Мерзляков Л.И., Вольнюк А.Д. Результаты выращивания сои в Тюменской области // *Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2017. № 2. С. 78–82.
17. Митанова Н.Б., Глянько А.К., Васильева Г.Г. Влияние азотных соединений на адгезию и проникновение клубеньковых бактерий в ткани корней и рост этиолированных проростков гороха // *Агрохимия*. 2006. №10. С. 52–55.
18. Митрохина О.А. Содержание микроэлементов в почвах ЦЧР и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимический вестник*. 2021. № 5. С. 40-45.
19. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор) // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 1. С. 60-67.
20. Переверзева Е.В. Эффективность инокуляции сои применения цинка и молибдена на предкавказских черноземах: автореферат на соискание ученой степ. канд. с.-х. наук: 06.01.09 – растениеводство. Ставрополь, 2000. 21 с.
21. Посыпанов Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. 268 с.
22. Синеговская В. Т. Посевы сои в Приамурье как фотосинтезирующие системы: монография. Всероссийский НИИ сои. Благовещенск: Государственное производственно-коммерческое издательство «Зея», 2005. 120 с.
23. Тильба В.А., Тишков Н.М. Биология сои: возможности оптимизации отдельных продукционных процессов // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2016. Вып. 3. С. 78–87.
24. Храмой В.К., Сихарулидзе Т.Д., Гуреева Е.В. Влияние минеральных удобрений на формирование симбиотического аппарата и усвоение азота воздуха соей в условиях центрального района Нечернозёмной зоны РФ // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2016. № 3. С. 48-52.
25. Эффективность применения микроудобрений под сою / С.Ф. Спицына [и др.] // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 2017. № 4. С. 43-47.

26. Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment // Giri B., Prasad R., Wu Q.S., Varma A. (eds). Springer, 2019. 544 p.
27. Chu H., Lin X., Fujii T., et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management // *Soil Biology & Biochemistry*. 2007. Vol. 39. P. 2971-2976. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>
28. Current Status of the Soybean Industry and Research in the Russian Federation / M. Sinegovskii, Sh. Yuan, V. Sinegovskaya, T. Han // *Soybean Science and Technology*. 2018. Vol. 37, No. 1. P. 1-7. <https://www.researchgate.net/publication/324861550>
29. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N. N. Shuliko, O. F. Khamova, A. Yu. Timokhin [et al.] // *Scientific Reports*. 2022. Vol. 12, No. 1. P. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
30. Jesus E.C., Leite R.A., Bastos R.A., Aragao O.O.S., Araujo P.A. Coinoculation of Bradyrhizobium stimulates the symbiosis efficiency of Rhizobium with common bean // *Plant Soil*. 2018. Vol. 425. P. 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3541-1>
31. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max* L.) cultivation // *Applied ecology and environmental research*. 2019. Vol. 17 (5). P. 12649-12666. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1264912666

References

1. Azarenko Yu.A. *Patterns of content, distribution, relationships of microelements in the soil-plant system in the conditions of the south of Western Siberia: monograph*. Omsk: Variant-Omsk Publ., 2013, 232 p.
2. Aristarkhov A.N. *Optimization of plant nutrition and fertilizer use in agroecosystems*. Moscow state University named after M. V. Lomonosov, Center. scientific research Institute of Agrochem. servicing village households. Moscow: TsINAo, 2000, 522 p.
3. Asanov A.M., Omelyanyuk L.V., Boyko V.S., Timokhin A. Yu. Responsiveness of soybean varieties to irrigation in the steppe of Western Siberia. *Bulletin of KrasGAU*, 2022, no. 7, pp. 52–61.
4. Askok P.I. *Microfertilizers*. L.: Agropromizdat, 1990, 272 p.
5. Vasilchikov A.G. Akulov A.S., A.V. Glazkov. Production and nitrogen-fixing ability of various soybean varieties in the Oryol region. *Agriculture*, 2015, no. 4, pp. 7-10.

6. Voronkova N.A. *Biological resources and their importance in preserving soil fertility and increasing the productivity of agroecosystems in Western Siberia: monograph*. Omsk, 2014, 188 p.
7. Voronkova N.A., Khramtsov I.F., Khamova O.F. On the issue of assessing soil-microbiological conditions of mineral nutrition of soybean. *Agricultural biology*, 2002, vol. 37, no. 5, pp. 52–56.
8. The effect of microfertilizers on yield, protein collection, product quality of grain and leguminous crops / A.N. Aristarkhov [et al.]. *Agrochemistry*, 2010, no. 9, pp. 36–49.
9. Ilyin V.B., Syso A.I. *Microelements and heavy metals in soils and plants of the Novosibirsk region*. Ross. acad. Sciences Sib. department Institute of Soil Science and Agrochemistry. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2001, 226 p.
10. Krasnitsky V.M., Shmidt A.G., Matveychik O.A. Agroecological characteristics of arable soils in the Omsk region. *Fertility*, 2018, no. 5, pp. 42–46.
11. Kretovich V.L. *Assimilation and metabolism of nitrogen in plants*. M.: Science, 1987, 485 p.
12. Kuznetsova G.N., Loshkomoinikov I.A., Krivosheynov K.M. Economic efficiency of cultivating oilseeds in the Omsk region. *Oilseed crops*, 2021, no. 3, pp. 53–57.
13. Kotlyarova E. G. Gritsina V. G. Photosynthetic activity of soybean varieties depending on the level of fertilizer. *Agrarian scientific journal*, 2021, no. 2, pp. 25–32.
14. Lukin S.V., Khizhnyak R.M. Ecological assessment of zinc, copper and molybdenum reserves in agroecosystems of the forest-steppe of the Central Black Earth Region. *Agrochemistry*, 2015, no. 8, pp. 64–72.
15. Makarova L.E., Latysheva S.E., Putilina T.E. The influence of phenolic compounds released in the dark by pea roots on the reproduction of Rhizobium. *Applied biochemistry and microbiology*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 479–485.
16. Merzlyakov L.I., Volnyuk A.D. Results of soybean cultivation in the Tyumen region. *Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals*, 2017, no. 2, pp. 78–82.
17. Mitanova N.B., Glyanko A.K., Vasilyeva G.G. The influence of nitrogen compounds on the adhesion and penetration of nodule bacteria into root tissue and the growth of etiolated pea seedlings. *Agrochemistry*, 2006, no. 10, pp. 52–55.
18. Mitrokhina O.A. The content of microelements in the soils of the Central Chernobyl Region and their influence on the yield of agricultural crops. *Agrochemical Bulletin*, 2021, no. 5, pp. 40–45.
19. Novikova N.E. Physiological justification for foliar feeding to optimize the nutrition of grain legumes in plant ontogenesis (review). *Zernoobob. and cereals culture*, 2018, no. 1, pp. 60–67.

20. Pereverzeva E.V. *Efficiency of soybean inoculation and application of zinc and molybdenum on Cis-Caucasian chernozems: abstract of thesis. for an academic degree.* Ph.D. agricultural Sciences: 06.01.09 – plant growing. Stavropol, 2000, 21 p.
21. Posypanov G.S. *Methods for studying the biological fixation of air nitrogen.* M.: Agropromizdat, 1991, 268 p.
22. Sinegovskaya V. T. *Soybean crops in the Amur region as photosynthetic systems: monograph.* All-Russian Soybean Research Institute. Blagoveshchensk: Zeya Publ., 2005, 120 p.
23. Tilba V.A., Tishkov N.M. Biology of soybeans: possibilities for optimizing individual production processes. *Oilseed crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*, 2016, issue 3, pp. 78–87.
24. Khramov V.K., Sikharulidze T.D., Gureeva E.V. The influence of mineral fertilizers on the formation of the symbiotic apparatus and the absorption of air nitrogen by soybeans in the conditions of the central region of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Oilseed crops. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*, 2016, no. 3, pp. 48-52.
25. Efficiency of using microfertilizers for soybeans / S.F. Spitsyna et al. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, 2017, no. 4, pp. 43-47.
26. *Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment* / Giri B., Prasad R., Wu Q.S., Varma A. (eds). Springer, 2019, 544 p.
27. Chu H., Lin X., Fujii T., et al. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry*, 2007, vol. 39, pp. 2971-2976. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.05.031>
28. Current Status of the Soybean Industry and Research in the Russian Federation / M. Sinegovskii, Sh. Yuan, V. Sinegovskaya, T. Han. *Soybean Science and Technology*, 2018, vol. 37, no. 1, pp. 1-7. <https://www.researchgate.net/publication/324861550>
29. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N. N. Shuliko, O. F. Khamova, A. Yu. Timokhin, et al. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
30. Jesus E.C., Leite R.A., Bastos R.A., Aragao O.O.S., Araujo P.A. Coinoculation of Bradyrhizobium stimulates the symbiosis efficiency of Rhizobium with common bean. *Plant Soil*, 2018, vol. 425, pp. 201-215. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3541-1>
31. Niewiadomska A., Sulewska H., Wolna-Maruwka A., Ratajczak K., Waraczewska Z., Budka A. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on the

process of biological nitrogen fixation and the level of soil biochemical activity in soybean (*Glycine max* L.) cultivation. *Applied ecology and environmental research*, 2019, vol. 17 (5), pp. 12649-12666. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1264912666

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Воронкова Наталья Артемовна, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

voronkova.67@bk.ru

Балабанова Наталья Фёдоровна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

natascha.balabanowa@mail.ru

Волкова Виктория Андреевна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

volkovava1989@yandex.ru

Тукмачева Елена Васильевна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»

пр. Королёва, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

res81@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalia A. Voronkova, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

voronkova.67@bk.ru

SPIN-code: 7745-7881

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4797-9765>

Scopus Author ID: 57190973967

Natalia F. Balabanova, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

natascha.balabanowa@mail.ru

SPIN-code: 1213-6542

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1445-2203>

Viktoria A. Volkova, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

volkovava1989@yandex.ru

SPIN-code: 7243-4843

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3798-1116>

Elena V. Tukmacheva, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Korolev Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

res81@mail.ru

SPIN-code: 1881-1679

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 05.04.2024

Принята 20.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 05.04.2024

Accepted 20.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293

УДК 579.2:633.174:631.8



Научная статья

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ ПОД *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.) MILLSP. & CHASE ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Н.Н. Шулико, А.Ю. Тимохин,
Е.В. Тукмачева, В.С. Бойко*

В настоящем исследовании (2020-2022) изучали воздействие минеральных удобрений на активность микробного пула и энзиматическую активность лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), а также продуктивность культуры. Эксперимент проводили в длительном стационарном опыте лаборатории полевого кормопроизводства Омского аграрного научного центра. Показано, что в результате систематического применения минеральных удобрений биологическое состояние лугово-черноземной почвы остается благоприятным по ряду микробиологических показателей, также отмечено повышение урожайности культуры от изучаемых агроприемов. Максимальную численность популяции микроорганизмов наблюдали при комплексном внесении удобрений, увеличение по отношению к неудобренному варианту составило 39%. Количество сапротрофных бактерий возросло до $39,1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы ($30,0 \times 10^6$ КОЕ/г на контроле), амилотических микроорганизмов, в т.ч. актиномицетов – до $30,4 \times 10^6$ КОЕ/г ($19,8 \times 10^6$ КОЕ/г на контроле), целлюлозоразрушающих – до $97,0 \times 10^3$ КОЕ/г ($66,6 \times 10^3$ КОЕ/г на контроле). Установлено, что микробиологические процессы в почве протекали более интенсивно на удобренном ($N_{60}P_{60}$) фоне, увеличение коэффициента Пм составило 15% к контролю. Определение энзиматической активности лугово-черноземной почвы в зависимости от применения изучаемого агроприема выявило усиление ферментативных процессов образования инвертазы и уреазы (до 6%), ингибирование каталазы (снижение до 34%) в результате подкисления почвы анионами минеральных удобрений. Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений обеспечивало

сбор 22,7 т/га биомассы, 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина, 69,9 ГДж/га обменной энергии сорго-суданкового гибрида.

Ключевые слова: сорго-суданковый гибрид; минеральные удобрения; почвенный микробиоценоз; ферментативная активность; урожайность; переваримый протеин; обменная энергия

Для цитирования. Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В., Бойко В.С. Оценка биологической активности почвы под *Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase при применении минеральных удобрений // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 243-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293

Original article

A SSESSMENT OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOIL UNDER *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.) MILLSP. & CHASE WHEN APPLYING MINERAL FERTILIZERS

**N.N. Shuliko, A.Yu. Timokhin,
E.V. Tukmacheva, V.S. Boyko**

*In this study (2020-2022), the effect of mineral fertilizers on the activity of the microbial pool and the enzymatic activity of meadow-chernozem soil under the sowing of sorghum-sudank hybrid (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase), as well as the productivity of the culture. The experiment was carried out in a long-term stationary experiment of the laboratory of field feed production of the Omsk Agrarian Scientific Center. The highest population of microorganisms was observed with complex fertilization, an increase in relation to the non-maneuverable variant was 39%. The number of saprotrophic bacteria increased to $39,1 \times 10^6$ CFU/g of soil ($30,0 \times 10^6$ CFU/g at the control), amylolytic microorganisms, including actinomycetes – up to $30,4 \times 10^6$ CFU/g ($19,8 \times 10^6$ CFU/g at the control), cellulose-destroying - up to $97,0 \times 10^3$ CFU/g ($66,6 \times 10^3$ CFU/g under control). It was found that microbiological processes in the soil proceeded more intensively on a fertilized ($N_{60}P_{60}$) background, the increase in the Pm coefficient was 15% compared to the control. The determination of the enzymatic activity of meadow-chernozem soil, depending on the application of the studied agricultural method, revealed an increase in the enzymatic processes of invertase and urease formation (up to 6%), inhibition of catalase (decrease to 34%)*

as a result of acidification of the soil by anions of mineral fertilizers. The improvement of the nutrient regime of the soil due to the integrated use of mineral fertilizers ensured the collection of 22,67 t/ha of green mass, 6,32 t/ha of feed units, 0,75 t/ha of digestible protein, 69,87 gj/ha of metabolic energy.

Keywords: *sorghum-sudank hybrid; mineral fertilizers; soil microbiocenosis; enzymatic activity; yield; digestible protein; metabolic energy*

For citation. *Shuliko N.N., Timokhin A.Yu., Tukmacheva E.V., Boyko V.S. Assessment of the Biological Activity of the Soil Under Sorghum x drummondii (Steud.) Millsp. & Chase when Applying Mineral Fertilizers. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 243-261. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1293*

Введение

С появлением высокоурожайных сортов и гибридов сорговых культур площади их возделывания значительно возросли. Интенсивный вынос питательных веществ из почвы высокоурожайными сортами и гибридами обуславливает необходимость изучения устойчивости современных систем интенсивного земледелия, основанных на применении умеренных доз удобрений и возделывании высокопродуктивных культур [6].

Сохранение уровня плодородия почвы является необходимым условием для обеспечения высокой продуктивности и устойчивости агроландшафтов [21]. Почва содержит динамичную популяцию микроорганизмов, играющих важную роль в разложении органического вещества и трансформации питательных веществ. Микробная биомасса, представляющая собой общую массу бактерий, грибов, актиномицетов, водорослей и простейших, присутствующих в почве, служит временным поглотителем питательных веществ, включая азот. Доступность его растениям, в результате трансформации в почве, в основном зависит от популяции микроорганизмов, на которую влияет внесение удобрений. На микробную популяцию приходится всего 1–3% органического углерода почвы, но через нее проходит весь органический материал, попадающий в почву [19].

Внесение удобрений – единственный способ повысить эффективное плодородие почвы. Часть питательных веществ усваивается микроорганизмами и включается в микробную биомассу. Микроорганизмы регулируют поступление питательных веществ в почву, усваивая их и пополняя почвенную биомассу [22].

Микробиологические (в том числе биохимические) показатели состояния плодородия почвы в более короткие сроки реагируют на смещение

её равновесного состояния, чем, например, физические и химические. В этой связи, активность почвенных энзимов является биологическим индикатором почвенного плодородия. Активность ферментов также зависит от агрономических методов, таких как применение удобрений, пестицидов, возделываемых культур [23; 24]. Поскольку все биохимические преобразования в почве зависят от ферментов или связаны с ними, изучение их активности даёт представление о биохимических процессах, а также может отражать различия в динамике развития микроорганизмов и их популяции.

Таким образом, одним из наиболее существенных показателей биологической активности почвы является её энзиматическая активность, изучение которой может дать объективное представление о процессах, протекающих в почве.

Цель исследований – установить изменение микробиологических и биохимических свойств почвы стационарного опыта при длительном агрогенном воздействии, определить урожайность сорго-суданкового гибрида в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы

Исследования осуществляли на базе стационарного опыта ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омская область, Омский район) в условиях лесостепи Омского Прииртышья в 2020–2022 гг.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: фосфорное удобрение (фактор А) – без удобрений (P_0), основное (P_{60}); азотное удобрение (фактор В) – без удобрений (N_0), основное (N_{30}), основное (N_{60}); фоны с различной обеспеченностью фосфором (по Чирикову) (фактор С): 0 – средняя (≤ 100 мг/кг), 1 – повышенная (100–150 мг/кг). Данная система позволяет смоделировать различные условия азотно-фосфорного питания, по сравнению с контролем (без удобрений). Биологическая активность почвы определялась в наиболее контрастных вариантах опыта (контроль и $N_{60}P_{60}$), продуктивность – в соответствии со схемой трехфакторного опыта. Для создания фона удобренности $N_{60}P_{60}$ использовали селитру аммиачную (марка: Б, производитель КАО «Азот», Россия, д.в. N – 34,4%) и аммофос (производитель Балаковский филиал АО «Апатит», Россия, д.в. P – 52,0%, N – 12,0%). Азотные и фосфорные удобрения вносятся в соответствующих вариантах до посева сеялкой СЗ-3,6. Размещение делянок систематическое. Площадь экспериментальных делянок 360 м² (18х20). Повторность – трёхкратная. Высевали сорго-суданковый гибрид – ССГ (*Sorghum x drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase) сорт *Навигатор* (оригинатор ФГБНУ «Северо-Кав-

казский ФНАЦ») [11]. Почва участка – лугово-черноземная, тяжелосуглинистая, среднemocная, среднecумная. Исходная обеспеченность почвы подвижным фосфором средняя и калием высокая (по Чирикову), содержание нитратного азота преимущественно низкое [1].

Способ посева в опытах – рядовой (междурядья – 15 см), норма высева – 1,0 млн. всхожих зерен на га, глубина посева – 5 см. Посев проводили сеялкой СЗП–3,6.

Пробы почвы для микробиологических и биохимических исследований отбирали в стерильные пергаментные пакеты 3 раза в течение вегетации растений сорго-суданкового гибрида (кущение, выметывание, молочная спелость), из 4 уколов буром (смешанный образец) на глубину 0-20 см. Учет численности микроорганизмов проводили на селективных питательных средах согласно общепринятым методикам [12]. Для определения интенсивности и направленности почвенных процессов использовали коэффициент минерализации (КАА/МПА), коэффициент иммобилизации (МПА/КАА), коэффициент трансформации органического вещества Пм ((МПА+КАА)*МПА/КАА) [7]. Анализ ферментативной активности почвы проводили в воздушно-сухих образцах: инвертазы по Куревичу, уреазы по Гофману, каталазы – газометрически [14].

Статистическую обработку полученных результатов осуществляли в программах Microsoft Excel, Statistica 10.0. Долю влияния факторов оценивали при $p \leq 0,05$ согласно дисперсионному анализу [2]. За факторы при выращивании сорго-суданкового гибрида принимали: год исследования и внесение минеральных удобрений.

Вегетационные периоды 2020 и 2021 гг. были засушливыми, с дефицитом осадков, ГТК за май–август составлял соответственно 0,60 и 0,70. Сложившийся высокий температурный режим и недостаточное увлажнение почвы негативно отразились на численности почвенных микроорганизмов, интенсивности микробиологических процессов. Погодные условия вегетационного периода 2022 г. были недостаточно увлажненными, ГТК=0,76. Дефицит атмосферных осадков на фоне экстремально высоких температур воздуха в течение вегетации ускорил развитие и созревание растений сорго-суданкового гибрида.

Результаты и обсуждение

Минеральные удобрения оказывали положительное воздействие на количество, активность и разнообразие почвенной микрофлоры за счет увеличения продуктивности системы, возврата растительных остатков и

содержания органического вещества в почве. Так, в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида сапротрофные бактерии, разлагающие органические азотсодержащие соединения и амилотитические микроорганизмы, потребляющие азот в минеральной форме, имели схожую тенденцию в развитии при применении удобрений, увеличение этих групп на фоне ($N_{60}P_{60}$) по отношению к контролю составляло 30 и 54% соответственно. Вариация численности аммонифицирующих бактерий в годы исследований была незначительной (коэффициент вариации, $V\%$ составляет 16–20%) (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние длительного применения удобрений на количество микроорганизмов в лугово-черноземной почве под посевом ССГ, КОЕ/г, 2020–2022 гг. (n=9)

Вариант	Сапротрофные бактерии, 10^6		Амилотитические микроорганизмы, 10^6		Целлюлозоразрушающие, 10^3		Микромицеты, 10^3		Общее (условно) кол-во, 10^6		МПА/КАА	КАА/МПА	Pm
	M±m*	V,**%	M±m	V,%	M±m	V,%	M±m	V,%	M±m	V,%			
Контроль	30,0±2,0	16	19,8±2,6	32	66,6±3,8	14	67,0±14,0	54	49,9±1,8	3	1,52	0,66	84,9
$N_{60}P_{60}$	39,1±3,3	20	30,4±3,2	25	97,0±11,4	28	64,0±12,0	56	69,6±1,7	5	1,29	0,78	97,8

Примечание: *M – среднее значение, m – ошибка средней; **V – коэффициент вариации показателя.

Исследованиями китайских коллег, проведенными на экспериментальной станции Шэньян, северо-восточный Китая показано, что длительное внесение минеральных удобрений не оказывает существенного влияния на микробиологическую активность почвы [17]. Обобщение значительного материала данных американскими исследователями выявило отрицательное воздействие минеральных удобрений на рост микробного сообщества, что объясняется их подкисляющим эффектом и дефицитом доступных источников углерода после первоначального повышения минерализационной деятельности [20].

В наших исследованиях, при возделывании ССГ внесение азотно-фосфорных удобрений ($N_{60}P_{60}$) стимулировало рост численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов на 46% к контролю, однако отмечена тенденция снижения количества микромицетов, также осуществляющих деструкцию органических веществ [5; 9], на 5%, подобное может быть связано с совокупным влиянием различных экологических факторов.

Суммарное (условно) количество определяемых эколого-трофических групп микроорганизмов существенно возросло, на 39%, под воздействием минеральных удобрений. Увеличение общей численности почвенных микроорганизмов происходило в основном за счет роста количества сапротрофных бактерий и бактерий, усваивающих минеральный азот (табл. 1).

Численность бактерий, продуцирующих амилазу (КАА), во всех вариантах опыта была ниже числа сапротрофных бактерий (МПА), что свидетельствует о снижении темпов минерализации и активации иммобилизационных процессов в лугово-черноземной почве под сорго-суданковым гибридом. В целом значительная численность сапротрофной и амилотической микрофлоры (МПА+КАА) может свидетельствовать о достаточно высоком уровне плодородия почвы.

Степень микробиологического синтеза в органическое вещество почвы (Пм) на удобренном варианте возросла на 15% к контролю без удобрений. Увеличение коэффициента трансформации органического вещества свидетельствует о том, что микробиологические процессы в почве идут более интенсивно.

Распад и минерализация разного рода органических веществ, поступающих в почву, носят ферментативный характер, т.е. вещества, недоступные для использования корневыми системами высших растений, переводятся в доступное состояние с помощью ферментов. Почвенное плодородие связано с ферментативной активностью почвенного населения и каталитической активностью самой почвы [8; 16].

Активность фермента уреазы связана с гидролитическим расщеплением мочевины до аммиака и диоксида углерода и выше у более плодородных почв. Установлено превалирующее влияние на фермент условий года (97,84%), влияние минеральных удобрений было минимальным (0,97%). Данная тенденция вполне объяснима, так как годы проведения исследований характеризовались засушливостью, а ферменты – продукты метаболизма почвенного биоценоза, преимущественно микробного происхождения, активность которого напрямую зависит от метеоусловий периода вегетации [15].

Первые два года полевых экспериментов показали, что внесение минеральных удобрений способствовало незначительному усилению активности фермента уреазы – на 4 и 6% соответственно в сравнении с контролем (табл. 2).

Биологическая активность почвы обусловлена не только живущими данный момент микроорганизмами, но и ферментами отмерших микроорганизмов, что подтверждает способность почвы адсорбировать инвер-

тазу. Активность почвенной инвертазы, по Гофману, находится в прямой зависимости от содержания в почве гумуса, глинистых частиц, извести и от количества населяющих почву микроорганизмов [18].

Таблица 2.

Активность фермента уреазы в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность уреазы, мг/100 г почвы			Вклад факторов в активность уреазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	0,727±0,02	0,797±0,11	0,510±0,05	<ul style="list-style-type: none"> • Удобрения 0,97 • Год 1,19 • Удобрения-год 97,84
N ₆₀ P ₆₀	0,755±0,02	0,847±0,22	0,495±0,03	

Вклад факторов, согласно дисперсионному анализу, показал, что на активность ферментов этого класса в лугово-черноземной почве под посевом сорго-суданкового гибрида наибольшее влияние оказал год проведения исследований (94,28%), минеральные удобрения в меньшей степени (8,36%) (табл. 3). Под воздействием удобрений, установлена тенденция увеличения активности инвертазы в 2020 и 2021 гг. на 2 и 4%, в 2022 г. активность определяемого фермента снижалась на 7% по отношению к контролю.

Таблица 3.

Активность фермента инвертаза в лугово-черноземной почве под посевом сорго при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность инвертазы, мг. инвертного сахара			Вклад факторов в активность инвертазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	13,6±0,92	18,1±0,93	18,6±2,32	<ul style="list-style-type: none"> • Удобрения 5,37 • Год 8,36 • Удобрения-год 94,28
N ₆₀ P ₆₀	13,9±0,26	18,9±2,25	17,4±0,97	

Каталаза является двухкомпонентным ферментом, состоящим из белка и соединённой с ним активной группы. Активной простетической группой его служит гем, в котором атом железа соединён с тетрапиррольной кольцевой

структурой. Каталаза входит в состав дыхательных ферментов, участвует в разложении перекиси водорода, тем самым способствуя деятельности микроорганизмов и протеканию процессов разложения органических остатков, переводу их в гумус почвы [8]. Согласно результатам двухфакторного дисперсионного анализа, установлено влияние условий года – 55,49%, в отличие от других ферментов на активность каталазы, фактор минеральных удобрений оказал существенное влияние – 21,49% (табл. 5).

В 2020 и 2022 гг. активность каталазы снижалась под воздействием удобрений на 34 и 6% по отношению к контролю соответственно (табл. 4). Предыдущими исследованиями в стационарных опытах установлено, что подобное связано с длительностью применения удобрений, так как в течение первых ротаций севооборота данной тенденции не наблюдалось [4]. В литературе имеются данные показывающие, что при применении органических и минеральных удобрений снижается активность окислительно-восстановительного фермента каталаза, при этом увеличивается активность энзимов гидролитических ферментов [3; 10]. В условиях 2021 г. существенного варьирования энзиматической активности данного класса в зависимости от изучаемого агроприема не выявлено.

Таблица 4.

Каталазная активность лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида при применении минеральных удобрений, 2020–2022 гг.

Вариант	Активность каталазы, О ₂ (куб. см/мин)			Вклад факторов в активность каталазы, %
	2020	2021	2022	
Контроль	2,15±0,13	1,45±0,05	2,03±0,06	<ul style="list-style-type: none"> • Удобрения 21,49 • Год 55,49 • Удобрения-год 23,02
N ₆₀ P ₆₀	1,61±0,08	1,53±0,09	1,91±0,23	

Сорговые культуры являются одними из наиболее высокоурожайных и отличаются универсальностью использования: зеленый корм, сено, сенаж, силос. В период исследований урожайность сорго-суданкового гибрида зависела от условий минерального питания, моделируемых в опыте (табл. 5). При оптимизации обеспеченности почвы фосфором, за счет применения фосфорсодержащего удобрения перед посевом, на фоне естественного плодородия (0) отмечалась тенденция увеличения сбора зеленой массы с

16,6 до 17,1 т/га или с 4,56 до 5,16 т/га абсолютно сухого вещества (АСВ), что выше на 13%. Повышенная обеспеченность P_2O_5 (фон 1) нивелировала действие вносимого аммофоса. Последствие фосфорных минеральных удобрений на этом фоне достоверно увеличивало урожайность зеленой массы с 16,8 до 21,5 т/га или с 4,86 до 6,42 т/га АСВ, что выше на 32%.

Таблица 5.

**Влияние применения минеральных удобрений на урожайность
сорго-суданкового гибрида, т/га, 2020–2022 гг.**

Минеральные удобрения, кг д.в./га		Зеленая масса			АСВ		
Фосфор (А)	Азот (В)	Фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)					
		0	1	Среднее	0	1	Среднее
0	0	15,5	21,9	18,7	3,94	6,63	5,29
	N ₃₀	16,9	21,8	19,4	4,79	6,63	5,71
	N ₆₀	17,3	22,0	19,6	4,94	6,53	5,74
	Среднее	16,6	21,9	19,2	4,56	6,60	5,58
P ₆₀	0	14,9	20,2	17,5	4,31	6,20	5,25
	N ₃₀	18,7	22,7	20,7	5,58	6,65	6,12
	N ₆₀	17,7	20,7	19,2	5,58	5,86	5,72
	Среднее	17,1	21,2	19,1	5,16	6,24	5,70
Среднее по В	0	15,2	21,0	18,1	4,12	6,42	5,27
	N ₃₀	17,8	22,2	20,0	5,19	6,64	5,92
	N ₆₀	17,5	21,4	19,4	5,26	6,20	5,73
	Среднее	16,8	21,5	19,2	4,86	6,42	5,64
НСР ₀₅ *	A	1,7			0,50		
	B	2,1			0,65		
	C	1,8			0,53		
	ABC	4,3			1,30		

Примечание: * достоверно при уровне значимости 0,05.

Применение азотных удобрений увеличивало сбор зеленой массы с 18,1 до 20,0 т/га, АСВ – с 5,27 до 5,73 т/га или на 9% в среднем по фактору. Комплексное действие изучаемых факторов увеличивало сбор зеленой массы с 15,5-22,7 т/га, сухого вещества – с 3,94 до 6,65 т/га или на 69%.

Низкое качество производимых кормов является одной из причин их перерасхода на единицу продукции животноводства. Зеленая масса сорго-вых культур хорошо поедается животными и сбалансирована по сахаро-

протеиновому соотношению, по питательности занимает одно из ведущих мест среди однолетних кормовых культур [13]. В период проведения полевого эксперимента сбор кормовых единиц, переваримого протеина и обменной энергии находился в аналогичной зависимости от изучаемых факторов (табл. 6).

Таблица 6.

Влияние применения минеральных удобрений на продуктивность сорго-суданкового гибрида, 2020–2022 гг.

Минеральные удобрения, кг д.в./га		Кормовые единицы, т/га		Переваримый протеин, т/га		ОЭ, ГДж/га	
Фосфор (А)	Азот (В)	Фоны с различной обеспеченностью фосфором (С)					
		0	II	0	II	0	II
0	0	3,74	6,30	0,36	0,51	41,7	70,3
	N ₃₀	4,55	6,30	0,56	0,73	50,3	69,6
	N ₆₀	4,69	6,21	0,58	0,73	51,8	68,6
	Среднее	4,33	6,27	0,50	0,65	47,9	69,5
P ₆₀	0	4,09	5,89	0,50	0,67	45,2	65,1
	N ₃₀	5,31	6,32	0,62	0,75	58,6	69,9
	N ₆₀	5,30	5,57	0,59	0,69	58,6	61,6
	Среднее	4,90	5,93	0,57	0,71	54,1	65,5
Среднее по В	0	3,92	6,10	0,43	0,59	43,5	67,7
	N ₃₀	4,93	6,31	0,59	0,74	54,5	69,7
	N ₆₀	4,99	5,89	0,58	0,71	55,2	65,1
	Среднее	4,61	6,10	0,53	0,68	51,1	67,5

Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений увеличивало продуктивность ССГ до 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина и до 69,9 ГДж/га обменной энергии.

Корреляционный анализ зависимости урожайности сорго-суданкового гибрида от общей численности микрофлоры по результатам трех лет исследований показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,98 \pm 0,12$) связь. Это объясняется тем, что почвенная микрофлора способствует разложению органических веществ до минеральных, круговороту азота, углерода, и других элементов в природе, осуществляет процессы формирования, самоочищения почвы, т.е. участвует в процессах, без которых нормальное

функционирование биоценозов невозможно. Также выявлена связь средней тесноты между урожайностью культуры и активностью фермента инвертазы ($r = 0,54 \pm 0,34$).

Заключение

Проведённые исследования позволили установить параметры изменения микробного ценоза лугово-черноземной почвы под посевом сорго-суданкового гибрида, ее энзиматическую активность, а также продуктивность ССГ при длительном применении удобрений в южной лесостепи Западной Сибири. Максимальное положительное воздействие минеральные удобрения оказали на численность и активность сапротрофных бактерий, амилолитических и целлюлозоразрушающих микроорганизмов, увеличение составило 30, 54, 46% соответственно относительно контроля. Степень микробиологического синтеза в органическое вещество почвы на удобренном варианте возрастала на 15% к контролю. Установлено, что активность гидролитических ферментов – уреазы и инвертазы усиливалась (до 6%) от предпосевного внесения удобрений, однако активность фермента каталазы снижалась до 34% к контролю. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,982$) зависимость урожайности сорго-суданкового гибрида от количества микрофлоры в лугово-черноземной почве.

Улучшение питательного режима почвы за счет комплексного применения минеральных удобрений обеспечивает 22,7 т/га зеленой массы, 6,32 т/га кормовых единиц, 0,75 т/га переваримого протеина, 69,9 ГДж/га обменной энергии.

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

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственной программы исследований FNUN-2022-0015.

Conflict of interest information. The authors declare no conflict of interest.

Sponsorship information. The work was carried out within the framework of the state research program FNUN-2022-0015.

Список литературы

1. Бойко В.С., Якименко В.Н., Тимохин А.Ю. Изменение калийного состояния почв лесостепи Западной Сибири при длительном сельскохозяйственном использовании // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 66–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
3. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. Москва: МГУ, 2005. 445 с.
4. Земледелие на равнинных ландшафтах и агротехнологии зерновых в Западной Сибири (на примере Омской области): монография / под редакцией д.с.-х.н.: И. Ф. Храмцов, В.Г. Холмов: РАСХН СО, СибНИИСХ. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2003. 412 с.
5. Зинченко М.К., Стоянова Л.Г. Реакция почвенной микрофлоры серой лесной почвы на длительное применение разных по уровню интенсификации систем удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2016. №2. С. 21–23.
6. Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С. Гетерозисная селекция гибридов сорго и суданской травы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 76–84.
7. Коробова Л.Н., Танатова А.В., Ферапонтова С.А., Шинделов А.В. Научно-методические рекомендации по использованию микробиологических показателей для оценки состояния пахотных почв Сибири. Новосибирск: НГАУ, 2013. 38 с.
8. Купревич В.Ф., Щербакова Т.А. Почвенная энзимология. Минск: Наука и Техника, 1966. 275 с.
9. Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. Москва: Медицина для всех, 2005. 196 с.
10. Наими О.И., Безуглова О.С., Лыхман В.А., Дубинина М.Н., Полиенко Е.А. Воздействие пестицидов и гуминового препарата на ферментативную активность чернозема // Земледелие. 2021. Т. 5. С. 26–31. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31>
11. Сорта и гибриды сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ»: каталог / Кулинцев В.В., Чумакова В.В., Володин А.Б. и др. 12-е изд., доп. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь), 2022. 203 с.
12. Теплер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В.К. Шильниковой. 5-е изд. перераб. и доп. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
13. Технологические аспекты возделывания сорго и сорго-суданкового гибрида / Н. И. Кашеваров, А. А. Полищук, Н. Н. Кашеварова, М.В. Хазов, А.Н. Лебедев // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 5 (240). С. 49–54.
14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.

15. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. Москва: Наука, 1982. 204 с.
16. Хазиев Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. Т. 20. № 2 (78). С. 14–24.
17. Ge G., Li Z., Fan F., Chu G. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers // Plant Soil, 2010, vol. 326 (1), pp. 31–44. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0186-8>
18. Hofmann Ed. Enzymreaktionen und ihre Bedeutung fur die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit // Zeitschrift für Pflanzenernahrung, Dungung, Bodenkunde, 1952, vol. 56 (1-3), pp. 68–72.
19. Ingle S.S., Jadhaio S.D., Kharche V.K., Sonune B.A., Mali D.V. Soil biological properties as influenced by long term manuring and fertilization under sorghum (*Sorghum bicolor*)-wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Vertisols // Indian Journal of Agricultural Sciences, 2014, vol. 84 (4), pp. 452–457. <https://doi.org/10.56093/ijas.v84i4.39454>
20. Kallenbach C.M., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis // Agriculture, Ecosystems & Environment, 2011, vol. 144 (1), pp. 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.020>
21. Katkar R.N., Sonune B.A., Kadu P.R. Long-term effect of fertilization on soil chemical and biological characteristics and productivity under sorghum (*Sorghum bicolor*) – wheat (*Triticum aestivum*) system in Vertisol // Indian Journal of Agricultural Sciences, 2011, vol. 81 (8), pp. 734–739.
22. Katyal J.C., Rao N.H., Reddy M.N. Critical aspects of organic matter management in the tropics: the examples of India // Nutrient Cycling in Agroecosystem, 2001, vol. 61 (1–2), pp. 77–88. <https://doi.org/10.1023/A:1013320502810>
23. Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems // Soil and Tillage Research, 2002, vol. 67 (1), pp. 109–114. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00044-2)
24. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Diaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions // Geoderma, 2005, vol. 129 (3–4), pp. 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.042>

References

1. Bojko V.S., YAkimenko V.N., Timohin A.YU. Izmenenie kalijnogo sostoyaniya pochv lesostepi Zapadnoj Sibiri pri dlitel'nom sel'skohozyajstvennom is-

- pol'zovanii [Changes in the potash state of soils in the forest-steppe of Western Siberia during prolonged agricultural use]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2019, vol. 23, no. 11, pp. 66-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-66-71>
2. Dospexov B.A. *Metodika polevogo opy'ta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985, 351 p.
 3. Zvyaginets D.G., Bab'eva I.P., Zenova G.M. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow: MGU Publ., 2005, 445 p.
 4. *Zemledelie na ravninnykh landshaftakh i agrotekhnologii zernovykh v Zapadnoy Sibiri (na primere Omskoj oblasti): monografiya* [Agriculture on flat landscapes and agricultural technologies of cereals in Western Siberia (on the example of the Omsk region): monograph] / ed. I.F. Hramcov, V.G. Holmov: RASKHN SO, SibNIISKH. Novosibirsk: Sibirskoe otdeleniya RAN Publ., 2003, 412 p.
 5. Zinchenko M.K., Stoyanova L.G. Reakciya pochvennoj mikroflory seroj lesnoj pochvy na dlitel'noe primenenie raznykh po urovnyu intensivizatsii sistem udobrenij [The reaction of the soil microflora of gray forest soil to the long-term use of fertilizer systems with different levels of intensification]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture], 2016, no. 2, pp. 21-23.
 6. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Geterozisnaya selekciya gibridov sorgo i sudanskoj travy [Heterosis breeding of sorghum and Sudanese grass hybrids]. *Tavrisheskij vestnik agrarnoj nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], 2022, no. 3 (31), pp. 76-84.
 7. Korobova L.N., Tanatova A.V., Ferapontova S.A., SHindelov A.V. *Nauchno-metodicheskie rekomendatsii po ispol'zovaniyu mikrobiologicheskikh pokazatelej dlya ocenki sostoyaniya pahotnykh pochv Sibiri* [Scientific and methodological recommendations on the use of microbiological indicators to assess the state of arable soils in Siberia]. Novosibirsk: NGAU Publ., 2013, 38 p.
 8. Kuprevich V.F., SHCHerbakova T.A. *Pochvennaya enzimologiya* [Soil enzymology]. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., 1966, 275 p.
 9. Marfenina O.E. *Antropogennaya ekologiya pochvennykh gribov* [Anthropogenic ecology of soil fungi]. Moskva: Medicina dlya vsekh Publ., 2005, 196 p.
 10. Naimi O.I., Bezuglova O.S., Lyhman V.A., Dubinina M.N., Polienko E.A. Vozdejstvie pesticidov i guminovogo preparata na fermentativnyuyu aktivnost' chernozema [The effect of pesticides and humic preparation on the enzymatic activity of chernozem]. *Zemledelie* [Agriculture], 2021, vol. 5, pp. 26-31. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-5-26-31>

11. *Sorta i gibridy sel'skohozyajstvennykh kul'tur selekcii FGBNU «Severo-Kavkazskij FNAC»: katalog* [Varieties and hybrids of agricultural crops selected by the North Caucasian Federal State Budgetary Educational Institution: catalog] / V.V. Kulincev, V.V. CHumakova, A.B. Volodin et al. Stavropol: Severo-Kavkazskij federal'nyj universitet (Stavropol') Publ., 2022, 203 p.
12. Tepper E.Z., Shilnikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities] / ed. V.K. Shilnikova. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.
13. Tekhnologicheskie aspekty vozdel'yvaniya sorgo i sorgo-sudankovogo gibrida [Technological aspects of the cultivation of sorghum and sorghum-Sudanese hybrid] / N. I. Kashevarov, A. A. Polishchuk, N. N. Kashevarova, M.V. Hazov, A.N. Lebedev. *Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 2014. no. 5 (240), pp. 49-54.
14. Haziev F.H. *Metody pochvennoj enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow: Nauka Publ., 2005, 252 p.
15. Haziev F.H. *Sistemno-ekologicheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv* [System-ecological analysis of soil enzymatic activity]. Moscow: Nauka Publ., 1982. 204 p.
16. Haziev F.H. Funkcional'naya rol' fermentov v pochvennykh processah [System-ecological analysis of soil enzymatic activity]. *Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan* [Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan], 2015, vol. 20, no. 2 (78), pp. 14-24.
17. Ge G., Li Z., Fan F., Chu G. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant Soil*, 2010, vol. 326 (1), pp. 31-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0186-8>
18. Hofmann Ed. Enzymreaktionen und ihre Bedeutung fur die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung, Dungung, Bodenkunde*, 1952, vol. 56 (1-3), pp. 68-72.
19. Ingle S.S., Jadhao S.D., Kharche V.K., Sonune B.A., Mali D.V. Soil biological properties as influenced by long term manuring and fertilization under sorghum (*Sorghum bicolor*)-wheat (*Triticum aestivum*) sequence in Vertisols. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2014, vol. 84 (4), pp. 452-457. <https://doi.org/10.56093/ijas.v84i4.39454>
20. Kallenbach C.M., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: a meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2011, vol. 144 (1), pp. 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.020>
21. Katkar R.N., Sonune B.A., Kadu P.R. Long-term effect of fertilization on soil chemical and biological characteristics and productivity under sorghum (Sor-

- ghum bicolor) – wheat (*Triticum aestivum*) system in Vertisol. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2011, vol. 81 (8), pp. 734-739.
22. Katyal J.C., Rao N.H., Reddy M.N. Critical aspects of organic matter management in the tropics: the examples of India. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 2001, vol. 61 (1-2), pp. 77-88. <https://doi.org/10.1023/A:1013320502810>
23. Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil and Tillage Research*, 2002, vol. 67 (1), pp. 109-114. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00044-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00044-2)
24. Roldan A., Salinas-García J.R., Alguacil M.M., Diaz E., Caravaca F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. *Geoderma*, 2005, vol. 129 (3-4), pp. 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.042>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шулико Наталья Николаевна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shuliko@anc55.ru

Тимохин Артем Юрьевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией полевого кормопроизводства
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru

Тукмачева Елена Васильевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
tukmacheva@anc55.ru*

Бойко Василий Сергеевич, д.с.-х.н., главный научный сотрудник лаборатории полевого кормопроизводства
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
boiko@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Shuliko, Cand. Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
shuliko@anc55.ru
SPIN-code: 7601-1991
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>
ResearcherID: ABF-6522-2021*

Artem Yu. Timokhin, Cand. Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Field Feed Production
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
timokhin@anc55.ru
SPIN-code: 5162-2346
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>
ResearcherID: JPL-4190-2023
Scopus Author ID: 57213195613*

Elena V. Tukmacheva, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
tukmacheva@anc55.ru
SPIN-code: 1881-1679
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>
ResearcherID: AAD-9301-2021*

Vasily S. Boyko, Doctor Sci. (Agric.), Chief Researcher of Laboratory of Field
Feed Production

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

boiko@anc55.ru

SPIN-code: 2555-4539

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4871-231X>

Поступила 02.02.2024

После рецензирования 10.03.2024

Принята 20.03.2024

Received 02.02.2024

Revised 10.03.2024

Accepted 20.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-987

УДК 631.8:631.417.1



Научная статья

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОСТУПЛЕНИЕ И ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ЗЕРНОПАРОВОМ СЕВООБОРОТЕ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Е.А. Дёмин, С.С. Миллер

Обоснование. Органический углерод, входящий в состав гумусовых веществ, является основой плодородия пахотных почв. Интенсивность сельского хозяйства привела к увеличению использования минеральных удобрений, которые оказывают существенное влияние на процессы почвообразования. Это приводит к нарушению естественного динамического равновесия запасов органического углерода, усиливается процесс минерализации органического вещества, что приводит к увеличению эмиссии диоксида углерода. Принятая концепция «4 промилле» призывает мировое общество к разработке системы земледелия на плавленной на увеличение запасов органического углерода пахотными почвами. Исходя из этого, изучение влияния различных элементов системы земледелия, на поступление и закрепление органического углерода пахотными почвами, можно отнести к одной из задач современной аграрной науки.

Цель работы изучить влияние минеральных удобрений на поступление растительных остатков и запасы органического углерода в зернопаровом севообороте в условиях лесостепной зоны Зауралья.

Новизна работы заключается в том, что впервые проведены длительные стационарные исследования по влиянию минеральных удобрений на поступление и запасы органического углерода в пахотных почвах. В последующем имеется возможность теоретически обосновать необходимые дозы минеральных удобрений для получения положительного баланса органического углерода в пахотных почвах Западной Сибири.

Материалы и методы. Исследование проводили в зернопаровом севообороте (занятый пар, яровая пшеница, овес) с 1995 по 2023 года на черноземе выщелоченном, маломощном, тяжелосуглинистом. Ежегодно под яровую пшеницу и овес вносили расчетные дозы минеральных удобрений с учетом

фактического содержания питательных веществ в почве для получения планируемой урожайности зерна от 3,0 до 6,0 т/га. Ежегодно на всех вариантах севооборота определяли массу соломы, пожнивных и корневых остатков, в которых определяли содержание органического углерода и устанавливали массу поступившего углерода в почву. Перед закладкой опыта в 1995 г., а также в 2005; 2015 и 2023 гг. проводили отбор проб почвы с глубины 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80; 80-100 см, в которых в дальнейшем определяли содержание органического углерода. Методом пересчета с учетом равновесной плотности сложения определяли запасы органического углерода в метровом слое почвы. Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel.

Результаты. На варианте с естественным уровнем питания за 28 лет в почву поступило 117,3 т/га растительных остатков. Несмотря на это отказ от использования удобрений приводил к отрицательному балансу органического углерода в почве, где снижение запасов составило 6,7% относительно исходных значений. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна приводило к повышению поступления побочной продукции в почву на 25-48% относительно естественного уровня питания. Это обеспечило положительный баланс углерода, где повышение запасов в метровом слое почвы составило 4,2-5,1% относительно исходных значений. Внесение NP на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна увеличивало поступления растительных остатков за период исследования на 69-75% относительно контроля. Несмотря на это отмечалось уменьшение запасов органического углерода в метром слое почвы на 4,7-6,4% относительно исходных значений.

Заключение. Отказ от использования минеральных удобрений при возделывании зерновых культур приводит к отрицательному балансу органического углерода, где ежегодные потери углерода достигают 0,44-0,78 т/га. Стабильное внесение удобрений для получения 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечивает положительный баланс углерода в почве, ежегодное повышение запасов составляет от 0,23 до 0,58 т/га. Высокие дозы удобрений для получения урожая от 5,0 до 6,0 т/га зерна приводят к отрицательному балансу углерода в почве, ежегодные потери достигают 0,30-0,55 т/га.

Ключевые слова: минеральные удобрения; органический углерод; солома; пожнивные и корневые остатки; баланс углерода

Для цитирования. Дёмин Е.А., Миллер С.С. Влияние минеральных удобрений на поступление и запасы органического углерода в зернопаровом севообороте лесостепной зоны Зауралья // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 262-287. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-987

Original article

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE INCOME AND RESERVES OF ORGANIC CARBON IN THE GRAIN FALLOW CROP ROTATION OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE TRANS-URALS

E.A. Demin, S.S. Miller

Background. Organic carbon, which is part of humic substances, is the basis for the fertility of arable soils. The intensity of agriculture has led to an increase in the use of mineral fertilizers, which have a significant impact on soil formation processes. This leads to a disruption of the natural dynamic balance of organic carbon reserves, the process of mineralization of organic matter intensifies, which leads to an increase in carbon dioxide emissions. The accepted concept of “4 ppm” calls on the world society to develop a farming system aimed at increasing the reserves of organic carbon in arable soils. Based on this, studying the influence of various elements of crop cultivation technology on the supply and fixation of organic carbon in arable soils can be considered one of the tasks of modern agricultural science.

The purpose of the work is to study the effect of mineral fertilizers on the supply of plant residues and reserves of organic carbon in grain-fallow crop rotation in the conditions of the forest-steppe zone of the Trans-Urals.

The novelty of the work lies in the fact that for the first time long-term stationary studies have been carried out on the effect of mineral fertilizers on the supply and reserves of organic carbon in arable soils. In the future, it will be possible to theoretically substantiate the required doses of mineral fertilizers to obtain a positive balance of organic carbon in arable soils of Western Siberia.

Materials and methods. The study was carried out in grain-fallow crop rotation (full fallow, spring wheat, oats) from 1995 to 2023 on leached, thin, heavy loamy chernozem. Every year, calculated doses of mineral fertilizers were applied to spring wheat and oats for a planned yield of 3.0; 4.0; 5.0 and 6.0 t/ha of grain, taking into account the actual nutrient content in the soil. Every year, the mass of straw, stubble and root residues was determined for all crop rotation options. In which the content of organic carbon was determined annually and the mass of carbon entering the soil was determined. Before the foundation of experience in 1995, as well as in 2005; 2015 and 2023 soil samples were taken from a depth of 0-10; 10-20; 20-30; 30-40;

40-60; 60-80; 80-100 cm. In which the content of organic carbon was subsequently determined. The reserves of organic carbon in a meter layer of soil were determined using the recalculation method taking into account the equilibrium density. Statistical data processing was carried out using Microsoft Excel.

Results. In the option without the use of mineral fertilizers, 117.3 t/ha of plant residues entered the soil during 28 studies. Refusal to use fertilizers led to a negative balance of organic carbon in the soil, where the decrease in reserves was 6.7% relative to the initial values. The application of mineral fertilizers for a planned yield of 3.0 and 4.0 t/ha of grain led to an increase in the flow of by-products into the soil by 25-48% relative to the natural nutrition level. This ensured a positive carbon balance, where the increase in reserves in the meter layer of soil was 4.2-5.1% relative to the initial values. The application of NP to a planned yield of 5.0 and 6.0 t/ha of grain increased the input of plant residues during the study period by 69-75% relative to the control. Despite this, there was a decrease in organic carbon reserves in the meter layer of soil by 4.7-6.4% relative to the initial value.

Conclusion. Refusal to use mineral fertilizers when cultivating grain crops leads to a negative balance of organic carbon, where annual carbon losses reach 0.44-0.78 t/ha. Stable application of fertilizers to obtain 3.0 and 4.0 t/ha of grain ensures a positive carbon balance in the soil, the annual increase in reserves ranges from 0.23 to 0.58 t/ha. High doses of fertilizers to obtain a yield of 5.0 to 6.0 t/ha lead to a negative carbon balance in the soil; annual losses range from 0.30 to 0.55 t/ha.

Keywords: mineral fertilizers; organic carbon; straw; crop and root residues; carbon balance

For citation. Demin E.A., Miller S.S. The Influence of Mineral Fertilizers on the Supply and Reserves of Organic Carbon in the Grain-Fallow Crop Rotation of the Forest-Steppe Zone of the Trans-Urals // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 262-287. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-987

Введение

Углерод – элемент, участвующий в процессе круговорота в системе почва-растения-атмосфера. В результате фотосинтеза, растения усваивают атмосферный углерод в виде углекислого газа и накапливают его в органической форме в биомассе. Часть накопленного углерода ежегодно отчуждается с полей с основной продукцией. Другая часть, находящаяся в корневой системе, соломе и других частях растений, остается в пределах агроценоза и в результате сложных биохимических процессов трансформируется в гумусовые вещества почвы, тем самым поддерживая плодородия пашни. В результате процесса минерализации, часть расти-

тельных остатков и органического вещества почвы подвергается дальнейшей трансформации почвенной биотой и переходит в атмосферный углерод в результате эмиссии углекислого газа [27]. Дополнительные потери органического углерода происходят за счет внутрипочвенного стока растворенного органического вещества, однако, в результате того, что данные потери значительно ниже, чем при эмиссии диоксида углерода их принято не учитывать при балансовой оценке динамики изменения запасов органического углерода в почвах [24].

В последнее время изучение динамики органического углерода в агроэкосистемах набирает все больший интерес [18; 22; 26]. Это связано с тем, что в почве сосредоточено в несколько раз больше углерода, чем в атмосфере, наземной биомассе и существует реальная возможность для решения нескольких проблем связанных с глобальным изменением климата и плодородием пахотных почв. Принятая концепция «4 промилле» предполагает разработку технологии по увеличению поступления и закрепления органического углерода пахотными почвами. По мнению ученых это должно обеспечить повышение плодородия пашни, а также нивелировать пагубное воздействие выбросов парниковых газов антропогенного характера [10]. Вторая существенная причина глобального территориального распространения данных исследований связано с тем, что распределение углерода почвах агроэкосистем в большей степени зависит от почвенно-климатических условий, интенсивности системы земледелия, видового состава сельскохозяйственных культур в севообороте и количества используемых средств химизации и удобрений [23; 28].

В последние десятилетие из-за резкого увеличения численности населения и необходимости обеспечения продовольственной безопасности повысилось количество используемых минеральных удобрений для обеспечения продуктивности пашни, а также количество химических средств защиты растений, которые как показывают исследования, оказывают пагубное воздействие на аборигенную почвенную микрофлору [19; 29]. Все это в совокупности приводит к нарушению качественного и количественного состава почвенных микроорганизмов, и в дальнейшем к изменению естественного процесса почвообразования, интенсивности процессов минерализации и гумификации органического вещества, что приводит к изменениям интенсивности эмиссии диоксида углерода в агроэкосистемах и снижению органического вещества в почвах [17; 20].

Стремительный отказ от использования органических удобрений в России, в начале 21 века приводит к резкому снижению запасов гумуса в почвах [16]. Основным оставшийся источник поступления органического

углерода в пахотные почвы – это побочные продукты растениеводства, а именно солома, пожнивные и корневые остатки, которые как показывают исследования, могут стабилизировать изменение запасов гумуса в почвах при подборе соответствующей системы земледелия [25].

Несмотря на разнообразие литературных источников, в настоящее время в научном кругу отсутствует четкое понимание и ведется дискуссия по влиянию различных элементов технологии земледелия на запасы органического углерода в пахотных почвах. Основной причиной этого является то, что подобные исследования требуют проведения длительных стационарных наблюдений в различных почвенно-климатических условиях для корректной оценки направленности трансформации углерода в системе почва-растение-атмосфера, сглаживающих воздействие ежегодных изменений погодных условий. Имеющиеся литературные данные показывают, что распределение углерода в системе почва-растение-атмосфера играет глобальную роль для создания общемировой модели секвестрации углерода в почве и эмиссии CO₂ в атмосферу в зависимости от способов обработки почвы, систем удобрения, защиты растений и тд.

Цель

Изучить особенности влияния минеральных удобрений на поступление растительных остатков и запасы органического углерода в зернопаровом севообороте лесостепной зоны Зауралья.

Материалы и методы

Стационар по влиянию минеральных удобрений на поступление и запасы органического углерода в почве был основан в 1995 году в условиях северной лесостепи и ведется по настоящее время. Почва участка чернозем выщелоченный, маломощный, тяжелосуглинистый. Исследование проводили в зернопаровом севообороте (однолетние травы (горохоовсяная смесь), яровая пшеница, овес). С 1995 по 2007 гг. высевали сорт яровой пшеницы Тулунская-12 и овса Мегион. С 2007 по 2015 гг. сорт яровой пшеницы Красноуфимская-100 и овес сорта Талисман. С 2015 г. по настоящее время высевался сорт яровой пшеницы Новосибирская 31 и овса Отрада.

Система земледелия в опыте была неизменна на протяжении всего времени исследований и являлась традиционной для данной зоны. Ежегодно осенью после уборки предшествующей культуры проводили вспашку на глубину 20-22 см плугом. Далее весной боронили зубowymi боронами в два следа. Перед посевом вносили расчетные дозы минеральных удобрений

на планируемую урожайность яровой пшеницы и овса (врезали сеялками СЗ-3,6), под однолетние травы удобрения не использовали. Дозы рассчитывали ежегодно с учетом фактического содержания питательных веществ в почве, на основе общепринятых нормативных коэффициентов разработанных для данной зоны. В опыте вносили аммиачную селитру с содержанием действующего вещества N_{34} и аммофос $N_{12} \cdot P_{52}$. Калий дополнительно не вносили, так как почвы высоко обеспечены данным элементом и обеспечивают получение урожая выше 6,0 т/га зерна. В дальнейшем сразу проводили культивацию (КПС-4,0) и после проводили посев (СЗМ-5,4). Схема опыта включала варианты: без внесения удобрений (контроль); с внесением NP для получения урожайности 3,0 т/га; 4,0 т/га; 5,0 т/га и 6,0 т/га. Размер делянок традиционный для агрохимического опыта – 100 м², делянки фиксированные. Исследование проводили в 4-х кратном повторении.

Ежегодно перед уборкой зерновых культур отбирали снопы с высотой среза 10 см с 1 м² в 4-х кратном повторении, после этого снопы обмолачивали. В дальнейшем оставшуюся солому измельчали, высушивали и взвешивали, методом перерасчета устанавливали количество поступающей соломы на гектар. Ежегодно после уборки всех культур на вариантах определяли количество пожнивных и корневых остатков (ПКО) методом Н.З. Станкова в 4-х кратной повторности на каждом варианте. После ПКО сушили, измельчали и взвешивали. В дальнейшем перерасчетом устанавливали ежегодное поступление ПКО на гектар. После в образцах соломы и ПКО определяли содержание органического углерода по ГОСТ 27980, расчетным методом устанавливали ежегодное поступление органического углерода в почву с растительными остатками на каждом варианте. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel. Перед закладкой опыта в 1995 г. проводили отбор проб почвы с размеченных фиксированных делянок почвенным буром с глубины 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; 60-80 и 80-100 см. В дальнейшем в почве определяли содержание органического углерода по Тюрину (ГОСТ 26213). После проводили расчет запасов органического углерода послойно с учетом равновесной плотности сложения почвы. Дополнительно отбор проб почвы и определение органического углерода проводили по прежней схеме в 2005, 2015 и 2023 гг.

Результаты

Главный источник поступления органического вещества в пахотные почвы – это пожнивные и корневые остатки сельскохозяйственных культур, а также побочные продукты в виде соломы, которые оказывают весо-

мый вклад в баланс органического углерода, биологическую активность, агрохимические и агрофизические свойства почвы [14]. Поступление растительных остатков в почву в агроценозах зависит от интенсивности системы земледелия [15]. За 10 лет в зернопаровом севообороте с 1995 по 2005 года за счет естественного плодородия в почву с побочной продукцией (соломой, пожнивными и корневыми остатками) поступило 43,2 т/га сухого вещества растительных остатков. Около 41% из них приходилось на солому и 59% на пожвные и корневые остатки. Отказ от использования удобрений приводит к ограниченному образованию растительных остатков из-за недостатка питательных веществ в почве. Внесение удобрений наоборот обеспечивало благоприятный питательный режим, что способствовало большему образованию побочной продукции. Как отмечает И.А. Кубасов (2023) внесение удобрений приводит к увеличению питательных веществ в почве и обеспечивает лучшее развитие культурных растений, что способствует увеличению массы стеблей в 1,5-2,0 раза относительно неудобренного варианта [12]. А.С. Бузуева и др. (2022) отмечают, что внесение минеральных удобрений увеличивает массу корневой системы в среднем на 27,3% относительно естественного уровня питания [5]. Ежегодное внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна с 1995 по 2005 гг. обеспечило повышение поступающих растительных остатков на 17% относительно контроля. Существенный прирост отмечался по поступлению соломы, масса которой была выше контроля на 19% и достигала 21,1 т/га сухого вещества ($HCP_{05}=1,1$ т/га). Количество поступивших пожвнных и корневых остатков было на 3,9 т/га выше варианта без использования удобрений, что на 15% больше значений полученных на контроле при $HCP_{05}=1,8$ т/га (рис.1). На варианте с внесением NP на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна количество поступивших растительных остатков за первые десять лет исследований были выше варианта с естественным плодородием почвы на 35% и достигали 58,1 т/га сухого вещества. Из них количество поступившей соломы и ПКО было выше контроля на 41 и 30%, что соответствовало 7,3 и 7,6 т/га сухого вещества. Количество поступивших в почву растительных остатков на варианте с внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна составляло 63,9 т/га, что выше варианта с естественным плодородием на 48%. Количество поступившей соломы при этом было на 10,5 т/га сухого вещества выше контроля, ПКО на 10,2 т/га. На максимальном изучаемом питательном фоне за первые 10 лет исследования в почву поступило на 22,6 т/га растительных остатков больше, чем на варианте с

естественным уровнем питания. При этом соломы и ПКО в почву поступило на 11,5 и 11,1 т/га больше, что выше варианта с естественным плодородием чернозема выщелоченного на 65 и 44%.

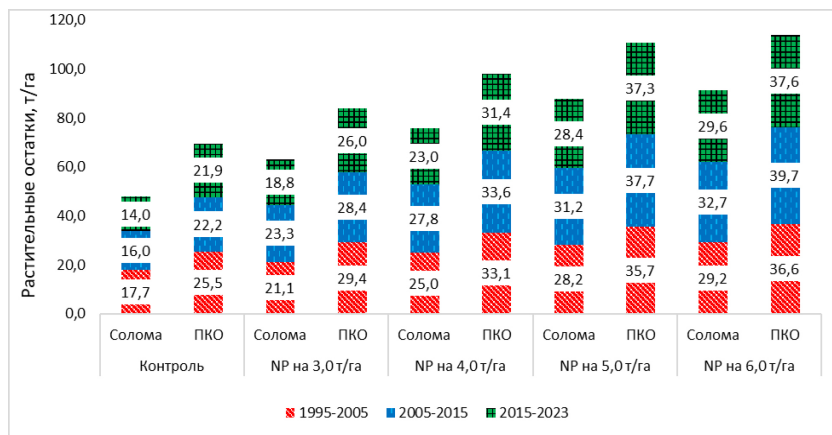
За вторые 10 лет (2005-2015) в почву на контроле поступило 38,2 т/га растительных остатков, что на 12% ниже, чем за первые 10 лет. Соломы при этом поступило на 11% ниже, чем за прошлый анализируемый период, а ПКО на 13%. Это связано с тем, что введенные в 2007 г. в структуру посевных площадей новые сорта выведены для интенсивной технологии системы земледелия и хорошо отзываются на высокий уровень питания, что подтверждается повышением выхода соломы и ПКО на удобренных вариантах. Д.И. Еремин (2021) со своими коллегами отмечает, что сорта овса характеризуются разным отношением к уровню минерального питания. Некоторые сорта интенсивного типа показывают урожайность значительно выше расчетной при использовании минеральных удобрений, но плохо развиваются на вариантах с естественным уровнем питания, другие хорошо проявляют себя на низком питательном фоне [9]. А.А. Казак (2019) отмечает подобную тенденцию по яровой пшенице. Делая акцент на том, что сорта яровой пшеницы, возделываемые в Тюменской области в прошлом веке, при внесении минеральных удобрений формировали зерно плохого качества и были низко продуктивными. Сорта пшеницы нового поколения при внесении минеральных удобрений хорошо отзываются на высокий уровень питания [11]. Внесение NP на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна, за период с 2005 по 2015 гг., обеспечило увеличение образования побочной продукции в виде соломы на 10% относительно прошлого периода, тогда как поступление ПКО усилилось на 3%. Стоит отметить, что на этом варианте в почву поступило на 7,3 т/га соломы и 5,1 т/га ПКО больше, чем на контроле. Систематическое внесение удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна обеспечивало повышение поступления побочной продукции в почву на 6%, относительно прошлого периода. Значительно увеличилось поступление в почву растительных остатков в виде соломы, значения которой были на 11% выше, тогда как по поступлению ПКО достоверных изменений не отмечалось. В этот период времени отмечается существенное увеличение поступления побочной продукции относительно контроля на 74% по соломе и 51% по ПКО. За вторые 10 лет исследований на варианте с внесением NP на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна отмечалось повышение поступления соломы на 5,0 т/га и ПКО на 2,0 т/га, относительно предыдущего периода исследований. Отмечается также повышенное поступление побочной продукции отно-

сительно варианта без использования удобрений за данный промежуток времени на 95% по соломе и на 70% по ПКО. На максимальном изучаемом питательном фоне отмечалось увеличение поступления растительных остатков на 9% относительно предыдущего периода. При этом поступление соломы и ПКО было на 104 и 79% больше, чем на контроле за данный период времени.

С 2015 года по 2023 год количество поступивших растительных остатков на контроле достигало 35,9 т/га. Внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна увеличивало поступление растительных остатков на 25% относительно контроля, что соответствовало 8,9 т/га. При этом значительно повышалось поступление соломы, значение которой увеличилось на 34%, в то время как поступление ПКО возросло лишь на 19%. Внесение NP на урожайность 4,0 т/га зерна оказывало влияние на поступление растительных остатков, масса которых увеличилась на 52% относительно контроля, что составляло 18,5 т/га. На этом варианте также значительно повышалось поступление соломы – 9,0 т/га. В то время как увеличение поступления ПКО не превышало 5,4 т/га. Дальнейшее повышение уровня минерального питания на планируемую урожайность 5,0 т/га усиливало образование побочной продукции в результате этого, масса поступивших растительных остатков была выше контроля на 83%. На этом варианте, отмечается значительное повышение количества образовавшейся соломы, масса которой в два раза выше, чем на варианте без использования удобрений. В то время как масса ПКО увеличилась относительно контроля лишь на 70%. На максимальном агрофоне в почву поступило 67,2 т/га растительных остатков, что на 87% выше контроля. При этом в сравнении с вариантом NP на 5,0 т/га повышалось поступление соломы лишь на 1,2 т/га, в то время как достоверной разницы в поступлении ПКО не отмечалось, отклонения находились в пределах ошибки исследований.

С растительными остатками в почву поступает органический углерод ($C_{\text{орг}}$), который является важным компонентом в биохимической трансформации гумусовых веществ почвы и основой плодородия. За первые десять лет исследования в почву в зернопаровом севообороте поступило 20,4 т/га органического углерода, большая часть из которого приходилась на ПКО – 12,0 т/га. В результате лучшей продуктивности и образования большего количества растительных остатков на удобренных вариантах в почву поступает значительно больше органического углерода, чем на естественном питательном фоне. На вариантах с высоким уровнем питания отмечается существенное увеличение поступления органического углерода с соломой,

нежели с ПКО. Это связано с особенностью используемых сортов, в которых при высоком уровне питания хорошо образуется вегетативная масса, участвующая в фотосинтезе и процессе формирования репродуктивных органов [3]. В то время как из-за достаточного количества питательных веществ в почве образование корневой системы происходит менее интенсивно [13]. В результате этого на варианте с систематическим внесением минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна в почву за период с 1995 по 2005 год поступило на 17% $C_{орг}$ больше, чем на контроле, что соответствовало 3,5 т/га. При этом с соломой в почву вернулось на 19% больше $C_{орг}$, чем на контроле, что соответствовало 1,6 т/га при $HCP_{05}=0,9$ т/га, тогда как с ПКО дополнительно поступило 1,9 т/га при $HCP_{05}=1,3$ т/га.



Солома – $HCP_{05}=1,1$ т/га; ПКО – $HCP_{05}=1,8$ т/га
1995-2015 гг. по данным Д.И. Еремина

Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на поступление растительных остатков в почву, т/га

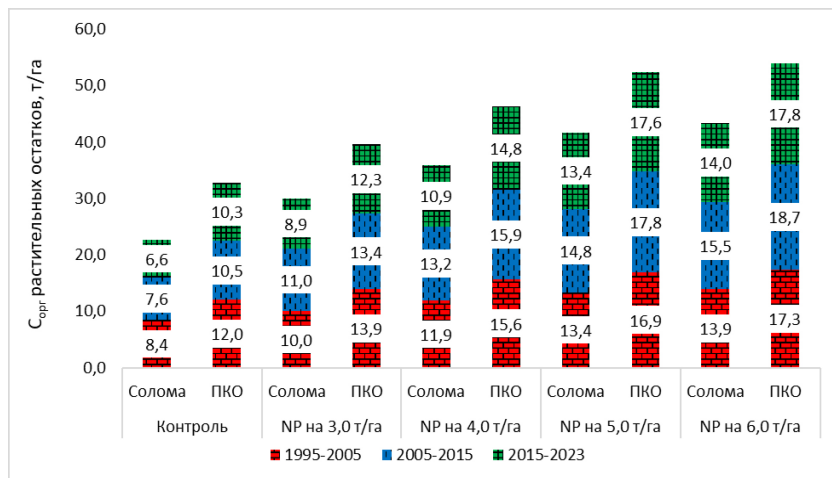
Использование доз минеральных удобрений для получения 4,0 т/га зерна способствовало повышению поступления $C_{орг}$ с соломой на 3,5 т/га и с ПКО на 3,6 т/га относительно контроля, что в совокупности обеспечило увеличение поступившего углерода на 35%.

Дальнейшее повышение уровня минерального питания в севообороте способствовало увеличению поступления $C_{орг}$ на 49% при внесении NP на получение 5,0 т/га и на 53% при NP на получение 6,0 т/га.

С 2005 по 2015 годы на варианте без использования удобрений поступление $C_{орг}$ в почву с соломой существенно не изменилось, отклоне-

ния находились на уровне предыдущего временного интервала. Однако отмечено существенное снижение в поступлении $C_{орг}$ с ПКО, количество которого уменьшилось на 13% относительно предыдущего периода исследований. На варианте с NP на 3,0 т/га зерна отмечено достоверное увеличение поступления $C_{орг}$ с соломой, значения которой выше предыдущих значений на 1,0 т/га, при этом не отмечено изменений в поступлении углерода с ПКО, отклонения находились в пределах неопределенности исследования. Относительно контроля на этом варианте в почву поступило на 18% $C_{орг}$ больше. На варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га зерна отмечено достоверное повышение поступления $C_{орг}$ с соломой на 11%, и не обнаружено существенных различий в поступлении $C_{орг}$ с ПКО. Стоит отметить, что за данный период исследований в почву поступило на 61% $C_{орг}$ больше, чем на варианте без использования удобрений. Внесение удобрений на урожайность 5,0 т/га обеспечивало повышение поступления $C_{орг}$ на 80% относительно контроля. В сравнении с прошлым периодом на этом варианте в настоящее время поступило на 11% $C_{орг}$ больше с соломой, в поступлении углерода с ПКО существенных различий не наблюдалось. На максимально изучаемом питательном фоне отмечено достоверное увлечение поступления $C_{орг}$ с соломой на 12% и с ПКО на 8%, относительно предыдущего периода исследований. При этом относительно контроля в почву поступило с растительными остатками на 89% $C_{орг}$ больше.

Смена сорта, проведенная в 2015 году, показывает, что современные используемые сорта более пластичные к условиям питания и способны образовывать большее количества вегетативной массы и корневой системы даже при условиях дефицита питательных веществ, а также хорошо отзываются на высокий уровень питания, что обеспечивает дополнительное поступление $C_{орг}$ с растительными остатками. В результате этого с 2015 по 2023 год в почву на контроле поступило 6,6 т/га $C_{орг}$ с соломой и 10,3 т/га с ПКО. На варианте с NP на 3,0 т/га с растительными остатками в почву вернулось 21,2 т/га $C_{орг}$, что на 25% выше контроля. На варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га зерна за 8 лет в почву поступило на 65% больше $C_{орг}$ с соломой и на 44% с ПКО, относительно контроля. При внесении удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна в почву за данный период исследования поступило 31 т/га $C_{орг}$, что на 83% выше контроля. На максимально изучаемом фоне поступление в почву $C_{орг}$ с растительными остатками на 88% выше варианта без использования удобрений.



Солома – $HCP_{05}=0,9$ т/га; ПКО – $HCP_{05}=1,3$ т/га
1995-2015 гг. по данным Д.И. Еремина

Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода с растительными остатками в почву, т/га

Запасы органического углерода в метровом слое почвы перед закладкой опыта в 1995 году варьировали от 234 до 239 т/га. При этом около 62-63% от общих запасов приходилось на пахотный слой 0-30 см. В слое 30-60 см было сосредоточено от 65 до 67 т/га, что соответствовало 28% от общих запасов, в слое 60-100 см было сосредоточено не более 9-10% от общего количества.

Поступления растительных остатков на варианте без использования удобрений не способно стабилизировать отрицательную динамику запасов органического углерода в метровом слое почвы, которая наблюдается на протяжении всего периода исследований. Это связано с тем, что количество поступивших растительных остатков из-за слабой продуктивности зерновых культур на низком питательном фоне не может стабилизировать преобладающий процесс минерализации органического вещества, происходящий в почве. Ежегодная механическая обработка почвы, благодаря улучшению аэрации пахотного слоя, лишь усиливает преобладающий процесс минерализации органического вещества [7]. В результате этого, за 10 лет с 1995 по 2005 год запасы $C_{орг}$ на контроле снизились на 5 т/га, что соответствовало 2,1%. Достоверное снижение отмечено в пахотном слое почвы, где запасы $C_{орг}$ уменьшились на 2 т/га. Смена сортов зерновых

культур в 2007 году привела к снижению количества поступающих растительных остатков, что еще сильнее усугубило процесс дегумификации на контроле. В результате этого за вторые 10 лет сельскохозяйственного использования запасы $C_{\text{орг}}$ уменьшились более существенно на 8 т/га, что на 3,4% ниже предыдущих значений. В пахотном слое почвы запасы $C_{\text{орг}}$ опустились на 6 т/га. Очередная сортосмена, проведенная в 2015 году, на более экологически пластичные сорта способствовала возвращению количества поступающего органического углерода в почву с растительными остатками. Несмотря на это, к 2023 году запасы органического углерода в метровом слое, продолжили снижаться и составили 223 т/га, что на 16 т/га ниже, чем перед закладкой опыта. В слое 0-30 см запасы углерода уменьшились на 12 т/га относительно исходных значений. В слое 30-60 см за 28 лет использования запасы $C_{\text{орг}}$ сократились на 4,5%, что соответствовало 3 т/га.

Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га способствовало получению положительного баланса органического углерода в метровом слое почвы на протяжении всего периода исследований. Систематическое внесение удобрений на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна за первые 10 лет использования, обеспечило повышение запасов $C_{\text{орг}}$ в метровом слое почвы на 4 т/га. За следующие 10 лет использования (2005-2015), запасы $C_{\text{орг}}$ в слое 0-100 см повысились до 247 т/га. В пахотном слое запасы увеличились на 4%, относительно исходных значений, а в подпахотном слое 30-60 см на 6%. К 2023 году запасы углерода на этом варианте продолжали возрастать, достигая 249 т/га в метровом слое, что на 5,1% выше исходных значений 1995 года. На варианте с внесением удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га, отмечается повышение запасов $C_{\text{орг}}$ в метровом слое почвы лишь к 2015 году, где они увеличились на 7 т/га. В пахотном слое почвы (0-30 см) запасы углерода к 2015 году повысились на 5,4%. К 2023 году в метровом слое запасы $C_{\text{орг}}$ увеличились на 10 т/га, в пахотном слое на 8 т/га относительно 1995 года. Это происходило из-за стабильного получения планируемого урожая зерновых культур на протяжении всего периода исследований. По расчетам Н.В. Абрамова (2013) вероятность получения планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га зерна культурами для зоны северной лесостепи Зауралья составляет 93 и 78% лет [1]. В результате этого в почве с высокой вероятностью полностью усваиваются расчетные дозы внесенных с минеральными удобрениями питательных веществ, что не усиливало активизацию почвенной биоты и не приводило к усилению процесса минерализации

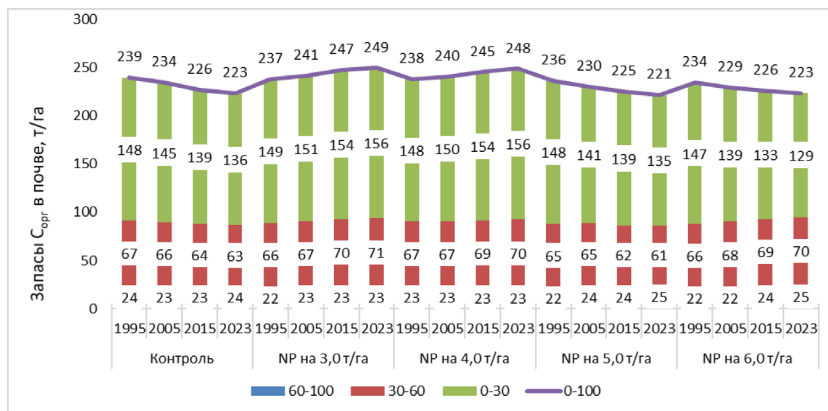
органического вещества. Максимальный положительный баланс органического углерода, отмеченный на вариантах с NP на 3,0 и 4,0 т/га в период с 2005 по 2015 года, связан с наибольшим поступлением органического углерода с растительными остатками. Важный тот момент, что с 2015 по 2023 гг. на варианте с NP на 3,0 т/га, ежегодное повышение запасов углерода относительно варианта в NP на 4,0 т/га зерна снижается. Вероятно это связано с тем, что на варианте с NP на 3,0 т/га содержание органического углерода в почве подходит к границе предела насыщения и перехода в динамическое равновесие.

На высоких уровнях питания NP на 5,0 и 6,0 т/га отмечался отрицательный баланс органического углерода в почве на протяжении всего периода исследования. Это связано с тем, что погодные условия некоторых годов исследования не позволяли стабильно получать планируемую урожайность [2]. Это приводило к снижению образования побочной продукции в виде соломы и ПКО, что снижало потенциально возможное поступление углерода в почву. В результате этого существенная часть питательных веществ оставалась неиспользуемой, что приводило к стимуляции почвенной биоты и усилению процесса минерализации органического вещества почвы [8]. В совокупности эти факторы нивелирует высокое поступление органического углерода в почву с растительными остатками, так как биохимические процессы проходящие в почве в связи с высоким количеством неиспользуемых удобрений приводят к снижению процесса гумификации и усилению минерализации [4].

На варианте с NP на 5,0 т/га запасы углерода на первые 10 лет использования снизились на 6 т/га, при этом в слое 0-30 см этот показатель уменьшился на 7 т/га, однако, повысился в слое 60-100 см на 2 т/га. Это происходило из-за миграции гумусовых веществ вниз по профилю почвы. В результате изменения качественного состава гумуса под действием высоких доз удобрений и длительного сельскохозяйственного использования почвы [6, 21]. К 2015 году в метровом слое почвы запасы $C_{орг}$ снизились на 5 т/га относительно предыдущих значений. Наиболее существенные потери $C_{орг}$, в размере 3 т/га, отмечались в слое 30-60 см. К 2023 году общие запасы $C_{орг}$ сократились на 15 т/га относительно исходных значений. В пахотном слое снижение составило 13 т/га, в подпахотном 3 т/га, однако в слое 60-100 см увеличилось на 2 т/га.

На максимальном изучаемом питательном фоне (NP на 6,0 т/га) за первые 10 лет использования почвы отмечается снижение запасов в метровом слое на 5 т/га. При этом в пахотном слое почвы снижение достигало 8 т/

га, а в слое 30-60 см отмечалось повышение на 2 т/га. К 2023 году потери углерода из почвы составили 11 т/га относительно исходных значений. Отмечалось значительное снижение запасов $C_{\text{орг}}$ на 18 т/га в пахотном слое почвы и его повышение в слое 30-60 см на 9 т/га и слое 60-100 см на 3 т/га. По той же причине, что и на варианте с NP на 5,0 т/га зерна.



Фактор А – Слой почвы НСР₀₅ = 8 т/га; Фактор В – Дозы удобрений НСР₀₅ = 3 т/га;
 Фактор С – Год НСР₀₅ = 2 т/га
 1995-2015 гг. по данным Д.И. Еремина

Рис. 3. Влияние минеральных удобрений динамику запасов органического углерода в почве, т/га

За первые 10 лет возделывания зерновых культур в зернопаровом севообороте (1995-2005 гг.), снижение запасов органического углерода в метровом слое почвы на варианте без использования минеральных удобрений составило 4,9 т/га (рис.4), что соответствовало ежегодным потерям 0,49 т/га (рис.5). Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечило за первые 10 лет использования повышение запасов органического углерода в метровом слое на 3,7 и 2,3 т/га. Использование высоких доз удобрений с внесением NP на 5,0 и 6,0 т/га зерна приводило к отрицательному балансу $C_{\text{орг}}$, где ежегодные потери составляли 0,55 и 0,48 т/га органического углерода.

С 2005 по 2015 гг. на контроле снижение запасов $C_{\text{орг}}$ в метровом слое почвы, было выше предыдущего периода на 59% и достигало 0,78 т/га в год. На удобренных вариантах с внесением NP на 3,0 и 4,0 т/га запасы $C_{\text{орг}}$ увеличились на 5,8 и 4,6 т/га, что выше, чем в прошлом периоде на 57 и 100% соответственно. На вариантах с высоким питательным фоном (NP

на 5,0 и 6,0 т/га) за данный период исследования отмечалось уменьшение запасов углерода в метровом слое почвы на 5,2 и 3,5 т/га, что ниже, чем за прошлый период исследований на 6 и 27%.

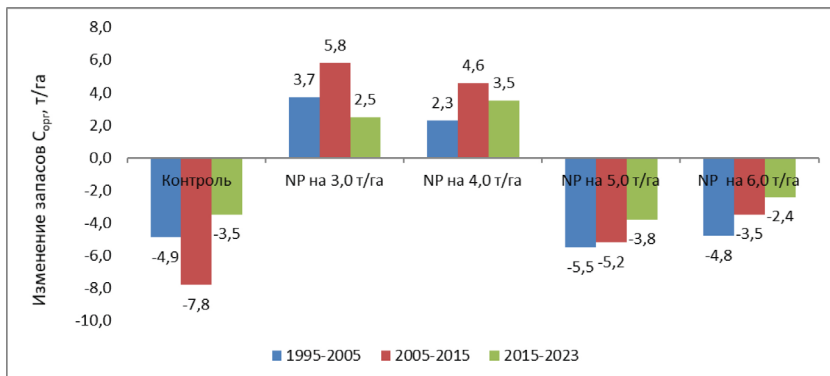


Рис. 4. Влияние минеральных удобрений на изменение запасов органического углерода в метровом слое чернозема выщелоченного, т/га

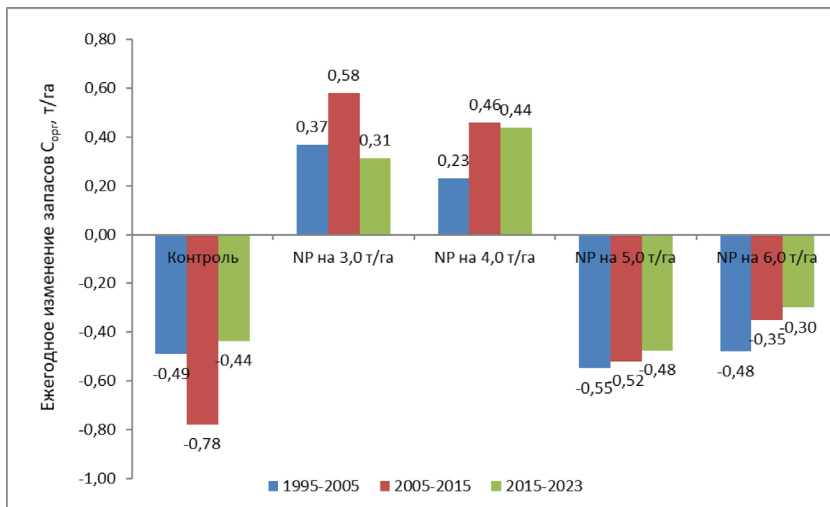


Рис. 5. Влияние минеральных на ежегодное изменение запасов органического углерода в метровом слое чернозема выщелоченного, т/га

С 2015 по 2023 годы запасы углерода в метровом слое почвы на варианте без использования удобрений уменьшились на 3,5 т/га, что соот-

ветствовало ежегодным потерям 0,44 т/га $C_{орг}$. На варианте с NP на 3,0 т/га отмечалось увеличение запасов на 2,5 т/га, что соответствовало ежегодному увеличению на 0,31 т/га. На варианте с NP на 4,0 т/га ежегодное увеличение запасов достигало 0,44 т/га $C_{орг}$ в метровом слое почвы. На вариантах с высоким уровнем питания NP на 5,0 и 6,0 т/га зерна отмечались ежегодные потери $C_{орг}$ в размере 0,48 и 0,30 т/га.

Заключение

Таким образом, минеральные удобрения оказывают существенное влияние на поступление растительных остатков и поступление органического углерода с ними. За первые 10 лет исследования в почву на варианте с естественным плодородием чернозема выщелоченного поступило 43,2 т/га растительных остатков, что соответствовало 20,4 т/га $C_{орг}$. Несмотря на это отмечалось снижение запасов $C_{орг}$ в метровом слое почвы на 5 т/га, что соответствовало ежегодным потерям 0,49 т/га. Внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечило увеличение поступления растительных остатков 17-30% относительно контроля. В результате этого, отмечался положительный баланс $C_{орг}$, где ежегодное увеличение достигало 0,37 и 0,23 т/га. На вариантах с внесением NP на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна в почву поступало на 48-52% растительных остатков больше, чем на контроле. Несмотря на это из-за нестабильного получения планируемого урожая в связи с неблагоприятными погодными условиями, часть питательных веществ оставалась неизрасходованная, что приводило к активизации почвенной биоты и усилению минерализации органического вещества. В результате этого отмечалось снижение запасов $C_{орг}$ в метровом слое почвы на 4 и 5 т/га. Проведение сортоисмен в 2007 году привело к уменьшению поступления растительных остатков в почву на варианте без использования удобрений на 14% с 2005 по 2015 гг., относительно предыдущего периода. Это привело к потерям 7,8 т/га $C_{орг}$ в метровом слое почвы. На вариантах с планируемой урожайностью 3,0 и 4,0 т/га зерна в этот период отмечено повышение поступления количества растительных остатков на 35-61% относительно контроля. В результате этого отмечалось повышение запасов $C_{орг}$ на 5,8 и 4,6 т/га относительно предыдущего периода. На вариантах с NP на 5,0 и 6,0 т/га зерна, поступление растительных остатков было на 80-90% выше контроля, однако не позволило стабилизировать углеродный баланс почвы. Снижение запасов $C_{орг}$ в метровом слое почвы достигало 0,52 и 0,35 т/га в год. С 2015 по 2023 гг. в почву на всех изучаемых вариантах поступило такое же количество расти-

тельных остатков, как и за предыдущие 10 лет исследования. Это произошло по причине проведенной сортосмены в 2015 году на более пластичные сорта к уровню питания. Несмотря на это на естественном питательном фоне продолжала отмечаться ежегодная потеря $C_{орг}$ в размере 0,44 т/га в год. На вариантах с NP на 3,0 и 4,0 т/га зерна, запасы $C_{орг}$ ежегодно повышались, на 0,31 и 0,44 т/га. На высоком уровне питания (NP на 5,0 и 6,0 т/га) баланс углерода продолжал быть отрицательным, где ежегодные потери $C_{орг}$ достигали 0,48 и 0,30 т/га. За 28 лет исследования в зернопаровом севообороте без использования минеральных удобрений запасы $C_{орг}$ в метровом слое уменьшились на 6,6%, что соответствовало 16 т/га. Стабильное внесение NP на 3,0 и 4,0 т/га зерна обеспечило повышение запасов $C_{орг}$ на 10-12 т/га в метровом слое, в то время как высокие дозы удобрений NP на 5,0 и 6,0 т/га приводили к уменьшению запасов $C_{орг}$ на 4,7-6,3%, что соответствовало 11-15 т/га.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005.

Благодарности. Авторы статьи выражают благодарность доктору биологических наук, ведущему научному сотруднику НИИСХ Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра СО РАН Д.И. Еремину.

Список литературы

1. Абрамов Н.В. Производительность агроэкосистем и состояние плодородия почв в Западной Сибири. Тюмень.: Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2013. 254 с.
2. Абрамов Н.В., Еремин Д.И. Проблемы получения максимально возможной урожайности яровой пшеницы в условиях северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2009. № 1(55). С. 31-34.
3. Амиров М. Ф. Интенсивность усвоения углерода полевыми культурами в зависимости от технологии возделывания в условиях Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 14-18. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-14-18>
4. Ахтямова А.А. Роль запахиваемой соломы в стабилизации гумусового состояния пахотных чернозёмов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3(71). С.23-24.
5. Бузуева А.С., Деревягин С.С., Ефимова В.И. [и др.] Особенности развития корневых систем растений различных ценозов в засушливых районах

- Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 3. С. 10-14. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp10-14>
6. Еремин Д.И. Изменение качественного состава гумуса чернозема выщелоченного под действием возрастающих доз минеральных удобрений // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2012. № 6(229). С. 20-26.
 7. Еремин Д.И. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья // Почвоведение. 2016. № 5. С. 584-592. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1605004X>
 8. Еремин Д.И., Ахтямова А.А. К вопросу стабилизации гумусного состояния пахотных черноземов за счет запашки соломы зерновых культур // Вестник КрасГАУ. 2017. № 4(127). С.8-24.
 9. Еремин Д.И., Моисеева М.Н. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на рост и развитие овса в лесостепи Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1(87). С. 49-55.
 10. Иванов А.Л., Столбовой В.С. Инициатива «4 промилле» - новый глобальный вызов для почв России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2019. № 98. С. 185-202. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202>
 11. Казак А.А., Логинов Ю.П., Еремин Д.И. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество семян сортов пшеницы в северной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. № 3. С. 219-229. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.219-229>
 12. Кубасов И.А. Динамика накопления надземной массы пшеницы при длительном применении удобрений // Агронаука. 2023. № 4. С. 5-11. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-1-4-5-11>
 13. Медведев И.Ф., Сиренко Ф.В., Ефимова В.И., Деревягин С.С. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 8. С. 6-10.
 14. Постников П.А. Продуктивность севооборотов при использовании приемов биологизации // Аграрный вестник Урала. 2015. № 6(136). С. 20-23.
 15. Свиридов В.И. Формирование бездефицитного баланса почвенного гумуса как необходимое условие совершенствования севооборотов в лесостепной зоне Европейской части Российской Федерации // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 5. С. 6-12.
 16. Akhtariyev R., Miller E., Miller S., Rzaeva V. Corn yield per silo depending on the elements of cultivation technology in Western Siberia // Earth and Envi-

- ronmental Science. 2021 Vol. 839(2) P. 022069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022069>
17. Ankit L., Saha L., Baudh K., Kishor V. Impacts of synthetic pesticides on soil health and non-targeted flora and fauna // Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture. 2020. P. 65-88. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_4
 18. Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Y. [et al.] Soils of Cryogenic Landforms in the South of the Vitim Plateau: Distribution and Role in the Allocation of Soil Carbon Pools // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 9. P. 1019-1027. <https://doi.org/10.1134/S1064229319090023>
 19. Demin E., Barabanshchikova L. Mineral fertilizers influence on the dynamics of nitrogen, phosphorus and potassium in corn area grown in the forest-steppe zone of Trans-Urals // Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839. P. 22080. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022080>
 20. Eremin D.I., Demin E.A. The nature of organic carbon and total nitrogen distribution in the fractions of leached chernozem aggregates and gray soil in Western Siberia // Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1043(1). P. 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012016>
 21. Eremin D. I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 5. P. 538-545. doi.org/10.1134/S1064229316050033
 22. Eremina D., Eremin D. Fertility of agrogenic and postagrogenic chernozems of Western Siberia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science // International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry. 2019. Vol. 403. P. 012173. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012173>
 23. Feliciano D., Hunter C., Slee B., Smith P. Selecting land-based mitigation practices to reduce GHG emissions from the rural land use sector // North East Scotland Journal of Environmental Management. 2013. Vol. 120. P. 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.010>
 24. Kätterer T., Berglund K., Kirchmann H., Bolinder M. Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in Northern Europe // Acta agriculturae scandinavica. Section: Animal Science. 2012 Vol. 62. P. 181-198. <https://doi.org/10.1080/09064702.2013.779316>
 25. Olifir Y., Habryiel A., Partyka T., Havryshko O. Carbon dioxide emission and humus status of Albic Stagnic Luvisol under different fertilization regimes // Bio-systems Diversity. 2020. Vol. 28 P. 320-328. <https://doi.org/10.15421/012040>
 26. Ryzhova I., Podvezennaya M. Spatial variability of the organic carbon pool in soils of forest and steppe biogeocenoses // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41 P. 1260-1267. <https://doi.org/10.1134/S106422930812003X>

27. Smith P Agricultural greenhouse gas mitigation potential globally, in Europe and in the UK: What have we learnt in the last 20 years? // *Global Change Biology*. 2012 Vol. 18. P. 35-43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02517.x>
28. Sosulski T., Amit K. S., Hella E. A., Bożena S., Magdalena S. Carbon Storage Potential and Carbon Dioxide Emissions from Mineral-Fertilized and Manured Soil // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 7. P. 4620. <https://doi.org/10.3390/app13074620>
29. Yang T., Lupwayi N., Marc S. Anthropogenic drivers of soil microbial communities and impacts on soil biological functions in agroecosystems // *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 27. P. 01521. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01521>

References

1. Abramov N.V. *Proizvoditel'nost' agroekosistem i sostoyanie plodorodiya pochv v Zapadnoy Sibiri* [Productivity of agroecosystems and soil fertility in Western Siberia]. Tyumen', Gosudarstvennyy agrarnyy universitet Severnogo Zaural'ya, 2013. 253 p.
2. Abramov N.V., Eremin D.I. Problemy polucheniya maksimal'no vozmozhnoy urozhaynosti yarovoy pshenitsy v usloviyakh severnogo Zaural'ya [Problems of obtaining the maximum possible yield of spring wheat in the conditions of the northern Trans-Urals]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals]. 2009, no. 1(55). pp. 31-34.
3. Amirov M.F. Intensivnost' usvoeniya ugleroda polevymi kul'turami v zavisimosti ot tekhnologii vzdelyvaniya v usloviyakh Respubliki Tatarstan [The intensity of carbon assimilation by field crops depending on cultivation technology in the conditions of the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Agrarian University], 2021, no. 3(63). pp. 14-18. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-14-18>
4. Akhtyamova A.A. Rol' zapakhivaemoy solomy v stabilizatsii gumusovogo sostoyaniya pakhotnykh chernozemov [The role of plowed straw in stabilizing the humus state of arable chernozems]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2018. no. 3(71). pp. 23-24.
5. Buzueva A.S., Derevyagin S.S., Efimova V.I. [i dr.] Osobennosti razvitiya kornevykh sistem rasteniy razlichnykh tsenozov v zasushlivykh rayonakh Povolzh'ya [Features of the development of root systems of plants of various cenoses in the arid regions of the Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural scientific journal], 2022, no. 3, pp. 10-14. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i3pp10-14>

6. Eremin D.I. Izmenenie kachestvennogo sostava gumusa chernozema vyshchelochnenogo pod deystviem vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy [Changes in the qualitative composition of leached chernozem humus under the influence of increasing doses of mineral fertilizers]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Siberian Bulletin of Agricultural Science], 2012. no. 6(229), pp. 20-26.
7. Eremin D.I. Izmenenie soderzhaniya i kachestva gumusa pri sel'skokhozyaystvennom ispol'zovanii chernozema vyshchelochnenogo lesostepnoy zony Zaural'ya [Changes in the content and quality of humus during the agricultural use of leached chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2016, no. 5, pp. 584-592. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1605004X>
8. Eremin D.I., Akhtyamova A.A. K voprosu stabilizatsii gumusnogo sostoyaniya pakhotnykh chernozemov za schet zapashki solomy zernovykh kul'tur [On the issue of stabilizing the humus state of arable chernozems by plowing grain crops straw], *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2017, no. 4(127), pp. 8-24.
9. Eremin D.I., Moiseeva M.N. Vliyanie vozrastayushchikh doz mineral'nykh udobreniy na rost i razvitie ovsa v lesostepi Zaural'ya [The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the growth and development of oats in the forest-steppe of the Trans-Ural region]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [News of the Orenburg State Agrarian University], 2021, no. 1(87), pp. 49-55.
10. Ivanov A.L., Stolbovoy V.S. Initsiativa "4 promille" - novyy global'nyy vyzov dlya pochv Rossii [The 4 ppm initiative is a new global challenge for Russian soils]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Bulletin of the Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva], 2019. no. 98, pp. 185-202. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202>
11. Kazak A.A., Loginov Yu.P., Eremin D.I. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' i kachestvo semyan sortov pshenitsy v severnoy lesostepi Tyumenskoy oblasti [The influence of mineral fertilizers on the yield and quality of seeds of wheat varieties in the northern forest-steppe of the Tyumen region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agricultural science of the Euro-North-East], 2019, no. 3, pp. 219-229. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.3.219-229>
12. Kubasov I.A. Dinamika nakopleniya nadzemnoy massy pshenitsy pri dlitel'nom primenении udobreniy [Dynamics of accumulation of above-ground mass of wheat with long-term use of fertilizers]. *Agronauka* [Agroscience], 2023, no. 4, pp. 5-11. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-1-4-5-11>

13. Medvedev I.F., Sirenko F.V., Efimova V.I., Derevyagin S.S. Dinamika razvitiya kornevoy sistemy yarovoy pshenitsy v usloviyakh aktivnogo proyavleniya zasukh i razlichnoy obespechennosti elementami pitaniya rasteniy [Dynamics of development of the root system of spring wheat under conditions of active droughts and varying supply of plant nutrients]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 2013, no. 8, pp. 6-10.
14. Postnikov P.A. Produktivnost' sevooborotov pri ispol'zovanii priemov biologizatsii [Productivity of crop rotations using biologization techniques]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2015, no. 6(136), pp. 20-23.
15. Sviridov V.I. Formirovanie bezdefitsitnogo balansa pochvennogo gumusa kak neobkhodimoe uslovie sovershenstvovaniya sevooborotov v lesostepnoy zone Evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii [Formation of a deficit-free balance of soil humus as a necessary condition for improving crop rotations in the forest-steppe zone of the European part of the Russian Federation]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2020, no. 5, pp. 6-12.
16. Akhtariyev R., Miller E., Miller S., Rzaeva V. Corn yield per silo depending on the elements of cultivation technology in Western Siberia. *Earth and Environmental Science*, 2021, no. 839(2), pp. 022069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022069>
17. Ankit L., Saha L., Baudhh K., Kishor V. Impacts of synthetic pesticides on soil health and non-targeted flora and fauna. *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture*. 2020, pp. 65-88. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_4
18. Chimitdorzhieva G.D, Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Y. [et al.] Soils of Cryogenic Landforms in the South of the Vitim Plateau: Distribution and Role in the Allocation of Soil Carbon Pools. *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 9, pp. 1019-1027. <https://doi.org/10.1134/S1064229319090023>
19. Demin E., Barabanshchikova L. Mineral fertilizers influence on the dynamics of nitrogen, phosphorus and potassium in corn area grown in the forest-steppe zone of Trans-Urals. *Earth and Environmental Science*, 2021, Vol. 839, pp. 22080. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022080>
20. Eremin D.I., Demin E.A. The nature of organic carbon and total nitrogen distribution in the fractions of leached chernozem aggregates and gray soil in Western Siberia. *Earth and Environmental Science* [this link is disabled](#), 2022, Vol. 1043(1), pp. 012016. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012016>

21. Eremin D.I. Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use. *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 5, pp. 538-545. doi.org/10.1134/S1064229316050033
22. Eremina D., Eremin D. Fertility of agrogenic and postagrogenic chernozems of Western Siberia IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. *International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry*. 2019, Vol. 403, pp. 012173. https://doi.org/10.1088/1755-1315/403/1/012173
23. Feliciano D., Hunter C., Slee B., Smith P. Selecting land-based mitigation practices to reduce GHG emissions from the rural land use sector. *North East Scotland Journal of Environmental Management*. 2013, Vol. 120, pp. 93-104. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.010
24. Kätterer T., Berglund K., Kirchmann H., Bolinder M. Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in Northern Europe. *Acta griciculturae candinavica. Section: AnimalScience*, 2012, Vol. 62, pp. 181-198. https://doi.org/10.1080/09064702.2013.779316
25. Olafir Y., Habryiel A., Partyka T., Havryshko O. Carbon dioxide emission and humus status of AlbicStagnicLuvisol under different fertilization regimes. *Bio-systems Diversity*, 2020, Vol. 28, pp. 320-328. https://doi.org/10.15421/012040
26. Ryzhova I., Podvezennaya M. Spatial variability of the organic carbon pool in soils of forest and steppe biogeocenoses. *Eurasian Soil Science*. 2008, Vol. 41, pp. 1260-1267. https://doi.org/10.1134/S106422930812003X
27. Smith P. Agricultural greenhouse gas mitigation potential globally, in Europe and in the UK: What have we learnt in the last 20 years? *Global Change Biology*, 2012, Vol. 18, pp. 35-43. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02517.x
28. Sosulski T., Amit K.S., Hella E.A., Bożena S., Magdalena S. Carbon Storage Potential and Carbon Dioxide Emissions from Mineral-Fertilized and Manured Soil. *Applied Sciences*. 2023, Vol. 7, pp. 4620. https://doi.org/10.3390/app13074620
29. Yang T., Lupwayi N., Marc S. Anthropogenic drivers of soil microbial communities and impacts on soil biological functions in agroecosystems. *Global Ecology and Conservation*. 2021, Vol. 27, pp. 01521. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01521

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дёмин Евгений Александрович, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»
ул. Республики, 7, Тюмень, 625003, Российская Федерация
gambitn2013@yandex.ru*

Миллер Станислав Сергеевич, канд. с.-х. наук, доцент кафедры земледелия

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»
ул. Республики, 7, Тюмень, 625003, Российская Федерация
millerss@gausz.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy A. Demin, Ph.D. Agricultural Sciences, Senior Researcher

*State Agrarian University of the Northern Trans-Urals
7, Respubliki Str., Tyumen, 625003, Russian Federation
gambitn2013@yandex.ru
SPIN-code: 4431-2188
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3678>
ResearcherID: P-2963-2017*

Stanislav S. Miller, Ph.D. Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Agriculture

*State Agrarian University of the Northern Trans-Urals
7, Respubliki Str., Tyumen, 625003, Russian Federation
millerss@gausz.ru
SPIN-code: 9819-3821
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-0142>
ResearcherID: JKI-2449-2023*

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 02.04.2024

Принята 11.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 02.04.2024

Accepted 11.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-942

UDC 631.85



Original article

EVALUATION OF THE CONTENT OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN THE LEAVES OF GARDEN STRAWBERRY (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH.) UNDER DIFFERENT MINERAL NUTRITION SYSTEMS

A.D. Kotelnikova, M.A. Shishkin, I.M. Bamatov

*The use of mineral fertilizers is a necessary practice that contributes to realizing the yield potential of crops. However, the efficiency of nutrient utilization by plants remains low, which can lead to non-productive losses and negative environmental consequences. One of the possible solutions is the use of fertilizers of prolonged action, including modern Russian developments in the field of polymer-modified fertilizers (PMFs). In this work we evaluated the changes in the content of a number of elements (Ca, P, K, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe) in the leaves of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) cultivars Elizaveta-2, Profusion, Irma under the conditions of different nutrition systems – without fertilizers, with the application of traditional mineral fertilizers, the author's system with the use of PMF (with a polymer content of 5% and 10%) and with the use of a foreign analog of PMF. Strawberry plants were grown under greenhouse conditions, and leaf samples were taken at three vegetative stages – the stage of formation of white fruits, the stage of beginning of fruit ripening, and the stage of ripe fruits. Elemental analysis of the leaves was performed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). Differences between strawberry cultivars and between nutrition systems for plants of the same cultivar were found. At the same time, according to the results of the evaluation of the changes in the content of a number of macro- and microelements in the leaves of strawberry plants at different stages of vegetation under different nutrition systems, no striking regularities were observed that would be characteristic of each variety used in the experiment. However, the increase in the content of Ca, Mg, Cu and Fe observed in a number of cases when using the author's nutrition system may indicate the improvement in the conditions for the uptake of these nutritional elements when using PMF.*

Keywords: *elemental composition; slowly soluble fertilizers; polymer-modified fertilizers; optical-emission spectrometry*

For citation. *Kotelnikova A.D., Shishkin M.A., Bamatov I.M. Evaluation of the Content of Macro- and Microelements in the Leaves of Garden Strawberry (Fragaria ananassa Duch.) under Different Mineral Nutrition Systems. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 288-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-942*

Научная статья

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA ANANASSA DUCH.*) ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

А.Д. Котельникова, М.А. Шишкин, И.М. Баматов

Применение минеральных удобрений – необходимая практика, способствующая реализации потенциальной урожайности сортов. Однако, эффективность использования элементов питания растениями остается низкой, что может приводить к непроизводительным потерям и негативным экологическим последствиям. Одним из возможных решений – использование удобрений пролонгированного действия, в том числе современных отечественных разработок в области полимер-модифицированных удобрений (ПМУ). В работе проведена оценка изменений содержания ряда элементов (Ca, P, K, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe) в листьях земляники садовой (*Fragaria ananassa Duch.*) сортов Елизавета-2, Профьюжен, Ирма в условиях различных систем питания – без внесения удобрений, с внесением традиционных минеральных удобрений, авторской системы с применением ПМУ (с содержанием полимера 5% и 10%) и с применением зарубежного аналога ПМУ. В условиях закрытого грунта выращивали растения земляники, отбирали образцы листьев на трех стадиях вегетации – стадия сформировавшихся плодов белого цвета, стадия начала созревания плодов, стадия созревших плодов. Элементный анализ листьев проводился методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС). Выделены различия как между сортами земляники, так и между системами питания для растений одного сорта. При

этом по результатам оценки изменений содержания ряда макро- и микроэлементов в листьях растений земляники на разных стадиях вегетации при разных системах питания не отмечено ярких закономерностей, которые были бы характерны для каждого сорта, использованного в эксперименте. Однако, отмеченное в ряде случаев увеличение содержания Ca, Mg, Cu и Fe при использовании авторской системы питания может свидетельствовать об улучшении условий для поступления данных элементов питания при использовании ПМУ.

Ключевые слова: элементный состав; минеральные удобрения пролонгированного действия; полимер-модифицированные удобрения; оптико-эмиссионная спектроскопия

Для цитирования. Котельникова А.Д., Шишкин М.А., Баматов И.М. Оценка содержания макро- и микроэлементов в листьях земляники садовой (*Fragaria ananassa* Duch.) при разных системах минерального питания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 288-302. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-942

Introduction

Garden strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) is the most popular berry crop in the world, which is of great economic importance [7; 20]. During the ripening process, strawberry fruits accumulate various biologically valuable substances, the accumulation of which can be influenced by the mineral nutrition of the plants [19]. Balanced mineral nutrition of plants is one of the key factors in realizing the yield potential of varieties and obtaining products of appropriate quality [8].

Deficiency of essential and nutrient elements can lead to significant disturbances in plant growth and development. Moreover, the predominant accumulation of elements in organs other than fruits does not mean that these elements do not play an important role in fruit formation. For example, Ca, which is mainly found in plant organs other than fruits, is thought to affect the firmness of strawberry fruits [18]. It has been shown that the leaves of strawberry plants with misshapen fruits have Ca, Mg, Zn and Cu contents below normal levels [10]. Deficiency of these elements was observed in malformed strawberry fruits, which also affected the reduction of fruit quality parameters – vitamin C content and total anthocyanin content [10]. At the same time, the elemental composition of leaves of strawberries is not only important for yield formation, but also has an independent significance, since leaves can be used as medical raw materials [5]. Essential trace elements also contribute to the formation of

biologically active substances in plant organs, their deficiency can reduce the quality of the yield [4].

Mineral fertilizers, which are the main element of the technology of intensive cultivation of agricultural crops, are most often used to improve the availability of nutrient elements in soils [16]. However, despite significant advances in the development of various modern fertilizer application systems, the efficiency of nutrient use remains low [21]. This can be a limiting factor in increasing strawberry production, with negative economic and environmental consequences [20]. Extended-release fertilizers, such as polymer-modified fertilizers (PMFs), can be considered as a possible solution [9; 17]. Slow release of nutrients can help match the nutrient supply in the soil with the nutrient needs of plants at each stage of development and maintain nutrient availability in the soil [22]. In addition, the gradual dissolution of fertilizers can reduce the negative effects of salts on plants, which is particularly relevant for the cultivation of strawberries, this crop is sensitive to the salt content in the substrate [6; 20].

The aim of this work was to assess changes in the content of a number of macro and microelements in the leaves of garden strawberries of three remonant cultivars (Elizaveta-2, Profusion, Irma) under conditions of different nutrient systems – without fertilizers, with the application of traditional mineral fertilizers (Azofoska 16:16:16 and monoammonium phosphate), author's system (polymer-modified Azofoska16:16:16 and polymer-modified monoammonium phosphate) and with application of foreign analog Osmocote Pro.

Materials and methods

The experiment was conducted in the greenhouse complex of “Scientific and Production Company “Sady Chechnya”” (limited liability company) in the city of Kurchaloy, Chechen Republic, Russia. Strawberries were planted on March 30, 2023 in wooden trays using a drip irrigation system. For growing strawberries in trays, beds were formed by filling soil that was sampled nearby and characterized as southern chernozem. The soil had the following agrochemical characteristics: pH of water extract – 8.3 ± 0.1 , content of organic carbon – 4.0 ± 0.4 %, content of mobile forms of phosphorus – 202 ± 14 mg/kg, content of mobile forms of potassium – 54 ± 17 mg/kg (the characteristics were determined by standardized methods [1, 2, 3], the mean and standard deviation for three replicates are given).

Within the framework of the experiment, 5 different nutrition systems for strawberry were used: control group (without fertilizer, K), traditional system (T), foreign analog of prolonged fertilizer (Osmocote Pro, A), and two author's

nutrition systems with different degree of polymer modification – F5% and F10%. The author's feeding systems, designated as "F5%" and "F10%", were tablet forms of polymer-modified Azofoska and monoammonium phosphate (MAP). The traditional nutrition system used 2 tablets of Azofoska and 1 tablet of MAP per 4 plants. The author's nutrition system included the same fertilizers, but with polymer modification to reduce their solubility and prolong the release of mineral substances into the soil. The polymer content in them was 5% and 10% by weight, respectively, designed for 3 and 6 months of prolonged action of fertilizers. The technology of obtaining these PMFs in different concentrations was previously described [9].

The total amount of active ingredient in the three fertilizer tablets for each nutritional system was the same and amounted to 8.4 g per 4 plants, which was equivalent to 2.1 g per plant. Each Azofoska tablet contained NPK macronutrients in equal proportions, reaching 0.8 g of active ingredient, while the MAP tablet contained 0.6 g of nitrogen and 3 g of phosphorus (P_2O_5). The dosage of fertilizers per plant was calculated on the basis of practical experience in the region and recommendations of the Ministry of Agriculture of Russia, and was 80-85 kg of active ingredient per hectare when planting 35-40 thousand plants per hectare in field conditions. This corresponds to an average of 2.1 g of active ingredient per plant. The fertilizer tablets were applied to the soil on April 6, 2023. The fertilizer tablets were placed in the center of a square, with 4 strawberry plants at the top of the square.

In each group of the experiment there were grown three strawberry cultivars which are in demand in the southern regions of Russia – Elizaveta-2, Profusion, Irma. Selection of different strawberry cultivars was carried out taking into account practical considerations, such as reduction of risks of yield loss, selection of the most productive cultivar, as well as exclusion of possible specific influence of a particular cultivar on the results of using prolonged type of nutrition. There were 45 such beds, three (3 replications) for each of the three cultivars and five nutrition systems.

Leaf samples of strawberry plants were taken at three stages of vegetation: sampling 1 – stage of formed fruit of white color, sampling 2 – stage of the beginning of fruit ripening, fruit of pink color/half of fruit is colored, sampling 3 – stage of ripe fruit. Fully expanded leaves were taken from the center of the bush, without petioles, and washed with distilled water. Samples were dried in a ventilated desiccator at 60°C for 48 hours. Dried leaves were pulverized and digested with nitric acid (HNO_3) using the ETHOS EASY microwave sample digestion system (Milestone, Italy). Elemental analysis of the obtained solutions was performed by

inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (5800 ICP-OES, Agilent Technologies, USA). The concentrations of a number of elements in the samples were measured: Ca, P, K, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Co.

Statistical analysis. The results of the study were processed by nonparametric statistical methods using STATISTICA 10.0 and the R programming language in the R Studio environment. The calculated mean concentration values (M) for each group of samples and standard deviation ($\pm$ SD) are presented in the text and on the graphs. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$ for all tests. The Kraskell-Wallis criterion was used to determine whether there were differences between groups [15]. If the test showed statistically significant differences between groups, the Gao test was used for multiple comparisons between groups [11].

Results and discussion

The analysis of the samples made it possible to estimate the content of a number of macro- and microelements in the leaves of plants of three strawberry cultivars when mineral fertilizers were applied (except for Co, the concentration of which was below the detection limit in all the samples studied < 0.1 mg/kg). The assessment was made for samples of fruit-bearing plants, since it is noted that at these stages of development the most active accumulation of elements by strawberry plant organs occurs [18]. The analysis of the elemental composition of leaves is preferable to the analysis of petioles [14].

When developing new feeding systems and evaluating the performance of existing ones, differences between cultivars should be considered, and the nutritional system should ideally be tailored to the needs of a particular cultivar or group of cultivars with similar needs [18]. Differences in assimilation and transport of mineral nutritional elements and their requirements for different strawberry cultivars can be genetically determined, which affects the content of nutritional elements in the tissues of strawberry plants [13]. Statistically significant differences between plant samples of different cultivars under the same nutritional system were observed in several cases: in group A, sampling 3, Mg content in leaves of plants of cultivar Profusion (4.6 ± 0.3 mg/kg) was significantly higher than in leaves of plants of cultivar Elizaveta (3.3 ± 0.2 mg/kg); in experimental group F5%, sampling 2, Cu content in leaves of plants of cultivar Irma (5.2 ± 1.2 mg/kg) was significantly higher than in leaves of plants of cultivar Profusion (4.8 ± 0.2 mg/kg); in experimental group T, sampling 1, Fe content in leaves of plants of cultivar Profusion (0.15 ± 0.01 mg/g) was significantly higher than in leaves of plants of cultivar Elizaveta (0.08 ± 0.01 mg/g).

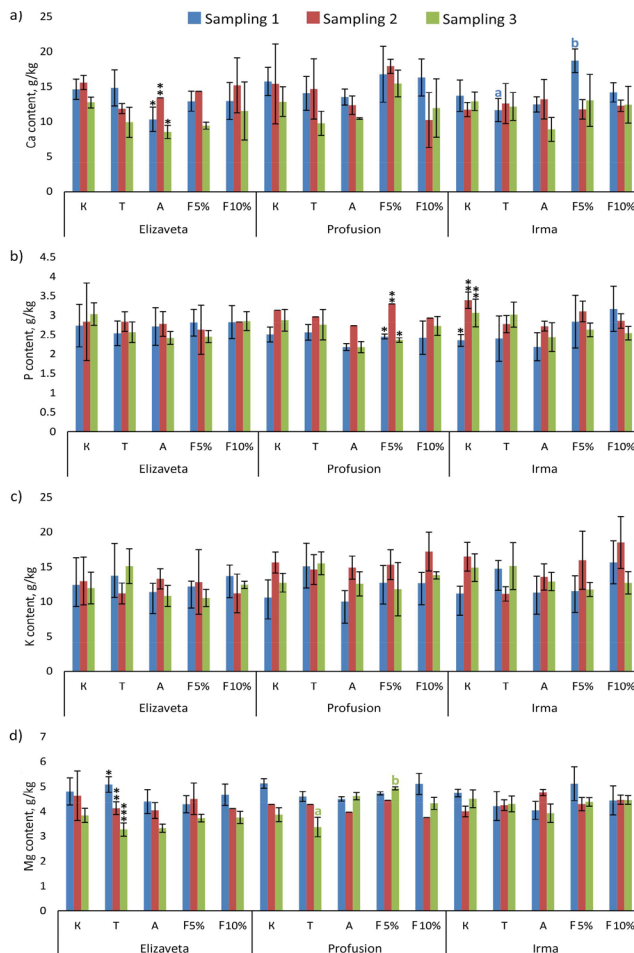


Fig. 1. Content of macronutrients – Ca (a), P (b), K (c), Mg (d) – in leaves of garden strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) plants under cultivation with different fertilizer systems: K – control without fertilizer application, T – traditional system, A – Osmocote Pro, F5% and F10% – author's nutrition systems with different degree of polymer modification ($n=3$, $M\pm SD$). Statistically significant differences for samples of the same cultivar according to the Gao test ($p<0.05$): different letters indicate statistically significantly different groups of the same sampling time and different nutrition systems, different numbers * indicate statistically significantly different groups of the same nutrition system and different sampling times (for groups of samples of the same cultivar).

There are a number of differences in the content of macronutrients between samples of the same plant cultivar and sampling time under different nutrition systems. Thus, for samples of plants of Irma cultivar, sampling 1, Ca content is significantly higher in the F5% experimental group (18.7 ± 1.7 mg/g) compared to the T group (11.7 ± 1.7 mg/g). For plants of Profusion cultivar, sampling 3, leave Mg content was significantly higher in the F5% group (4.9 ± 0.4 mg/g) than in the T group (3.4 ± 0.3 mg/g). No statistically significant differences in P and K content in leaves of plants under different nutrition systems were observed.

Micronutrients (Cu, Mn, Zn, Fe) are necessary for the normal course of many biochemical processes in plants, especially for the functioning of enzymes, which makes the assessment of their content an important task [12]. Differences in Cu content in leaves were observed in samples taken at the beginning of fruit ripening: in cultivar Elizaveta the content was significantly higher in group T (6.4 ± 0.4 mg/kg) compared to F10% (5.5 ± 0.8 mg/kg), in cultivar Irma the content was significantly higher in group F5% (6.1 ± 0.3 mg/kg) compared to group A (4.4 ± 0.4 mg/kg). At the stage of fruit formation the content of Fe in leaves differed: for samples of Elizaveta cultivar the content was significantly higher in the F10% (0.23 ± 0.11 mg/g) compared to the T group (0.08 ± 0.01 mg/g), in samples of Profusion cultivar the content was significantly higher in groups K (0.13 ± 0.01 mg/g) and T (0.15 ± 0.01 mg/g) than in group A (0.08 ± 0.01 mg/g). Mn and Zn contents in leaves of plants of the same cultivar and time of sampling did not differ significantly when comparing different groups of the experiment.

Changes in elemental content of strawberry leaves during the growing season can also be observed. It is difficult to find consistent trends for different cultivars and fertilization systems, but there are a number of significant differences. Thus, at the stage of fruit ripening of Elizaveta cultivar in group A (13.4 ± 0.1 mg/g) Ca content in leaves was statistically significantly higher than at the stage of white fruit formation (10.3 ± 1.7 mg/g) and at the stage of ripe fruit (8.5 ± 0.9 mg/g). This pattern is characteristic for the cultivar Elizaveta and under other nutrition systems, and in general, a decrease in Ca content in leaves of strawberry plants of all cultivars studied can be observed up to the ripe fruit stage. In plants of the Profusion cultivar, an increase in the leaves P content was observed at the stage of the beginning of fruit ripening (sampling 2), when all the nutritional systems studied were used. This change is statistically significant in the F5% group (P content at sampling 2 – 3.3 ± 0.1 mg/g, at sampling 1 – 2.5 ± 0.1 mg/g, at sampling 3 – 2.4 ± 0.1 mg/g).

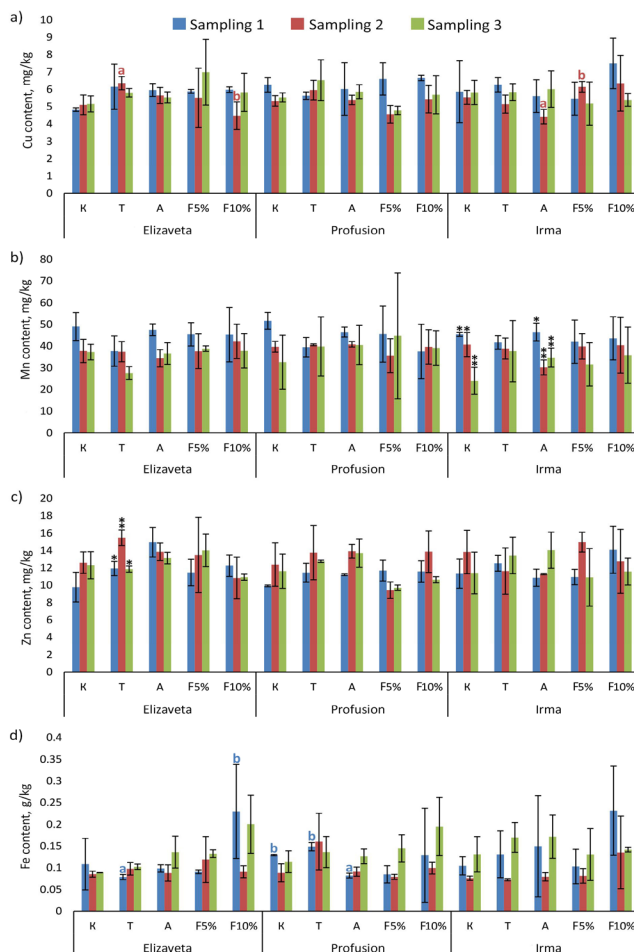


Fig. 2. Content of micronutrients – Cu (a), Mn (b), Zn (c), Fe (d) – in leaves of garden strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) plants under cultivation with different fertilizer systems: K – control without fertilizer application, T – traditional system, A – Osmocote Pro, F5% and F10% – author's nutrition systems with different degree of polymer modification ($n=3$, $M \pm SD$). Statistically significant differences for samples of the same cultivar according to the Gao test ($p < 0.05$): different letters indicate statistically significantly different groups of the same sampling time and different nutrition systems, different numbers * indicate statistically significantly different groups of the same nutrition system and different sampling times (for groups of samples of the same cultivar).

A similar pattern was observed for Zn in some groups of experiments, with statistically significant differences in group T of cultivar Elizaveta (Zn content in sampling 2 – 15.5 ± 0.9 mg/g, in sampling 1 – 11.9 ± 0.8 mg/g, in sampling 3 – 11.9 ± 0.4 mg/g). For Mg in a number of cases there was a decrease in content in later stages of vegetation, the most pronounced in plants of Elizaveta cultivar. Thus, for this cultivar, the differences in group T were statistically significant for all three sampling periods (5.1 ± 0.7 , 4.1 ± 0.3 , 3.3 ± 0.3 mg/g for samples 1, 2 and 3, respectively). The content of Mn in strawberry leaves also decreased in many experimental groups during the vegetation period, and the differences were statistically significant in groups K and A of Irma cultivar. The results obtained may indicate different needs of strawberry plants in macro- and microelements at different stages of development. Namely, an increase in the consumption of Ca, P and Zn at the stage of fruit ripening and a decrease in the consumption of Mg and Mn. Such data can be taken into account in the development of new systems of mineral nutrition of strawberry plants, which can be created according to the needs of plants at different stages of development.

Conclusion

Thus, according to the results of the evaluation of the changes in the content of a number of macro- and microelements in the leaves of strawberry plants at different stages of vegetation under different nutrition systems, no striking regularities were observed that would be characteristic of each cultivar used in the experiment. However, the increase in the content of Ca, Mg, Cu and Fe observed in a number of cases when the author's nutritional system was used may indicate improved conditions for the uptake of these nutritional elements when PMFs is used. Changes in the content of elements in leaves not directly added to the soil with fertilizers could be due to antagonistic or synergistic interactions of elements with each other. The more gradual release of nutrient elements from PMF could result in a more favorable ratio of elements in the soil at certain stages of vegetation than the application of other fertilizer systems. The observed regularities require additional research to confirm or refute them during further vegetation of the plants.

Declaration of competing interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding. This work was supported by Russian Science Foundation grant No. 22-16-00092.

References

1. GOST 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINA0.
2. GOST 26213. Soils. Methods for determination of organic matter.
3. GOST 26423-85. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract.
4. Dokuchaeva Yu.A., Filippova A.V., Safonov M.A. *Izvestiya. Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 3, pp. 139-141.
5. Zaytseva V.N., Gusev N.F., Nemereshina O.N. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010, no. 4, pp. 240-241.
6. Kulyukin A.N., Ammosova N.V. *Agrokimiya*, 2005, no. 2, pp. 46–54.
7. Ozherel'ev V.N., Ozherel'eva M.V., Grin' A.M., Somin V.V. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2019, no. 4(74). pp. 60-66.
8. Trots N.M., Ishkova S.V., Batmanov A.V., Akhmatov D.A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, no. 14. pp. 249-252.
9. Bamatov I.M., Vasilyeva N.A., Vladimirov A.A., Vasiliev T.A., Perevertin K.A. *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2022, no. 113. pp. 90-109. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-113-90-109>
10. Eshghi S., Jamali B. *Hort Environ Biotech*, 2009, no. 50, pp. 397-400.
11. Gao X., Alvo M., Chen J., Li G. *J Stat Plan Inference*, 2008, №138, pp. 2574–2591. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2007.10.015>
12. Gumienna-Kontecka E., Rowińska-Żyrek M., Łuczowski M. *Recent Adv Trace Elem*, 2018, pp. 177–206. <https://doi.org/10.1002/9781119133780.ch9>
13. Hancock J.F., Maas J.L., Shanks C.H., Breen P.J., Luby J.J. *Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops* 290, 1991, pp. 491-548. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1991.290.11>
14. John M.K., Daubeney H.A., McElroy F.D. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1975, no. 100 (5). pp. 513-517. <https://doi.org/10.21273/JASHS.100.5.513>
15. Kruskal W.H., Wallis W.A. *J Am Stat Assoc*, 1952, no. 47, pp. 583-621 <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
16. Kulikov I.M., Pomyaksheva L.V., Konovalov S.N., Tumaeva T.A., Andronova N.V., Borisova A.A., Kelina A.V. *Journal of Biochemical Technology*, 2020, no. 11(3), pp. 84.
17. Liu G., Zotarelli L., Li Y., Dinkins D., Wang Q. *Controlled-release and slow-release fertilizers as nutrient management tools*. Ozoires-Hampton M. USA: US Dep Agric UF/IFAS Ext Serv Univ Florida, IFAS, 2014. <https://doi.org/10.32473/edis-hs1255-2014>

18. Nestby R., Lieten F., Pivot D., Lacroix C.R., Tagliavini M. *International Journal of Fruit Science*, 2005, no. 5(1), pp. 139-156. https://doi.org/10.1300/J492v05n01_13
19. Pomyaksheva L.V., Kononov S.N. *Sadovod i Vinograd*, 2019, pp. 18-24. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-2-18-24>
20. Rahman M.H., Hasan M.N., Khan M.Z.H. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2021, no. 6, pp. 100246. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100246>
21. Shaviv A. *Advances in Agronomy*, 2001, no. 71, pp. 1-49. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5)
22. Wesołowska M., Rymarczyk J., Góra R., Baranowski P., Sławiński C., Klimczyk M., Supryn G., Schimmelpfennig L. *Int Agrophysics*, 2021, no. 35, pp. 11-24. <https://doi.org/10.31545/intagr/131184>

Список литературы

1. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО.
2. ГОСТ 26213. Почвы. Методы определения органического вещества.
3. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки.
4. Докучаева Ю.А., Филиппова А.В., Сафонов М.А. Особенности накопления микроэлементов в тканях *Fragaria viridis* (Duch.) Weston // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 139-141.
5. Зайцева В.Н., Гусев Н.Ф., Немерешина О.Н. К вопросу содержания микроэлементов в наземных органах *Fragaria viridis* (Duch.) Weston Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2010. № 4. С. 240-241.
6. Кулюкин А.Н., Аммосова Н.В. Влияние удобрений на усообразовательную способность земляники и содержание питательных элементов в листьях и субстрате // Агрохимия. 2005. № 2. С. 46–54.
7. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В., Гринь А.М., Сомин В.В. Динамика производства ягод земляники садовой по странам мира // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019: № 4 (74). С. 60-66.
8. Троц Н.М., Ишкова С.В., Батманов А.В., Ахматов Д.А. Особенности аккумуляции макроэлементов и тяжелых металлов в почве и растениях земляники садовой (*Fragaria Ananassa*) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. № 14. С. 249-252.
9. Bamatov I.M., Vasilyeva N.A., Vladimirov A.A., Vasiliev T.A., Perevertin K.A. Influence of polymer modification of complex fertilizer on the efficiency of phosphorus and potassium use by winter wheat on the southern chernozem // Do-

- kuchaev Soil Bulletin. 2022. № 113. P. 90-109. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-113-90-109>
10. Eshghi S., Jamali B. Leaf and fruit mineral composition and quality in relation to production of malformed strawberry fruits // Hort Environ Biotech. 2009. № 50. P. 397-400.
 11. Gao X., Alvo M., Chen J., Li G. Nonparametric multiple comparison procedures for unbalanced one-way factorial designs // J Stat Plan Inference. 2008. №138. P. 2574–2591. <https://doi.org/10.1016/j.jspi.2007.10.015>
 12. Gumienna-Kontecka E., Rowińska-Żyrek M., Łuczowski M. The role of trace elements in living organisms // Recent Adv Trace Elem. 2018. P. 177–206. <https://doi.org/10.1002/9781119133780.ch9>
 13. Hancock J.F., Maas J.L., Shanks C.H., Breen P.J., Luby J.J. Strawberries (*Fragaria*) // Genetic Resources of Temperate Fruit and Nut Crops 290. 1991. P. 491-548. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1991.290.11>
 14. John M.K., Daubeney H.A., McElroy F.D. Influence of Sampling Time on Elemental Composition of Strawberry Leaves and Petioles1 // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1975. № 100 (5). P. 513-517. <https://doi.org/10.21273/JASHS.100.5.513>
 15. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // J Am Stat Assoc. 1952. № 47. P. 583-621 <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
 16. Kulikov I.M., Pomyaksheva L.V., Konovalov S.N., Tumaeva T.A., Andronova N.V., Borisova A.A., Kelina A.V. The Effect of Fertigation Frequency on the Chemical Composition of Strawberry in Moscow Region //Journal of Biochemical Technology. 2020. № 11(3). P. 84.
 17. Controlled-release and slow-release fertilizers as nutrient management tools / Liu G., Zotarelli L., Li Y., Dinkins D., Wang Q. Ozores-Hampton M. USA: US Dep Agric UF/IFAS Ext Serv Univ Florida, IFAS, 2014. <https://doi.org/10.32473/edis-hs1255-2014>
 18. Nestby R., Lieten F., Pivot D., Lacroix C.R., Tagliavini M. Tagliavini Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs: a review // International Journal of Fruit Science. 2005. №. 5(1). P. 139-156. https://doi.org/10.1300/J492v05n01_13
 19. Pomyaksheva L.V., Konovalov S.N. Biochemical and chemical composition of strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) when cultivated with drip irrigation and fertigation on so d-podzolic soil // Sadovod i Vinograd. 2019. P. 18-24. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-2-18-24>
 20. Rahman M.H., Hasan M.N., Khan M.Z.H. Study on different nano fertilizers influencing the growth, proximate composition and antioxidant properties of

- strawberry fruits // Journal of Agriculture and Food Research. 2021. № 6. P. 100246. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100246>
21. Shaviv A. Advances in controlled-release fertilizers // Advances in Agronomy. 2001. № 71. P. 1-49. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(01\)71011-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(01)71011-5)
22. Wesołowska M., Rymarczyk J., Góra R., Baranowski P., Sławiński C., Klimczyk M., Supryn G., Schimmelpfennig L. New slow-release fertilizers-economic, legal and practical aspects: a Review // Int Agrophysics. 2021. № 35. P. 11-24. <https://doi.org/10.31545/intagr/131184>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna D. Kotelnikova: study conception and design, data collection and analysis, drafting of the manuscript.

Mikhail A. Shishkin: data collection and analysis.

Ibragim M. Bamatov: study conception and design, editing of the draft of the manuscript.

ВКЛАД АВТОРОВ

Котельникова А.Д.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, написание рукописи.

Шишкин М.А.: сбор и анализ данных.

Баматов И.М.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna D. Kotelnikova, Ph.D., Senior Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils
Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation
a.d.kotelnikova@gmail.com
SPIN-code: 4451-8172
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0515-6114>
ResearcherID: AAN-5480-2020
Scopus Author ID: 57204056367

Mikhail A. Shishkin, Junior Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils
Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation
wild9chemist@gmail.com

SPIN-code: 3248-1854

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2320-6645>

Scopus Author ID: 57192555670

Ibragim M. Bamatov, Ph.D., Researcher

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation

ibragim-1991@mail.ru

SPIN-code: 5831-9758

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9098-5012>

ResearcherID: rid74567

Scopus Author ID: 5720039094

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Котельникова Анна Дмитриевна, кандидат биологических наук, стар-

ший научный сотрудник отдела химии и физико-химии почв

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.

В.В. Докучаева»

Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация

a.d.kotelnikova@gmail.ru

Шишкин Михаил Александрович, младший научный сотрудник отдела

химии и физико-химии почв

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.

В.В. Докучаева»

Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация

wild9chemist@gmail.com

Баматов Ибрагим Мусаевич, кандидат биологических наук, научный со-

трудник отдела агроэкологической оценки почв и проектирования

агроландшафтов

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.

В.В. Докучаева»

Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация

ibragim-1991@mail.ru

Поступила 14.02.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 29.03.2024

Received 14.02.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 29.03.2024

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-978

UDC 630*181



Original article

**RECOVERY OF THE SOIL
AND PLANT COVER IN THE SKID TRAILS
AFTER THINNING IN MYRTILLUS TYPE FORESTS
OF THE NORTHERN TAIGA**

A.S. Ilintsev, E.N. Nakvasina, I.B. Amosova

Disturbance of soil and plant cover caused by logging operations results in various damages and can give rise to soil degradation and plant succession. We studied the recovery of soil and plant cover in the damaged skid trails of different periods after two-stage thinning of the Piceeta myrtillosum type forest. Thinning was conducted in 1973 and in 2002. The in-situ soil cover is represented by podzolic light loamy soil overlying heavy moraine loam. Tree-felling was carried out using a chainsaw, and tree-length skidding was carried out using a TDT-55 cable skidder. We studied the species composition and species ratios for different ecological groups of grass-shrub and moss layers, forest litter formation and soil properties and found higher plant species diversity in the skid trails and dissemination of the wetland group species, with Sphagnum mosses being indicators of swamping. These features provide thicker forest litter in the skid trails rather than in cut strips in the course of plant cover restoration. Due to swamping, the thickness of the forest litter increases in the process of succession. In the course of the natural recovery of the skid trails, the most significant changes of the soil were observed at the depth of 0–10 cm. The bulk density in the upper layer of the soil significantly reduces to 0.85–0.98 g.cm⁻³, when that of the cut strips is 1.19 g.cm⁻³. This results in organogenic substances associated with detritus decomposition and peat litter formation entering into the mineral part of the soil. At the depth of 10–20 cm, compaction caused by machinery passage is noted both 17 years and 46 years after thinning. In the myrtillosum

*forest type, the recovery of plant and soil cover typical of *Piceeta myrtillosum* in the conditions of the northern taiga subzone, was not observed for 50 years.*

Keywords: thinning; skid trails; cutting strips; soil disturbance; soil physical properties

For citation. Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Amosova I.B. Recovery of the Soil and Plant Cover in the Skid Trails after Thinning in Myrtillus Type Forests of the Northern Taiga. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 303-325. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-978

Научная статья

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ВОЛОКАХ ПОСЛЕ РУБОК УХОДА В ЧЕРНИЧНОМ ТИПЕ ЛЕСА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

А.С. Ильинцев, Е.Н. Наквасина, И.Б. Амосова

Нарушение почвенного и растительного покровов при лесозаготовительных работах вызывает повреждения разных типов и может привести к деградации почв и к сукцессиям растительности. Изучили процесс восстановления почвенного и растительного покровов на поврежденных лесозаготовительной техникой волоках разного периода при проведении двухприемных рубок ухода в ельнике черничном северной подзоны тайги (Архангельская область, Россия). Двухприемные рубки проводились в 1973 г. и в 2002 г. Почвенный покров на участке представлен подзолистой легкосуглинистой почвой, сформированной на тяжелом моренном суглинке. Рубку проводили бензопилой, трелевку хлыстами гусеничным трактором ТДТ-55. Изучили видовой состав и соотношение видов разных экологических групп травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов, формирование лесной подстилки и свойства почвенных горизонтов. Установлено повышение видового разнообразия растительности на волоках, появление видов водно-болотной группы, в том числе Сфагновых мхов, которые являются индикаторами заболачивания. Это ведет к увеличению мощности лесной подстилки на волоках по мере восстановления растительного покрова по сравнению с пашей. Мощность лесной подстилки из-за оторфянивания растет в процессе сукцессии. При естественном зарастании волоков после рубки наиболее значимые изменения происходят

в почве на глубине 0-10 см. Плотность сложения в верхнем слое почвы заметно снижается до 0,85-0,98 г/см³, по сравнению с пасекой (1,19 г/см³). Это связано с поступлением в минеральную часть почвы органогенных веществ, связанных с разложением детрита и формированием торфяной подстилки. На глубине 10-20 см уплотнение, вызванное проездами техники, отмечается и через 17 лет после рубки, и через 46 лет. За 50 лет в черничном типе леса в условиях подзоны северной тайги восстановление растительного и почвенного покровов, характерного для данных условий не происходит.

Ключевые слова: рубки ухода; трелевочные волока; пасеки; нарушение почвы; физические свойства почвы

Для цитирования. Ильинцев А.С., Наквасина Е.Н., Амосова И.Б. Восстановление почвенного и растительного покрова на волоках после рубок ухода в черничном типе леса северной тайги // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 303-325. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-978

Introduction

Issues of compliance with forest ecology, especially during logging operations, are of increasing concern to scientists. Particular attention has been paid to the damage to the soil cover, which is one of the most important factors of ecosystem productivity and forest regeneration [24]. Disturbance of the soil cover during logging operations is primarily due to the damage of various types caused by machinery operations, which gives rise to soil degradation [25]. The degree of soil damage depends on the habitat conditions and the machinery and wood harvesting systems used [27; 33] and is more noticeable in the upper organogenic horizons than in the mineral layers [2].

Issues relating to the possibility and duration of damaged soil and plant cover restoration are also important. Undoubtedly, the recovery of the soil and plant cover after damage resulting from logging machinery operations is associated with the duration of the period after felling [20; 28; 30; 32; 35]; however, it also depends on growing conditions, soil properties and the impacted depth [20; 23]. Plant cover recovery and soil cover recovery within damaged areas are interconnected. Dispersal and successful plant and tree growth depends on soil properties [26; 38]; however, the rates of the regenerative successions of plants and soils may be different and depend on changes in the physical properties, as well as in the chemical and biological properties of soils, that occur as a result of the logging machinery impact [25; 40].

For the development of low-impact (nature-friendly) wood harvesting systems and new logging machines, and for the revision of technological processes,

it is important to obtain information on the impact of logging in different soil and weather conditions and when using different operational technologies both for clear-cut and thinning areas.

The purpose of this research is to study the soil and plant cover recovery in the skid trails of different periods damaged by skidders during two-stage thinning of the *Piceeta myrtillosum* type forests in the northern taiga subzone to find solutions to problems arising from the duration of the recovery period.

The hypothesis of the study is as follows. Under the impact of the relatively light machinery used in thinning areas of a *Piceeta myrtillosum* type forest of the northern taiga subzone: 1) the disturbances of the plant and soil cover in the skid trails covered with felling residue will have a long recovery period, and 2) these changes will be accompanied by the growth of moisture-loving plants and the development of swamping, even without the formation of deep ruts.

Material and Methods

The research was conducted in 2019–2020 at the thinning area in the Ust-Dvinsky forest district in the Arkhangelsk region (northern taiga subzone). The plots are located by the following coordinates: 64°46'N 40°94'E. Two-stage thinning was carried out in 1973 and in 2002 in a mixed forest stand with the following composition: 60% spruce (*Picea abies* /L./ H.Karst); 30% pine (*Pinus sylvestris* L.); 10% birch (*Betula pendula* Roth.) and a single aspen (*Populus tremula* L.). The soil cover in the site is podzolic sandy loamy soil, which is typical of *myrtillosum* spruce forests of the northern taiga, underlain by heavy moraine loam.

In the forest stand, primary skid trails were cut for passage of a skidder of 4 m width, with 30 m space on the first stage and shifting 10 m towards the cutting strip on the second stage. For the wood harvesting system, the tree-length system was used. Tree felling was carried out using a chainsaw, and trunk skidding was carried out using a TDT-55 tracked skidder. Felling residues were laid on the skid trails; however, due to the low intensity of thinning (38.9 m³/ha⁻¹), the felling residues covered only 32% of the skid trail area [1], which undoubtedly impacted the soil cover damage.

This survey was conducted in three cut strips and skid trails in *Piceeta myrtillosum* forests. The natural tree regeneration and plant cover were assessed according to generally accepted methods. To estimate the undergrowth, five plots of 2 × 5 m size were laid in each cut strip and each skid trail; the obtained data was collected by species and reduced to an area of 1 ha. The undergrowth was estimated using three size categories: small (height up to 0.5 m), medium (height of 0.51 m to 1.5 m), and large (height over 1.51 m).

The geobotanical assessment of the plant cover within the study plots was performed using traditional methods [15]. An ecological and biological assessment of the plant cover was conducted using modern methodological approaches [7; 15], and total projective coverage of the grass-shrub and moss layers, along with the projective coverage for each species were determined. The identification of plant species was conducted using standard determinants for the flora of the north-east of the European part of Russia taken from an atlas of plant and lichen species and an illustrated guide to plant identification [11]. The names of vascular and non-vascular plants were given according to the international database [39]. Ecological analysis was used to study the differentiation of the grass-shrub and moss layers [11]. The distribution of the moss layer species by ecological-cenotic groups was carried out according to Kireev et al [8], and a comparative floral assessment was conducted using the Shannon [36] and Jacquard [12] indices.

To study the structure and types of soil damage in the skid trails, along the skidder tracks (“the edge of the skid trail”) between them (“the centre of the skid trail”) and in the cut strips – the upper soil horizons were opened to a depth of at least 40 cm. It is only at this depth that soil damage from logging can be diagnosed [4]. The soil was opened with 2 m space. The total number of test points was 180.

Each pit was described, in accordance with Shishov et al. [9], in terms of its horizons detection, thickness measurement and genetic signs (gleying, swamping, etc.). Undisturbed samples of forest litter and soil were taken from depths of 0–10 cm and 10–20 cm to determine their physical properties. The number of samples of forest litter was as follows: 28 for the edge of the skid trails (1973), 16 for the centre of the skid trails (1973), 28 for the edge of the skid trails (2002), 16 for the centre of the skid trails (2002) and 16 for the cut strips. The same number of soil samples were taken at depths of 0–10 cm and 10–20 cm.

The bulk density was calculated by Formula 1 [31]:

$$D_b = \frac{W_D}{V}, \quad (1)$$

Where: D_b is bulk density, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; W_D is the dry soil weight; V is cylinder or template frame volume, cm^3 .

The density of the solid phase was determined pycnometrically for each soil sample in 2 repetitions. The bulk density and the density of the solid phase were used to calculate the total porosity, which was determined by the following Formula 2:

$$\varphi = \left(1 - \frac{D_b}{D_d}\right) \cdot 100, \quad (2)$$

Where: φ is total porosity, %; D_d is density of the solid phase, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

The mean value, standard error, minimum and maximum values and coefficient of variability were calculated for the physical properties of the forest litter and the soil. To establish the differences between the studied physical properties, a nonparametric one-way analysis of variance (ANOVA) was used. When rejecting the null hypothesis, subsequent multiple comparisons were used to establish the differences between the groups (the Kruskal–Wallis test). All statistical analyses were performed at a 0.05 significance level, and data processing and analysis conducted out using STATISTICA version 12.

Results

The natural renewal of trees in the skid trails of different ages resulting from thinning differs from that in the cut strips (Figure 1). In the cut strips, the common composition of undergrowth is 60% spruce, 37% aspen and 3% birch, with a total number of 5.6 thousand plants per hectare.

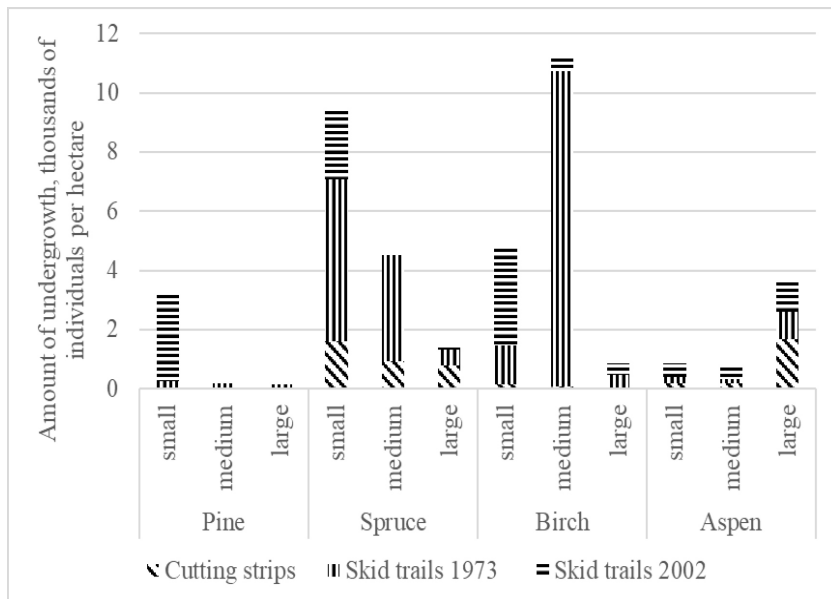


Fig. 1. The amount of undergrowth at the study sites (thousands of individuals per hectare)

The undergrowth in the 1973 skid trails (46 years after thinning) and the 2002 skid trails (17 years after thinning) differs, which could be a result of the coincidence or non-coincidence of the felling years and seed years, primarily for conifers. In the 1973 skid trails, the undergrowth composition is 50% spruce, 43% birch, 5% aspen and 2% pine, with an average number of over 20 thousand plants per hectare. The predominant spruce undergrowth belongs to different size categories. In the 2002 skid trails, forest renewal takes place primarily due to birch and aspen, while the undergrowth represented by pine and spruce is sparse, weakened. The composition of the undergrowth is 36% birch, 26% pine, 22% spruce and 16% aspen, with an average number of 11.5 thousand plants per hectare.

The highest Shannon index is observed in the 1973 skid trails (Table 1), due to the presence of pronounced nano- and microrelief in the sites of this variant (increases from overgrown deadwood and stumps, micro-subsidence and ruts). The state of the 2002 skid trails was very similar, but the diversity index was lower. In this variant, there were more dominant plants in the plots in comparison with the 1973 skid trails.

Table 1.

Characteristics of the grass-shrub layer at the study sites

Location	Number of sub-plots	Species diversity (Shannon index)	Number of species	The ratio of species of different ecological groups		
				forest	meadow	wetlands
Cutting strips	10	1,74	23	99/75*	1/ 1	-
1973 skid trails	9	1,95	26	80/50	12/5	8/5
2002 skid trails	9	1,71	27	74/55	7/1	19/10

*In the numerator - % of the total number of species; in the denominator - projective coverage, %.

The Jacquard index also showed high similarity rates for the cut strips and the skid trails (51.5-53%); however, the 1973 and 2002 skid trails differ significantly ($I=39\%$), which could be attributed to plant succession.

Ecological-cenotic analysis of the grass-shrub layer showed the dominance of the forest group of species in all variants, both in terms of species richness and projective coverage.

A similar ratio of ecological-cenotic groups was also noted within the moss layer (Table 2).

Table 2.

The ratio of ecological-cenotic groups of moss layer at the study sites

Location	Number of species	Ecological and cenotic groups of species			
		forest	wet forests	forest and swamp	forest and meadow
Cutting strips	15	73/55*	13/10	14/15	-
1973 skid trails	18	67/30	14/10	21/35	7/0,1
2002 skid trails	17	70/40	12/10	18/30	-

*In the numerator - % of the total number of species; in the denominator - projective coverage, %.

The forest litter in the skid trails was observed to be thicker than in the cut strips with plant cover restoration (Table 3).

Table 3.

Thickness and bulk density of the forest litter on cutting strips and skid trails of different years of thinning (M±m – mean and standard error; Min-Max – minimum and maximum values, C – coefficient of variation)

Indicator	Cut strips	1973 skid trails		2002 skid trails	
		edge	centre	edge	centre
The bulk density of forest litter, g.cm ⁻³					
M±m	0,115±0,01	0,083±0,007	0,091±0,011	0,151±0,016	0,115±0,012
Min-Max	0,06-0,13	0,037-0,185	0,050-0,228	0,041-0,335	0,065-0,262
C, %	39,1	43,4	47,3	54,3	40,9
Thickness of the forest litter, cm					
M±m	3,73±0,33	10,4±0,79	7,1±0,93	6,3±0,58	6,0±0,57
Min-Max	2 - 6	3-17	1- 22	2-16	2-10
C, %	35,4	42,5	61,5	56,3	44,7

The forest litter thickness increased by 2 times in the 17 years after thinning. Its increase is especially prominent in the ruts of the 46-year-old skid trails. This increase in the thickness of the forest litter is associated with the development of waterlogging and the settlement of *Sphagnum* mosses, as well as detritus from decomposing felling residues. Compaction caused by machinery use in the skid trails is distinguished in the forest litter even 17 years after felling. The values of the bulk density 46 years after thinning are lower than those for the cut strips.

In the skid trails with natural regeneration, the properties of soils at the depths of 0–10 cm and 10–20 cm vary ambiguously. Simultaneously, the compaction caused by machinery use is noted at the depth of 10–20 cm both at 17

years and 46 years after thinning (Table 4). The value of the bulk density is 1.34–1.42 g·cm⁻³, which is higher than in cutting strips (1.26 g·cm⁻³).

Table 4.

Properties of soils on cutting strips and skid trails of different years of thinning (M±m – mean and standard error; Min-Max – minimum and maximum values, C – coefficient of variation)

Indicator	Cutting strips	1973 skid trails		2002 skid trails	
		edge	centre	edge	centre
Depth 0–10 cm					
The bulk density, g·cm ⁻³	1,190±0,045	0,848±0,086	0,979±0,101	0,952±0,087	0,872±0,092
Min-Max	0,82-1,38	0,16 - 1,61	0,25-1,65	0,202-1,657	0,189-1,350
C, %	15,0	56,1	41,2	48,5	42,0
Density of the solid phase, g·cm ⁻³	2,458	1,620	2,381	2,306	2,280
Total porosity, %	51,6	47,7	58,9	58,7	61,8
Depth 10–20 cm					
The bulk density, g·cm ⁻³	1,26±0,054	1,408±0,041	1,420±0,072	1,421±0,059	1,335±0,058
Min-Max	0,95-1,59	0,899-1,809	0,817-1,902	1,098-1,754	0,929-1,734
C, %	17,2	15,9	20,21	22,0	17,3
Density of the solid phase, g·cm ⁻³	2,750	2,326	2,516	2,313	2,462
Total porosity, %	54,2	39,5	43,7	38,6	45,8

The most significant changes of the soil occur at the depth of 0–10 cm. The bulk density in the upper layer of the soil is noticeably reduced to 0.85–0.98 g·cm⁻³, while that of the cut strips is 1.19 g·cm⁻³.

The results of a one-way ANOVA show that there are differences in the thickness of the forest litter ($H_{(4, N=128)} = 34.33$, $p = 0.0000$) and the bulk density of the forest litter ($H_{(4, N=104)} = 23.05$, $p = 0.0001$), while there are no significant differences in the bulk density at the depth of 0–10 cm ($H_{(4, N=98)} = 5.29$, $p = 0.2585$) and at the depth of 10–20 cm ($H_{(4, N=98)} = 6.61$, $p = 0.1578$). Multiple comparisons of the thickness and the bulk density of the forest litter are shown in Table 5.

The thickness of the forest litter in the cut strips and at the edge of the 1973 skid trails ($Z = 5.3$, $p = 0.0001$) differs significantly. The thickness in the centre of the 2002 skid trails and at the edges of the 1973 skid trails also differs ($Z =$

4.1, $p = 0.0005$), as does the thickness at the edge of the 2002 skid trails compared with the edge of the 1973 skid trails ($Z = 3.8$, $p = 0.0016$).

Table 5.

Results of the Kruskal-Wallis test for multiple comparisons of the thickness and bulk density of the forest litter in different sites ($Z - z'$ values Kruskal-Wallis test; p – probability of rejection of the null hypothesis)

Location	Centre of the 2002 skid trails		Edge of the 2002 skid trails		Centre of the 1973 skid trails		Edge of the 1973 skid trails	
	Z	p	Z	p	Z	p	Z	p
Thickness, cm								
Cutting strips	1,50	1,0	2,38	0,1742	2,79	0,0523	5,30	0,0001
Centre of the 2002 skid trails	-	-	0,81	1,0	1,40	1,0	4,10	0,0005
Edge of the 2002 skid trails	-	-	-	-	0,77	1,0	3,78	0,0016
Centre of the 1973 skid trails	-	-	-	-	-	-	2,56	0,1046
The bulk density, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$								
Cutting strips	0,49	1,0	0,70	1,0	2,17	0,2970	2,91	0,0367
Centre of the 2002 skid trails	-	-	1,25	1,0	1,68	0,9260	2,35	0,1879
Edge of the 2002 skid trails	-	-	-	-	3,15	0,0165	4,22	0,0002
Centre of the 1973 skid trails	-	-	-	-	-	-	0,45	1,0

There was significant difference in the bulk density of the forest litter in the cut strips and at the edge of the 1973 skid trails ($Z = 2.91$, $p = 0.04$). Significant difference was determined between the edge of the 2002 skid trails and the centre of the 1973 skid trails ($Z = 3.15$, $p = 0.02$), as well as the edge of the 1973 skid trails ($Z = 4.22$, $p = 0.01$).

Discussion

In *myrtillus* type forests, deep ruts are not formed on drained podzolic soils as a result of logging, which has been recognised in the course of this examination immediately after thinning [1]; however, the hardness of the soil in the areas impacted by the driving of skidders was 1.5 times higher. Despite the considerable weight (9.6 tons) of the TDT-55 skidder, the soil pressure of its tracks is no more than 0.45 MPa [14]; this model is considered a relatively light vehicle [22]. According to Cambi et al. [27], logging operations related to tree felling and skidding directly impact the soil cover, irrespective of which technology is used, whether it is the simplest of devices or the most complex and up-to-date machines that use a harvester and forwarder.

The absence of deep ruts was recognised during the excavation of the transverse trenches in the skid trails. In the areas at the edge of the skid trails, disturbances associated with horizons mixing and soil subsidence/compaction were not observed after 17 or 46 years. The average thickness of the mixed horizon in the skid trails is 9–11 cm, with an average coefficient of variability of 36–39%. In the displaced horizons fragments of the forest litter, detritus, podzolic and illuvial horizons in different combinations are observed. Such mixed horizons occur both at the edges of the skid trails (in 77–79% of cases) and in the centre of the skid trails (in 68–72% of cases).

The upper soil horizons mixing, on the one hand, can be favourable for the settlement of trees [10], which was observed under estimation of undergrowth in the skid trails. In the skid trails, the amount of undergrowth is 2–3.5 times more than in the cut strips; this is dependent on the coincidence of the felling and the seed years and increases with the time passed after felling. The renewal of trees in the skid trails begins with birch, which provides the necessary conditions for the settlement of spruce and pine. In 46 years after thinning, spruce prevails in the stand. The species composition of the renewed tree and shrub species corresponds to that of the cutting strips.

On the other hand, soil damage changes the plant cover and can result in changes in the biogeochemical cycles, which has an impact on soil ecosystems [19]. Soil mixing can be accompanied by compaction and result in soil degradation [37] by reducing its porosity and oxygen saturation. This has negative consequences for the productivity of future forests [18; 22].

The upper horizons of the soil and the newly formed forest litter are subject to changes that occur during the restoration of the plant cover and hydrological regime in damaged areas of the skid trails.

Forests of the *myrtillosum* type in the conditions of the northern taiga subzone are characterised by a small number of species in the grass-shrub layer (10–20 species on average) with a pronounced dominance of one or two species. During thinning, new ecological niches appear, which result in an increase in the number of species and a species diversity, that in our case, can be traced by Shannon index values. The highest Shannon index is determined for the grass-shrub layer in the 1973 skid trails; in the 2002 skid trails, the diversity index is lower. Within all of the studied sites, *Vaccinium myrtillus* and *V. vitis-idaea* are dominant, having the highest class of phytocenotic significance. Meanwhile, in the 2002 skid trails, species such as *Equisetum sylvaticum* and *Carex globularis* dominate and have significant phytocenotic significance.

Waterlogging can be observed within cutting areas in the taiga zone [10, 17, 38], which is manifested in the plant cover. In this case, the ecological-cenotic analysis of the grass-shrub layer showed the dominance of the forest group of species in all variants, both in terms of species richness and projective coverage (see Table 1). However, the share of forest species and their coverage decreases due to succession and arrival of species from the group of wetland plants. This group is observed almost exclusively within the watered, overgrown ruts left by the logging machinery and is represented by *Carex globularis* on the skid trails and *C. rostrata*, *C. vulpina*, *Juncus filiformis* along the edge of the skid trails. A similar ratio of ecological-cenotic groups was also noted within the moss layer (see Table 2). The partial swamping is manifested by the forest-swamp group identified in the skid trails left by the skidder tracks. This group is composed mostly by the species g. *Sphagnum* L. and, to a lesser extent, by g. *Mnium* Hedw. and *Paludella squarrosa* Bridel.

The probability of local gleying and anaerobiosis in flat areas resulting from precipitation accumulation in the ruts and other depressions was indicated by Dymov [5], who conducted studies in similar forest-growing conditions. Even in the absence of deep ruts resulting from skidder use, we recognized development of the waterlogging process in the areas of tractor tracks traveling (the edge of the skid trails) in 46% of cases after 17 years and in 90% of cases after 46 years. Moreover, the thickness of the peat in the 1973 skid trails reaches 20 cm or more, while in the 2002 skid trails, it reaches about 10 cm. In most cases, the formation of new forest litter associated with moisture-loving plants settled in the skid trails after thinning took place.

We found out that, both 17 years and 46 years after the skidder had travelled along the skid trails during the improvement thinning, the bulk density of the 0–10 cm depth layer (topsoil) and of the 10–20 cm depth layer do not differ drastically ($p > 0.05$). However, due to the forest litter mixing with mineral horizons of the soil, organic matter from peat and detritus of felling residues, the bulk density of mineral horizons at the 0–10 cm depth became a little lower (see Table 5). On the 1973 skid trails, waterlogging reduced the density of the solid phase and the total porosity of the mineral soil that is associated with the formation of secondary clay minerals [6]. If the forest ecosystem balance is disturbed as a result of wood harvesting, the organic matter content in the soil may change [31] and its migration within the soil profile may be observed [16, 21]. This is due to the improvement of litter decomposition and humification conditions, increased humidity in the cutting areas and the replenishment of the organic carbon pool in the upper horizons of the soil due to detritus [34].

Despite the absence of statistically significant differences, in the soil layer at a depth of 10–20 cm, the cut strips slight soil compaction and the decrease of total porosity remained at $1.4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and 40%, respectively. Such values of bulk density are critical, as they do not correspond to the optimal values for tree species growth and can produce waterlogging [13].

In the skid trails, especially at their edges where the track skidders were most commonly used, a low and high bulk density in the upper (0–10 cm) and lower (10–20 cm) layers can be seen. In the native soil in the cut strips, the ratio of the soil bulk density in the intervals of 0–10 cm and 10–20 cm is $0.94 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, while in damaged soil it reaches up to $0.60\text{--}0.68 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Such ratios remain for 50 years. The difference in the soil bulk density contributes to moisture stagnation and the development of waterlogging. Different rates of soil recovery in different soil layers have been identified by Goutal et al. [23].

The recovery of the soil cover in the skid trails to the native state of soils in the cut strips has not been observed for 50 years. It is believed that it may take 30 to 70 years to restore the physical properties [13; 20; 23], and it may take even more time to restore the morphological features of the turbated horizons and the structure of the soil profile [3]. Other authors state that this may take up to 140 years depending on the soil's properties and in some cases, the damage is irreversible [29; 35].

It should be mentioned that the mosaic of the soil cover develops not only over the whole area exposed to felling but also in the skid trails where the machinery moves [28]. The variability of the soil properties in the upper horizons of the skid trails after improvement thinning is much higher than in the cut strips. The coefficient of variability for the bulk density of the soil layer at the 0–10 cm depth reaches 48%, which is three times higher than in the cut strips. This enhances the mosaic conditions and affects the settlement of tree species. At 46 years after cutting, this mosaic is still observed.

Conclusion

The conducted studies have shown that even when using relatively light skidders, as opposed to up-to-date heavy forwarders, for improvement thinning in the northern taiga, significant local changes occur that persist over a 50-year period. On the skid trails, in areas where the soil was impacted by skidder tracks and soil compaction occurred, the ecological and cenotic composition of vegetation changes and the settlement of forest species from the group of wetlands, as well as Sphagnum mosses, are observed. The formation of the forest floor is accompanied by deforestation and local patches of peat soils are formed, which enhances the mosaic of vegetation and soil cover.

After 50 years of successional natural recovery, the impact of logging operations on the soil on the skid trails in a thickness of up to 20 cm is manifested in the presence of mixed horizons and increased bulk of density and in a reduced total porosity, especially in a thickness of 10–20 cm. A disturbance in the balance of the physical parameters in the layers of the root-inhabited soil layer leads to stagnant precipitation, which provokes local waterlogging during the restoration of ruts.

In the *Piceeta myrtillosum* forest type in the conditions of the northern taiga subzone, the recovery of vegetation and soil cover characteristic of the native forest type has not occurred in 50 years.

Conflict of interest information. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. The results of the plant renewal section were obtained within the Russian Science Foundation grant (project No. 23-76-01014, <https://rscf.ru/project/23-76-01014/>). The results of the soil properties restoration section were obtained within within the grant of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. MK-2622.2021.5).

The authors thank N. Tsarev and A.-A. Dunaeva for their assistance in field data collection in the studied sites.

References

1. Burova N.V., Feklistov P.A. *Antropogennaya transformatsiya prigorodnykh lesov: monografiya* [Anthropogenic transformation of suburban forests: a monograph]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University, 2007. 264 p.
2. Dolgaya V.A., Bakhmet O.N. Svoystva lesnykh podstilok na rannikh etapakh estestvennogo lesovozobnovleniya posle sploshnykh rubok v sredney tayge Karelii [Forest litter layer properties on the early stages of natural regrowth after clear cuts in karelian middle taiga]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2021, no. 1, pp. 65-77. <https://doi.org/10.31857/S0024114821010022>
3. Dymov A.A. Pochvy mekhanicheskii narushennykh uchastkov lesosek sredney taygi Respubliki Komi [Soils of mechanically disturbed sites at cuttings in middle taiga in the Republic of Komi]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2018, no. 2, pp. 130-142. <https://doi.org/10.7868/S0024114818020055>
4. Dymov A.A. *Suktsessii pochv v boreal'nykh lesakh Respubliki Komi* [Soil succession at boreal forests of the Komi Republic (in Russian)]. Moscow, GEOS Publ., 2020. 264 p.
5. Dymov A.A., Lapteva E.M. Izmenenie podzolistykh pochv na dvuchlennykh otlozheniyakh pri rubka [Changes in podzolic soils on bilayered deposits under

- the influence of felling]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 3, pp. 42–49.
6. Zaydel'man F.R. *Genезis i ekologicheskie osnovy melioratsii pochv i landshaftov* [The Genesis and Ecological Conditions of Reclamation of Soils and Landscape]. Moscow: KDU Publ., 2009. 720 p
 7. Zaugol'nova L.B., Smirnova O.V. Sovremennye predstavleniya o strukture i dinamike rastitel'nogo pokrova kak osnova dlya razrabotki metodov sokhraneniya vidovogo raznoobraziya [Modern ideas about the structure and dynamics of vegetation cover as a basis for the development of methods of conservation of species diversity]. *Otsenka i sokhranenie bioraznoobraziya lesnogo pokrova v zapovednikakh Evropeyskoy Rossii* [Assessment and conservation of forest biodiversity in European Russia reserves]. Moscow: Scientific world Publ., 2000. pp. 9–14.
 8. Kireev D.M., Lebedev P.A., Sergeeva V.L. *Indikatory lesov* [Indicators of forests]. St. Petersburg: SPbGLTU Publ., 2011. 400 p.
 9. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Diagnosis of Soils in Russia]. Smolensk: Oykumena, 2004. 342 p.
 10. Melekhov I.S. *Lesovodstvo* [Silviculture]. Moscow: MSFU Publ., 2003. 302 p.
 11. *Plantarium. Rasteniya i lishayniki Rossii i sopredel'nykh stran: otkrytyy onlayn atlas i opredelitel' rasteniy. 2007—2023* [Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. 2007—2021]. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en.html> (accessed on 25 Dec 2023).
 12. Rozenberg G.S. Pol' Zhakkar i skhodstvo ekologicheskikh ob"ektov [Paul Jacard and the similarity of ecological objects] *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* [Samaritan Bend. Issues of Regional and Global Ecology], 2012, vol. 21, no. 1, pp. 190–202.
 13. Seryy V.S., Anikeeva V.A., Vyalykh N.I., Kubrak N.I. Izmenenie lesorastitel'nykh usloviy vyrubok pri sovremennykh lesozagotovkakh [Changes in the forest growing conditions of the cutting area during modern logging]. *Ekologicheskie issledovaniya v lesakh Evropeyskogo Severa: Sb. nauch. trudov* [Proceedings of Ecological research in the forests of the European North]. Arkhangel'sk, 1991. pp. 3–15.
 14. *TDT-55: tekhnicheskie kharakteristiki, ustroystvo konstruksii, stoimost'* [TDT-55: technical characteristics, design structure, cost]. URL: <http://spez-tech.com/tehnika/lesozagotovitel'naya/trelevochnyye-traktoryi/tdt/55-harakteristiki-ustroystvo-konstruksii-stoimost.html> (accessed on 8 Dec 2023).
 15. Tikhodeeva M.Yu., Lebedeva V.Kh. *Prakticheskaya geobotanika (analiz sostava rastitel'nykh soobshchestv): ucheb. posobie* [Practical geobotany (analysis of

- the composition of plant communities): study guide]. St. Petersburg, Publishing House of St. Petersburg University, 2015. 166 p.
16. Fedorets N.G., Bakhmet O.N *Ekologicheskie osobennosti transformatsii soedineniy ugleroda i azota v lesnykh pochvakh* [Ecological settings of carbohydrate and nitrogen transformations in forest soils]. Petrozavodsk: Karelian research centre Russian academy of sciences, 2003. 240 p.
 17. Tsvetkov V.F. Potentsial lesovozobnovleniya na vyrubkakh Evropeyskogo Severa Rossii [Potential of reforestation in felled areas of the Russian European North] *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2010, no. 3, pp. 3-14.
 18. Agherkakli B., Najafi A., Sadeghi S. Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest. *Journal of Forest Science*, 2010, vol. 56 (6), pp. 278-284. <https://doi.org/10.17221/93/2009-JFS>
 19. Assessment of the impact of forest harvesting operations on the physical parameters and microbiological components on a Mediterranean sandy soil in an Italian stone pine stand / Cambi M., Paffetti D., Vettori C., Picchio R., Venanzi R., Marchi E. *European Journal of Forest Research*, 2017, vol. 136, pp. 205-215. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1020-5>
 20. DeArmond D., Ferraz J., Higuchi N. Natural recovery of skid trails. A review. *Canadian Journal of Forest Research*, 2021, vol. 51, pp. 948-961. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0419>
 21. Dymov A.A., Milanovskii E.Y. Changes in the organic matter of taiga soils during the natural reafforestation after cutting in the middle taiga of the Komi Republic. *Eurasian Soil Science*, 2013, vol. 46, pp. 1164-1171. <https://doi.org/10.1134/S1064229314010049>
 22. Eliasson L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica*, 2005, vol. 39, no. 4, pp. 549-557. <https://doi.org/10.14214/sf.366>
 23. Goutal N., Boivin P., Ranger J. Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction. *Soil Science Society of America Journal*, 2012, vol. 76, id. 1426. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0402>
 24. Hume A.M., Chen H.Y.H., Taylor A.R. Intensive forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss. *Journal of Applied Ecology*, 2018, vol. 55, pp. 246-255. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12942>
 25. Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Högbom L. Methods of Protection Forest Soils during Logging Operations (Review). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2021, no. 5, pp. 92-116. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-92-116>
 26. Impact Assessment of Skidding Extraction: Effects on Physical and Chemical Properties of Forest Soils and on Maple Seedling Growing along the Skid

- Trail / Solgi A., Naghdi R., Marchi E., Laschi A., Keivan Behjou F., Hemmati V., Masumian A. *Forests*, 2019, vol. 10, no. 2, id 134. <https://doi.org/10.3390/f10020134>
27. Impact of heavy traffic on forest soils: A review / Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 338, pp. 124-138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
28. Middle-term changes in topsoils properties on skidding trails and cutting strips after long-gradual cutting: a case study in the boreal forest of the north-east of Russia / Ilintsev A., Nakvasina E., Aleynikov A., Tretyakov S., Koptev S., Bogdanov A. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, vol. 39, no. 1, pp. 71-83.
29. Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil / Klaes B., Struck J., Schneider R., Schu G. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, pp. 1083-1095. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>
30. Natural Regeneration of the Tree Stand in the Bilberry Spruce Forest—Clear-Cutting Ecotone Complex in the First Post-Logging Decade / Genikova N.V., Mamontov V.N., Kryshen A.M., Kharitonov V.A., Moshnikov S.A., Toropova E.V. *Forests*, 2021, vol. 12, id.1542. <https://doi.org/10.3390/f12111542>
31. Osman K.T. *Forest Soils: Properties and Management*. Springer International Publishing, Switzerland, 2013. 271 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4_2
32. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades / Mohieddinnea H., Brasseur B., Spicher F., Gallet-Moron E., Buridant J., Kobaissi A., Horen H. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 449, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117472>
33. Picchio R., Mederski P.S., Tavankar F. How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands? *Current Forestry Reports*, 2020, vol. 6, pp. 115-128. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00113-8>
34. Post-logging organic matter recovery in forest ecosystems of eastern Baikal region / Vedrova E.F., Mukhortova L.V., Ivanov V.V., Krivobokov L.V., Bolonueva M.V. *Biology Bulletin*, 2010, Vol. 37, no. 1, 69–79. <https://doi.org/10.1134/S1062359010010103>
35. Rozhkov V.A., Karpachevskii L.O. 2006. The forest cover of Russia and soil conservation. *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, pp. 1041-1048. <https://doi.org/10.1134/S1064229306100012>
36. Shannon C.E. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, pp. 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>

37. Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and tracks and Possibility of Accurate Estimate / Sakai H., Nordfjell T., Suadicani K., Talbot B., Bøllehuus E. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2008, vol. 29, no. 1, pp. 15-27.
38. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia / Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. *iForest*, 2020, vol. 13, pp. 531-540. <https://doi.org/10.3832/ifor3371-013>
39. World Flora Online. URL: <http://www.worldfloraonline.org>. (accessed on 8 Dec 2021).
40. Worrell R., Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – a review. *Forestry*, 1997, vol. 70, pp. 61–85.

Список литературы

1. Бурова Н.В., Феклистов П.А. Антропогенная трансформация пригородных лесов: монография. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.
2. Долгая В.А., Бахмет О.Н. Свойства лесных подстилок на ранних этапах естественного лесовозобновления после сплошных рубок в средней тайге Карелии // Лесоведение. 2021. №1. С. 65-77. <https://doi.org/10.31857/S0024114821010022>
3. Дымов А.А. Почвы механически нарушенных участков лесосек средней тайги Республики Коми // Лесоведение. 2018. № 2. С. 130-142. <https://doi.org/10.7868/S0024114818020055>
4. Дымов А.А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми. Москва: Общество с ограниченной ответственностью “Издательство ГЕОС”, 2020. 336 с.
5. Дымов А.А., Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубка // Лесоведение. 2006. №3. С. 42–49.
6. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов. М.: КДЦУ, 2009. 720 с.
7. Заугольнова Л.Б., Смирнова О.В. Современные представления о структуре и динамике растительного покрова как основа для разработки методов сохранения видового разнообразия // Оценка и сохранение биоразнообразия лесного покрова в заповедниках Европейской России. М.: Научный мир, 2000. С. 9-14.
8. Киреев Д.М., Лебедев П.А., Сергеева В.Л. Индикаторы лесов. СПб.: СПб-ГЛТУ. 2011. 400 с.

9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Мелехов И.С. Лесоводство. М: МГУЛ, 2003. 302 с.
11. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007-2023. URL: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения: 25.12.2023).
12. Розенберг Г.С. Поль Жаккар и сходство экологических объектов // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2012. Т. 21. № 1. С. 190-202.
13. Серый В.С., Аникеева В.А., Вялых Н.И., Кубрак Н.И. Изменение лесорастительных условий вырубок при современных лесозаготовках // Экологические исследования в лесах Европейского Севера: Сб. науч. трудов. Архангельск, 1991. С. 3–15.
14. ТДТ-55: технические характеристики, устройство конструкции, стоимость. URL: <http://spez-tech.com/tehnika/lesozagotovitel'naya/trelevochnyie-traktoryi/tdt/55-harakteristiki-ustroystvo-konstruktsii-stoimost.html> (дата обращения: 08.12.2023).
15. Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х. Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): учеб. пособие. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2015. 166 с.
16. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н Экологические особенности трансформации соединений углерода и азота в лесных почвах. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2003. 240 с.
17. Цветков В.Ф. Потенциал лесовозобновления на вырубках Европейского Севера России // Лесоведение. 2010. №3. С. 3-14.
18. Agherkakli B., Najafi A., Sadeghi S. Ground based operation effects on soil disturbance by steel tracked skidder in a steep slope of forest // Journal of Forest Science, 2010, vol., 56 (6), pp. 278-284. <https://doi.org/10.17221/93/2009-JFS>
19. Assessment of the impact of forest harvesting operations on the physical parameters and microbiological components on a Mediterranean sandy soil in an Italian stone pine stand / Cambi M., Paffetti D., Vettori C., Picchio R., Venanzi R., Marchi E. // European Journal of Forest Research, 2017, vol. 136, pp. 205-215. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-1020-5>
20. DeArmond D., Ferraz J., Higuchi N. Natural recovery of skid trails. A review // Canadian Journal of Forest Research, 2021, vol. 51, pp. 948-961. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0419>
21. Dymov A.A., Milanovskii E.Y. Changes in the organic matter of taiga soils during the natural reafforestation after cutting in the middle taiga of the Komi

- Republic // Eurasian Soil Science, 2013, vol. 46, pp. 1164-1171. <https://doi.org/10.1134/S1064229314010049>
22. Eliasson L. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction // Silva Fennica, 2005, vol. 39, no. 4, pp. 549-557. <https://doi.org/10.14214/sf.366>
23. Goutal N., Boivin P., Ranger J. Assessment of the natural recovery rate of soil specific volume following forest soil compaction // Soil Science Society of America Journal, 2012, vol. 76, id. 1426. <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0402>
24. Hume A.M., Chen H.Y.H., Taylor A.R. Intensive forest harvesting increases susceptibility of northern forest soils to carbon, nitrogen and phosphorus loss // Journal of Applied Ecology, 2018, vol. 55, pp. 246-255. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12942>
25. Ilintsev A.S., Nakvasina E.N., Högbom L. Methods of Protection Forest Soils during Logging Operations (Review) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 5. С. 92-116. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-5-92-116>
26. Impact Assessment of Skidding Extraction: Effects on Physical and Chemical Properties of Forest Soils and on Maple Seedling Growing along the Skid Trail / Solgi A., Naghdi R., Marchi E., Laschi A., Keivan Behjou F., Hemmati V., Masumian A. // Forests, 2019, vol. 10, no. 2, id 134. <https://doi.org/10.3390/f10020134>
27. Impact of heavy traffic on forest soils: A review / Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. // Forest Ecology and Management, 2015, vol. 338, pp. 124-138. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>
28. Middle-term changes in topsoils properties on skidding trails and cutting strips after long-gradual cutting: a case study in the boreal forest of the north-east of Russia / Ilintsev A., Nakvasina E., Aleynikov A., Tretyakov S., Koptev S., Bogdanov A. // Croatian Journal of Forest Engineering, 2018, vol. 39, no. 1, pp. 71-83.
29. Middle-term effects after timber harvesting with heavy machinery on a fine-textured forest soil / Klaes B., Struck J., Schneider R., Schu G. // European Journal of Forest Research, 2016, vol. 135, pp. 1083-1095. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0995-2>
30. Natural Regeneration of the Tree Stand in the Bilberry Spruce Forest—Clear-Cutting Ecotone Complex in the First Post-Logging Decade / Genikova N.V., Mamontov V.N., Kryshen A.M., Kharitonov V.A., Moshnikov S.A., Toropova E.V. // Forests, 2021, vol. 12, id.1542. <https://doi.org/10.3390/f12111542>
31. Osman K.T. Forest Soils: Properties and Management. Springer International Publishing, Switzerland, 2013. 271 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02541-4_2

32. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades / Mohieddin H., Brasseur B., Spicher F., Gallet-Moron E., Buridant J., Kobaissi A., Horen H. // *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 449, pp. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117472>
33. Picchio R., Mederski P.S., Tavankar F. How and How Much, Do Harvesting Activities Affect Forest Soil, Regeneration and Stands? // *Current Forestry Reports*, 2020, vol. 6, pp. 115-128. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00113-8>
34. Post-logging organic matter recovery in forest ecosystems of eastern Baikal region / Vedrova E.F., Mukhortova L.V., Ivanov V.V., Krivobokov L.V., Boloneva M.V. // *Biology Bulletin*, 2010, Vol. 37, no. 1, 69–79. <https://doi.org/10.1134/S1062359010010103>
35. Rozhkov V.A., Karpachevskii L.O. 2006. The forest cover of Russia and soil conservation // *Eurasian Soil Science*, 2006, vol. 39, pp. 1041-1048. <https://doi.org/10.1134/S1064229306100012>
36. Shannon C.E. A mathematical theory of communication // *The Bell System Technical Journal*, 1948, vol. 27, pp. 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
37. Soil Compaction on Forest Soils from Different Kinds of Tires and tracks and Possibility of Accurate Estimate / Sakai H., Nordfjell T., Suadicani K., Talbot B., Bøllehuus E. // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2008, vol. 29, no. 1, pp. 15-27.
38. The natural recovery of disturbed soil, plant cover and trees after clear-cutting in the Boreal Forests, Russia / Ilintsev A., Bogdanov A., Nakvasina E., Amosova I., Koptev S., Tretyakov S. // *iForest*, 2020, vol. 13, pp. 531-540. <https://doi.org/10.3832/ifor3371-013>
39. World Flora Online. URL: <http://www.worldfloraonline.org>. (accessed 8 Dec 2021).
40. Worrell R., Hampson A. The influence of some forest operations on the sustainable management of forest soils – a review // *Forestry*, 1997, vol. 70, pp. 61–85.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aleksey S. Ilintsev: field data collection, conceptualization, data interpretation, original draft preparation.

Elena N. Nakvasina: conceptualization, data interpretation, original draft preparation, editing manuscript.

Irina B. Amosova: field data collection, data interpretation, original draft preparation.

ВКЛАД АВТОРОВ

Ильинцев А.С.: сбор полевых данных, общая концепция исследования, интерпретация данных, написание статьи.

Наквасина Е.Н.: общая концепция исследования, интерпретация данных, написание статьи, редактирование статьи.

Амосова И.Б.: сбор полевых данных, интерпретация данных, написание статьи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksey S. Ilintsev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research assistant, Associate Professor

Northern Research Institute of Forestry; Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

13, Nikitova Str., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; 17, Severnaya Dvina, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

a.ilintsev@narfu.ru

SPIN-code: 1299-7037

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3524-4665>

ResearcherID: N-6286-2019

Scopus Author ID: 57200987131

Elena N. Nakvasina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Leader Research Assistant

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov; Northern Research Institute of Forestry

17, Severnaya Dvina, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; 13, Nikitova Str., Arkhangelsk, 163062, Russian Federation

e.nakvasina@narfu.ru

SPIN-code: 6797-9434

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7360-3975>

ResearcherID: A-5165-2013

Scopus Author ID: 35389250000

Irina B. Amosova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

17, Severnaya Dvina, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

i.amosova@narfu.ru

SPIN-code: 8960-2083

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ильинцев Алексей Сергеевич, к. с.-х. н., старший научный сотрудник,
доцент

Федеральное бюджетное учреждение «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ); Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» (САФУ)

*ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062, Российская Федерация;
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.ilintsev@narfu.ru*

Наквасина Елена Николаевна, д. с.-х. н., профессор, ведущий научный
сотрудник

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» (САФУ); Федеральное бюджетное учреждение «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства» (СевНИИЛХ)

*ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация; ул. Никитова, 13, г. Архангельск, 163062, Российская Федерация
e.nakvasina@narfu.ru*

Амосова Ирина Борисовна, к. с.-х. н., доцент

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» (САФУ)

*ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
i.amosova@narfu.ru*

Поступила 29.02.2024

После рецензирования 11.04.2024

Принята 20.04.2024

Received 29.02.2024

Revised 11.04.2024

Accepted 20.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-971

УДК 581.5:631.6



Научная статья

ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ПАСТБИЩА АРИДНОЙ ЗОНЫ ПРИКАСПИЯ

Л.П. Рыбашлыкова, С.Н. Сивцева, Т.Ф. Маховикова

Обоснование. На базе анализа ранее проведенных многолетних научных исследований, обоснована разработка данной исследовательской тематики, заключающаяся в изучении влияния агролесомелиорации, с использованием многоярусных древесно-кустарниковых кулисно-полосных насаждений, на продуктивность пастбищ аридной зоны Прикаспия.

Цель исследований – оценка эколого-мелиоративного влияния древесно-кустарниковых кулисно-полосных насаждений на продуктивность и состояние пастбищ в условиях полупустыни.

Материалы и методы. Исследования проводились согласно общепринятым методикам в лесной таксации, почвоведении и геоботанике. Видовой состав травостоя и продуктивность корма изучали на 6 пробных площадях прямоугольной формы площадью 0,30 га. Урожайность подножного корма определяли укосным методом на учётных площадках площадью 2,5 м² в 4-кратной повторности, питательность корма в лабораторных условиях по общепринятым методикам.

Результаты. В результате проведенных исследований в Ногайской степи выявлена высокая мелиоративная эффективность пастбищезащитных насаждений из *Ulmus pumila* в виде кулис и полос, чередующихся с открытыми участками пастбищной растительности. В Астраханском Заволжье, на бугристо-увалистых песчаных комплексах лесопастбищ, высокой эффективностью обладает сочетание кустарниковых ярусов в виде кулисных и полосных насаждений из *Haloxylop aphyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides* и *Calligonum aphyllum*. На территории Чёрных земель Калмыкии, в современных очагах дефляции, надёжным способом фитомелиорации является создание лесопастбищ с защитными полосами и мелиоративно-кормовыми насаждениями из *Krascheninnikovia ceratoides* и *Calligonum aphyllum* с учетом того, что ас-

сортимент пород-мелиорантов ограничивается растениями кустарниковой жизненной формы, способными переживать засухи.

Заключение. Для восстановления и повышения продуктивности угодий, а также улучшения качества кормов, наиболее эффективными являются разнотипные пастбищезащитные и мелиоративно-кормовые насаждения из кустарниковых и древесных пород. Лесопастбища в полупустыне, с учётом древесно-кустарниковых насаждений, дают в среднем с единицы площади до 1-3 т/га корма в зависимости от лесистости, что в 1,2-3 раза больше по сравнению с аборигенной растительностью.

Ключевые слова: аридная зона; субаридная зона; агролесомелиорация; лесопастбища; древесно-кустарниковые насаждения; урожайность; питательность

Для цитирования: Рыбашлыкова Л.П., Сивцева С.Н., Маховикова Т.Ф. Эколого-мелиоративное влияние древесно-кустарниковых насаждений на пастбища аридной зоны Прикаспия // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 326-343. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-971

Original article

ECOLOGICAL AND RECLAMATION EFFECT OF TREE AND SHRUBBY PLANTATIONS ON PASTURES

L.P. Rybashlykova, S.N. Sivceva, T.F. Mahovikova

Background. Based on the analysis of previously conducted long-term scientific research, the development of this research topic is justified, which consists in studying the effect of agroforestry, using multi-tiered tree and shrubby backstage-strip plantations, on the productivity of pastures of the arid zone of the Caspian Sea region.

The **purpose** assessment of the ecological and reclamation effect of tree and shrubby backstage-strip plantations on the productivity and condition of pastures in semi-desert conditions.

Materials and methods. The research was carried out according to generally accepted methods in forest taxation, soil science and geobotany. The species composition of the herbage and feed productivity were studied on 6 rectangular sample areas with an area of 0.30 hectares. The yield of the foot feed was determined by

the mowing method of accounting sites with an area 2.5 m² in 4-fold repetition, nutritional value in laboratory conditions according to generally accepted methods.

Results. As a result of the conducted research in the Nogai steppe, a high reclamation efficiency of pasture-protective plantations from *Ulmus pumila* in the form stripes alternating with open areas of pasture vegetation was revealed. In the Astrakhan Volga region, on the bumpy sandy complexes of forest pastures, a combination of shrubby tiers in the form of backstage and strip plantations of *Haloxylon aphyllum*, *Krascheninnikovia ceratoides* and *Calligonum aphyllum* has high efficiency. On the territory of the Black Lands of Kalmykia, in modern foci of deflation, a reliable method of phytomelioration is the creation of pastures with protective strips and reclamation and forage plantations of *Krascheninnikovia ceratoides* and *Calligonum aphyllum*, because the range of meliorant species is limited to shrubby life forms capable of surviving droughts.

Conclusion. To restore and increase the productivity of land and improve the quality of feed, different types of pasture-protective and reclamation-forage plantations of shrub and tree species are most effective. Pastures in the semi-desert, taking into account tree and shrub plantations, provide an average of 1-3 t/ha of feed per unit area, depending on the forest cover, which is 1.2-3 times more than native vegetation.

Keywords: arid zone; subarid zone; agroforestry; pastures; tree and shrub plantations; yield; nutritional value

For citation. Rybashlykova L.P., Sivceva S.N., Mahovikova T.F. Ecological and Reclamation Effect of Tree and Shrubby Plantations on Pastures. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 326-343. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-971

На территории равнинных пастбищ аридной зоны Прикаспия большую долю занимают песчано-полупустынные экосистемы, предрасположенные к деградации растительного покрова и дефляционному опустыниванию земель. Их ненормированное использование приводит к образованию крупных массивов сорно-однолетних и эфемерных пастбищ, стихийно выпадающих из хозяйственного оборота в годы засух при чрезмерно низкой урожайности подножного корма [2; 3; 4; 11]. При дальнейшем нарушении почвенно-растительного покрова формируются очаги дефляции с преобладанием мелкобарханных песков, имеющие тенденцию быстрого развития с расширения площади непродуктивных угодий [7; 16; 21].

Важным фактором подъёма животноводства является качество корма, которое зависит от количества видов и их питательности, а также уровня

хозяйственной деятельности при использовании угодий [14; 19]. Каждый вид травянистой растительности наследственно несёт в себе определённые качества по росту, развитию, содержанию питательных веществ и динамике отрастания после стравливания скотом. Но наследованные качества в полной мере проявляются тогда, когда этому способствуют оптимальные условия развития растений [8; 9; 15; 20; 23].

Созданию оптимальных условий роста травянистой растительности на пастбищах аридных и субаридных регионов способствуют защитные древесно-кустарниковые лесонасаждения [5; 6; 12]. Большой объем работ по древесно-кустарниковой мелиорации опустыненных угодий выполнен в Ногайской степи (Ставропольский край), Астраханском Заволжье и на Черных землях (Республика Калмыкия) [10; 12; 17; 21; 22]. Созданные лесопастбища сохраняются 30-50 лет и более, но древесно-кустарниковые насаждения постепенно теряют свое почвозащитное и фитомелиоративное значение. Возникла необходимость в оценке продолжительности их эффективного функционирования и эколого-мелиоративного влияния.

Цель исследования – оценить эколого-мелиоративное влияние древесно-кустарниковых кулисно-полосных насаждений на пастбища в условиях полупустыни.

Материалы и методы

Объектами исследований являются лесомелиорированные и естественные пастбища, находящиеся в эксплуатации. Районы исследования, согласно природному районированию, расположены в Прикаспийской низменности. Основной особенностью климата является его резкая континентальность (лето жаркое и очень сухое, зима малоснежная, иногда с большими морозами). Континентальность климата выражается большими суточными и годовыми колебаниями температур, сухостью воздуха и незначительным количеством осадков (среднегодовое значение за период исследований в Ногайская степи – 253 мм, Астраханском Заволжье – 217 мм, на Чёрных землях – 236 мм). Распределение атмосферных осадков крайне неравномерно как во времени, так и в пространстве. Пространственное распределение осадков тесно связано с общей циркуляцией атмосферы и трансформируется под влиянием рельефа, экспозиции склонов и высоты местности над уровнем моря. Среднегодовое количество осадков составляет 150-250 мм. По мере продвижения на юг количество осадков уменьшается, составляя в Астраханском Заволжье в отдельные годы менее 100 мм. Основная масса осадков выпадает в осенне-зимний период

(октябрь-февраль) и составляет примерно 70% от годовой суммы. Почвы на участках исследований светло-каштановые и бурые пустынные, по механическому составу песчаные и супесчаные.

Исследования проводились в кулисно-полосных древесно-кустарниковых насаждениях, заложенных в 80–90 годах на различных лесомелиоративных категориях пастбищ. Территориальное расположение объектов исследования: Ногайская степь (участок 1 (N) $44^{\circ}30'29''$, (E) $44^{\circ}58'22''$, участок 2 (N) $44^{\circ}32'9''$, (E) $44^{\circ}49'35''$), Черные земли Республика Калмыкия (участок 1 (N) $45^{\circ}98'736''$, (E) $46^{\circ}03'310''$, участок 2 (N) $46^{\circ}27'086''$, (E) $46^{\circ}24'535''$), Астраханское Заволжье (участок 1 (N) $47^{\circ}14'49''$, (E) $47^{\circ}26'35''$, участок 2 (N) $47^{\circ}24'46''$, (E) $47^{\circ}52'19''$) (рис. 1).

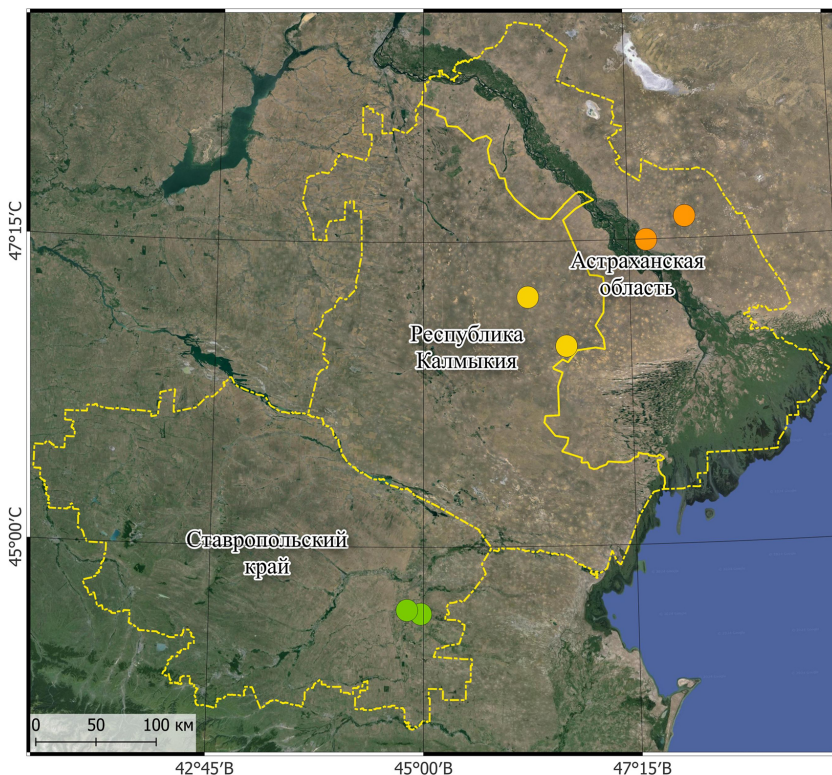


Рис. 1. Географическое положение древесно-кустарниковых пастбищ в Прикаспии с количеством осадков за вегетацию (апрель-сентябрь 2020-2023 гг.) (SasPlanet)

Породный состав пастбище-защитно-кормовых полос (ПЗКП) на Черных землях: сеянцы *Calligonum aphyllum* и *Krascheninnikovia ceratoides*, в Астраханском Заволжье: сеянцы *C. aphyllum*, *Haloxylon aphyllum*, *K. ceratoides*. В Ногайской степи породный состав пастбищезащитных насаждений – *Ulmus pumila* и *Robinia pseudoacacia*. Контролем служили естественные природные пастбища без древесно-кустарниковых насаждений.

Полевые работы проводились на стационарных площадках площадью 0,30 га методом геоботанической съёмки и лесной таксации, с учётом древесного и подножного корма [1]. Видовой состав травостоя и продуктивность корма изучали в межполосных пространствах и под пологом лесонасаждений в период вегетации. Урожайность подножного корма определяли укосным методом на учётных площадках площадью 2,5 м² в 4-кратной повторности [13]. Питательность определялась в лабораторных условиях общепринятыми методами: протеин по Кьельдалю, клетчатка по Кюшенеру, фосфор калориметрическим методом, кальций трилонометрически, зола сухим озолением, жир по Рушковскому, микроэлементы – с использованием атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Названия видов сосудистых растений приведены по сводке С.К. Черепанова [18] и веб-сайту (TPL) The Plant List [24].

Результаты и их обсуждение

Создание лесных насаждений на дефлированных зональных почвах Прикаспия очень трудоемкий процесс. Восстановление деградированной пастбищной территории проводят в зависимости от агрометеорологических условий и хозяйственного использования путем создания лесопастбищ с помощью разных видов насаждений: зонтов, куртин, древесно-кустарниковых защитных полос, куртинно-колковых и мелиоративно-кормовых насаждений и т.п.

Период исследований в 2020 году на территории Ногайской степи характеризовался засушливыми погодными условиями с дефицитом осадков до 75,5 мм. Однако все средние показатели в травяном ярусе во все годы исследований лесопастбищ были выше под защитой древесных насаждений, при этом отмечалось увеличение урожайности на 0,13-0,23 т/га в зависимости от типа и вида насаждений и изменения качественного состава травостоя в сравнении с природными пастбищами. В степи под защитой кулис и полос в травостое масса разнотравья повышается и составляет 30 % (*Falcaria vulgaris* Bernh., *Galium verum* L., *Erodium cicutarium* (L.) Lher.), полыней 15%, что в 1,2 раза больше, чем на откры-

том пастбище. На лесопастбищах бобовые, маревые и разнотравье растут только под защитой насаждений, в открытой же степи преобладают злаки *Poa bulbosa* L., *Anisantha tectorum* L., *Alyssum desertorum* Stapf., *Ceratocarpus arenarius* L. Аналогичные изменения в видовом составе естественной кормовой растительности под влиянием лесонасаждений происходят на мелиоративно-кормовых пастбищах в «потухших» очагах дефляций на Черных землях и на бугристо-увалистых песчаных комплексах Астраханского Заволжья (табл. 1). В пространствах между пастбищезащитными полосами шириной 30 м благодаря микроклимату складываются лучшие условия для роста травянистой растительности, таких видов как *Agropyron desertorum* (Fisch. ex Link) Schult., *A. fragile* (Roth) P. Candargy, *Bassia prostrata* L., *Medicago lupulina* L. и другие. Урожай фитомассы травостоя на них, как общий так и поедаемый, выше на 0,05-0,13 т/га, чем в открытой степи соответственно (рис. 2). Основные запасы корма формируются в приземном слое 0-15 см, что составляет 60% от среднемультилетней урожайности при высоте травостоя 30 см. При сильном повреждении или уничтожении кустарниковых насаждений участки с продуктивным травостоем деградируют.

Таблица 1.

Влияние лесонасаждений на урожайность и качественный состав пастбищ, 2018-2023 гг.

Экологические условия	Годы наблюдений	Ботанический состав, %			Урожайность сена, т/га
		злаки	полыни	разнотравье	
Ногайская степь (Ставропольский край)					
Под защитой лесополос	2018-2023	60,6	14,6	29,9	0,88
Открытая степь (контроль)		56,4	12,4	27,0	0,65
НСР ₀₅					0,20
Астраханское Заволжье (Астраханская область)					
Под защитой полос кустарников	2021-2023	27,2	58,0	14,8	0,85
Открытая степь (контроль)		23,6	67,7	8,7	0,71
НСР ₀₅					0,06
Чёрные земли (Республика Калмыкия)					
Под защитой полос кустарников	2021-2023	74,8	14,0	13,0	0,90
Открытая степь (контроль)		73,4	15,2	12,6	0,67
НСР ₀₅					0,05

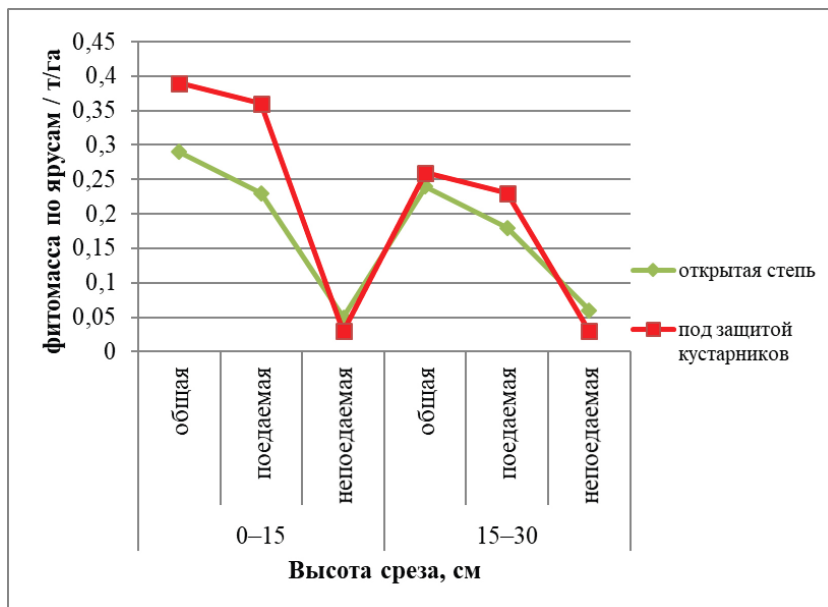


Рис. 2. Ярусное распределение фитомассы трав на пастбищах в мае 2021–2023 гг.

Результаты ботанического анализа показали, что в аридной и субаридной зоне в связи с улучшением условий роста под защитой древесного и кустарникового яруса, происходят не только количественные, но качественные изменения в травостое. В травостое лесопастбищ Ногайской степи и Черных земель преобладают разнотравно-злаковые комплексы, в Астраханском Заволжье распространены белопопынно-злаковых ассоциации.

В зоне полупустынь насаждения из соле-засухо-жаростойких древесных и кустарниковых пород (*U. pumila*, *R. pseudoacacia*, *C. aphyllum*, *H. aphyllum*, *K. ceratoides*) способствуют лучшему росту ценной в кормовом отношении местной растительности и нарастанию фитомассы корма. Под влиянием черносаксауловых полос на территории Астраханского Заволжья в эфемерово-попынных формациях увеличивается масса эфемеров и *B. prostrata*, а общая урожайность возрастает более чем в 1,2 раза.

Существенное влияние оказывают защитные лесонасаждения на сезонную динамику отрастания и качественный состав травостоя. В Ногайской степи фитомасса травостоя под защитой древесных насаждений во

все сроки вегетации выше на 0,13-0,5 т/га, чем в отрытой степи. В зоне влияния насаждений фитомасса урожая злаковых возрастает в 5,8-10,1% (табл. 2), в июне-июле несколько увеличивается доля полыни и бобовых, а масса разнотравья снижается на 2,4%.

Отмеченные изменения характерны и для Астраханского Заволжья (табл. 3), общая урожайность в системе полос в мае и августе в 1,2 раза или на 0,11-0,17 т/га выше, чем в открытой степи, при этом масса *B. prostrata* увеличивается в 2,0-2,6 раза.

Таблица 2.

**Влияние лесонасаждений на динамику урожайности
и ботанический состав естественной травяной растительности
за вегетацию в условиях Ногайской степи (2018-2023 гг.)**

Сезон	Экологические условия	Ботанический состав по хозяйственным группам, %			Урожайность сена, т/га
		злаки	полынь	разнотравье	
Весна	под защитой лесополос	46	4,6	15,5	0,68
	отрытая степь	40,2	3,2	10,2	0,18
НСР ₀₅					0,2
Лето	под защитой лесополос	30,5	10,0	14,4	0,38
	отрытая степь	20,4	9,2	16,8	0,25
НСР ₀₅					0,07

Таблица 3.

**Влияние черносаксауловых полос на сезонную динамику
урожайности и качественного состава растительности пастбищ
Астраханского Заволжья (2021-2023 гг.)**

Сезон	Экологические условия	Ботанический состав по хозяйственным группам, %			Урожайность сена, т/га
		злаки (эфемеры)	полынь	прутьяк	
Май	под защитой лесополос	56,0	34,5	10,5	0,95
	отрытая степь	60,2	34,8	5,2	0,78
НСР ₀₅					0,06
Август	под защитой лесополос	-	70,3	12,4	0,75
	отрытая степь	-	77,2	4,8	0,64
НСР ₀₅					0,06

Способствуя улучшению ботанического состава травостоя, пастбище-защитные насаждения создают условия для существенного повышения

питательности корма. Увеличение массы бобовых (*Medicago minima* L., *Astragalus* L., *Trigonella orthoceras* Kar. & Kir., *Glycyrrhiza glabra* L.) приводит к повышению содержания белка в корме, а присутствие разнотравья – витаминов и его вкусовых качеств. Полынь, весной, осенью и зимой, лучше других животных поедается овцами. Этот основной нажировочный корм и источник витаминов, возбуждает аппетит и улучшает пищеварение, особенно в осенний период, у мелкого рогатого скота.

Таблица 3.

Кормовая продуктивность древесно-кустарниковых насаждений, т/га, (2021-2023 гг.)

Расположение лесопастбища	Культура	Возраст, лет	Таксационные показатели, м		Сохранность, %	Продуктивность веточно-листовой массы, т/га
			высота	диаметр кроны		
Ногайская степь	<i>Ulmus</i>	32-37	9,2±1,4	4,8±1,8	60	0,7
	<i>Robinia</i>	32-39	6,0±1,4	2,5±1,5	30	0,4
Астраханское Заволжье	<i>Callygonum</i>	25	1,3±0,04	1,3±2,22	70	4,1
	<i>Krascheninnikovia</i>	25	0,6±1,6	0,6±2,23	90	0,4
	<i>Haloxylon</i>	45	1,8±0,08	1,6±0,08	40	0,8
Черные земли	<i>Krascheninnikovia</i>	39	0,5±1,4	0,4±1,8	65	2,4
	<i>Callygonum</i>		1,1±8,4	1,2±23,5	55	0,4

Лесные насаждения, защищая пастбища от неблагоприятных климатических факторов, не только создают условия для формирования высокого урожая трав, но и сами могут быть дополнительным источником питания для животных. На пастбищах Астраханского Заволжья и на Чёрных землях Республики Калмыкия широкое распространение получили мелиоративно-кормовые насаждения, используемые на кормовые цели. Выявлено, что при умеренном скармливании *Krascheninnikovia* животные могут получать дополнительно 0,4–2,4 т/га корма с каждого гектара посадок, *Haloxylon* – 0,8 т/га, *Callygonum* – 0,4–4,1 т/га (табл. 4). На прилегающих пастбищах масса трав за сезон не превышает 0,6–0,7 т/га. В течение сезона животные поедают веточно-листовую массу вяза и робинии на высоте 1,5–1,7 м с продуктивностью на лесопастбищах 0,4–0,7 т/га, что в аридных условиях является существенной кормовой добавкой. Кормовые достоинства древесно-кустарниковых на-

саждений не одинаковые. Хорошей кормовой ценностью обладает веточный корм *U. pumila* (сырой протеин 62,7 г/кг, кальций 14,4 г /кг) и *K. ceratoides* (сырой протеин 75,5 г/кг, кальций 10,8 г /кг). Из травяного подножного корма наиболее питательны *M. minima*, *Setaria pumila*, *Elytrigia intermedia*, *Bromus secalinus* (сырой протеин 39,8-46,0 г/кг, кальций 4,4-11 г/кг) (табл. 5).

Таблица 5.

Питательность трав и побегов древесно-кустарниковых насаждений на пастбищах, (лето)

Вид растения	Содержание веществ в 1 кг корма				Химический состав корма, %			
	каротин, мг	протеин, г	кальций, г	фосфор, г	протеин	клетчатка	зола	БЭВ*+жир
Фитомелиоранты лесопастбищ								
<i>Ulmus pumila</i>	40,0	62,7	14,4	1,6	19,2	26,8	9,3	55,5
<i>Robinia pseudoacacia</i>	35,0	32,9	14,2	1,4	10,9	24,2	8,4	53,3
<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	24,9	75,5	10,8	1,7	8,72	15,4	4,7	31,1
<i>Callygonum aphyllum</i>	29,2	66,9	10,8	1,8	4,2	12,3	4,3	35,7
Естественная растительность								
<i>Bromus secalinus</i>	18,0	39,8	7,0	3,1	11,5	21,1	11,2	44,1
<i>Medicago minima</i>	9,0	46,0	11,0	2,9	13,2	30,0	10,4	51,6
<i>Setaria pumila</i>	9,0	44,0	7,3	3,3	12,6	23,7	10,9	45,3
<i>Galium verum</i>	4,0	36,7	12,9	2,4	10,5	20,1	10,5	44,6
<i>Elytrigia intermedia</i>	22,6	44,7	4,4	2,7	12,8	22,6	11,0	54,0
<i>Alhagi pseudalhagi</i>	-	44,6	7,5	2,7	7,8	30,1	5,89	43,8
<i>Poa bulbosa</i>	-	42,1	4,9	2,3	7,4	24,6	7,7	41,7

Примечание: БЭВ – безазотистые экстрактивные вещества

Поедаемая масса кустарников и веточно-листовая зелень деревьев имеет достаточно высокое содержание каротина, сырого протеина в 1 кг корма и по питательности не уступает травянистой растительности. Особенно это важно для аридной зоны летом и осенью, когда вследствие воздушной и почвенной засух, травянистая растительность находится в состоянии анабиоза, наземные органы её высыхают, теряют питательность. В это время побеги и листья древесно-кустарниковых пород остаются сочными и питательными, при этом необходимо учитывать, что побеги *H. aphyllum* и *C. aphyllum* содержат алкалоиды.

Таким образом, лесные насаждения от 20 до 45 лет могут способствовать надёжному и равномерному обеспечению сельскохозяйственных животных качественным кормом в течение пастбищного сезона при рациональном использовании и нормировании пастбищной нагрузки.

Заключение

Древесно-кустарниковые насаждения в возрасте 25-45 лет и сохранностью 30-90 %, на всех объектах мелиорированных пастбищ Прикаспия, улучшают микроклиматические условия для произрастания множества видов травянистой растительности, вследствие чего происходят количественные изменения, проявляющиеся в нарастании фитомассы урожая бобовых, маревых, злаковых, разнотравья и в связи с этим происходят качественные изменения подножного корма. В среднем за период исследований в зонах эффективной защиты насаждений получены прибавки урожая сена травостоя в Ногайской степи на 0,23 т/га, Астраханском Заволжье на 0,14 т/га, на Черных землях – 0,23 т/га.

Мелиоративно-кормовые насаждения из древесной и кустарниковой растительности дают с единицы площади до 1-3 т/га корма, в зависимости от лесистости, что в 1,2-3 раза больше по сравнению с аборигенной растительностью. Насаждения способствуют регенерации и обогащению флористического состава пастбищных экосистем, являются дополнительным источником корма в периоды бескормицы.

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

Информация о спонсорстве. Исследование было выполнено в рамках Государственного задания «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России», № 122020100309-0, «Разработка теории и системы мероприятий устойчивого функционирования пастбищных экосистем в аридных и субаридных зонах Прикаспия», 124013000642-9.

Список литературы

1. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
2. Бананова В.А., Лазарева В.Г., Петров К.М. Тенденции процессов опустынивания в северо-западной части Прикаспийской низменности // Геология, география и глобальная энергия. 2021. № 1(80). С. 77–86.

3. Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 63–71.
4. Зонн И.С., Куст Г.С., Андреева О.В. Парадигма опустынивания: 40 лет развития и глобальный действий // Аридные экосистемы. 2017. Т. 23. № 3(72). С. 3–16.
5. Касьянов Ф.М. Защитные лесонасаждения для повышения продуктивности лугов и пастбищ. Агролесомелиорация. М.: Лесная промышленность, 1979. С.132–148.
6. Крючков С.Н., Маттис Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014, 301 с.
7. Кулик К.Н. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2004. 247 с.
8. Лазарева В.Г. Трансформация пространственной структуры растительного покрова Северо-Западного Прикаспия в связи с антропогенным воздействием // Известия Самарского научного центра. 2018. Т. 20. № 2. С. 116–123.
9. Лазарева В.Г., Бананова В.А. Тенденции изменения ботанического разнообразия под влиянием опустынивания в Республике Калмыкия // Аридные экосистемы. 2014. Т. 20. №2(59). С. 87–96.
10. Манаенков А.С. Реставрация опустыненных пастбищ на Черных землях // Лесное хозяйство. 1993. № 6. С. 33–36.
11. Манаенков А.С., Рыбашлыкова Л.П. Эколого-биологические аспекты кустарниковой мелиорации деградированных пастбищ на бугристо-увалистых комплексах песчаных земель Прикаспия // Устойчивое развитие горных территорий. 2023. Т. 15. № 2(56). С. 246-255. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-246-255>
12. Методические рекомендации по фитомелиоративной реконструкции деградированных и опустыненных пастбищ Российской Федерации инновационными экологически безопасными ресурсосберегающими технологиями / А.И. Беляев, К.Н. Кулик, А.С. Манаенков [и др.]. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 68 с.
13. Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического исследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. 1984. М.: Колос. 77 с.
14. Опустынивание и комплексная мелиорация агроландшафтов засушливой зоны / Кулик К.Н., Габунщина Э.Б., Кружилин И.П., Куст Г.С., Манаенков А.С., Павловский Е.С., Савостьянов В.К., Тулухонов А.К., Петров В.И. Волгоград, 2007. 86 с.

15. Петров В.И., Власенко М.В. Мелиоративные методы восстановления продуктивности земель Северо-Западного Прикаспия // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2017. № 1 (65). С. 11–16.
16. Петров К.М., Бананова В.А., Лазарева В.Г., Унагаев А.С. Региональные особенности глобального процесса опустынивания в Северо-Западном Прикаспии // Биосфера. 2016. Т 8. № 1. С. 49–62. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v8i1.143>
17. Сурхаев Г.А., Сурхаев И.Г., Кулик К.Н., Стародубцева Г.П. Опыт лесомелиорации экосистем песков Терско-Кумского междуречья // Экосистемы: Экология и динамика. 2019. №3 (4). С 5–23.
18. Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 517 p.
19. Gamoun M., Hanchi B., Neffati M. Dynamic of plant communities in Saharan rangelands of Tunisia // Аридные экосистемы. 2012. Vol. 18. N 2(51). P. 54–61. <https://doi.org/10.1134/S2079096112020060>
20. Gamoun M., Tarhouni M., Ouled Belgacem A., Neffati M., Hanchi B. Response of Different Arid Rangelands to Protection and Drought // Arid Land Research and Management. 2011. N 25. P. 372–378. <https://doi.org/10.1080/15324982.2011.611578>
21. Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. On the 30th anniversary of the “general plan to combat desertification of black lands and kizlyar pastures” // Arid Ecosystems. 2018. Vol. 8. N 1. P. 5–12. <https://doi.org/10.1134/S2079096118010067>
22. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // Arid Ecosystems. 2020. Vol. 10. No 4. P. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
23. Tarhouni M. Indicateurs de biodiversité et dynamique du couvert végétal naturel aux voisinages de trois points d’eau en zone aride tunisienne: cas des parcours collectifs d’El-Ouara. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Fac. Sci. Tunis, 2008, 168 p.
24. The plant list. URL: <http://www.theplantlist.org/> (дата обращения 20.01.2024).

References

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksaciya* [Forest taxation]. M.: Forest industry, 1982, 552 p.
2. Bananova V.A., Lazareva V.G., Petrov K.M. Tendencii processov opustynivaniya v severo-zapadnoj chasti Prikaspijskoj nizmennosti [Trends in desertification

- processes in the northwestern part of the Caspian lowland]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2021, no. 1(80), pp. 77–86.
3. Dedova E.B., Goldvarg B.A., Tsagan-Manjiev N.L. Land degradation of the Republic of Kalmykia: problems and ways of their restoration. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2020, vol. 26, no. 2 (83), pp. 63–71.
 4. Zonn I.S., Kust G.S., Andreeva O.V. *Paradigma opustynivaniya: 40 let razvitiya i global'nyj deystvii* [The paradigm of desertification: 40 years of development and global action]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2017, vol. 23, no. 3(72), pp. 3–16.
 5. Kasyanov F.M. *Zashchitnye lesonasazhdeniya dlya povysheniya produktivnosti lugov i pastbishch* [Protective forest plantations to increase the productivity of meadows and pastures]. Agroforestry. M.: Forest industry, 1979, pp. 132–148.
 6. Kryuchkov S.N., Mattis G.Ya. *Lesorazvedenie v zasushliviyykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd: VNIALMI, 2014, 301 p.
 7. Kulik K.N. *Agrolesomeliorativnoe kartografirovaniye i fitoekologicheskaya ocenka aridnykh landshaftov* [Agroforestry mapping and phytocological assessment of arid landscapes]. Volgograd: VNIALMI, 2004, 247 p.
 8. Lazareva V.G. Transformatsiya prostranstvennoy struktury rastitel'nogo pokrova Severo-Zapadnogo Prikaspiya v svyazi s antropogennym vozdeystviem [Transformation of the spatial structure of the vegetation cover of the Northwestern Caspian Sea in connection with anthropogenic impact]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra* [Proceedings of the Samara Scientific Center], 2018, vol. 20, no. 2, pp. 116–123.
 9. Lazareva V.G., Bananova V.A. Tendentsii izmeneniya botanicheskogo raznoobraziya pod vliyaniem opustynivaniya v Respublike Kalmykiya [Trends in the change of botanical diversity under the influence of desertification in the Republic of Kalmykia]. *Aridnye ekosistemy* [Arid ecosystems], 2014, vol. 20, no. 2(59), pp. 87–96.
 10. Manaenkov A.S. Restavratsiya opustynennykh pastbishch na Chernyykh zemlyakh [Restoration of desolate pastures on Black lands]. *Lesnoe hozyajstvo* [Forestry], 1993, no. 6, pp. 33–36.
 11. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Ekologo-biologicheskie aspekty kustarnikovoy melioratsii degradirovannykh pastbishch na bugristo-uvalistykh kompleksakh peschanykh zemel' Prikaspiya [Ecological and biological aspects of shrubby land reclamation of degraded pastures on hummocky-hummocky complexes of sandy lands of the Caspian Sea]. *Ustoichivoe razvitiye gornyykh territorij* [Sustainable development of mountainous territories], 2023, vol. 15, no. 2(56), pp. 246–255. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2023-15-2-246-255>

12. *Metodicheskie rekomendacii po fitomeliorativnoj rekonstrukcii degradirovannyh i opustynennyh pastbishch Rossijskoj Federacii innovacionnymi ekologicheskimi bezopasnymi resursosberegayushchimi tekhnologiyami*. [Methodological recommendations for the phytomeliorative reconstruction of degraded and desolate pastures of the Russian Federation with innovative environmentally safe resource-saving technologies] / A.I. Belyaev, K.N. Kulik, A.S. Manaenkov [et al.]. Volgograd: Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, 2021, 68 p.
13. *Obshchesoyuznaya instrukciya po provedeniyu geobotanicheskogo issledovaniya prirodnih kormovyh ugodij i sostavleniyu krupnomasshtabnyh geobotanicheskikh kart* [All-Union instruction on conducting a geobotanical study of natural forage lands and compiling large-scale geobotanical maps]. Moscow: Kolos, 1984, 77 p.
14. *Opustynivanie i kompleksnaya melioraciya agrolandshaftov zasushlivoj zony* [Desertification and complex reclamation of agricultural landscapes of the arid zone] / Kulik K.N., Gabunshchina E.B., Kruzhilin I.P., Kust G.S., Manaenkov A.S., Pavlovsky E.S., Savostyanov V.K., Tulukhonov A.K., Petrov V.I. Volgograd, 2007, 86 p.
15. Petrov V.I., Vlasenko M.V. Meliorativnye metody vosstanovleniya produktivnosti zemel' Severo-Zapadnogo Prikaspiya [Reclamation methods for restoring land productivity in the Northwestern Caspian region]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture], 2017, no. 1 (65), pp. 11–16.
16. Petrov K.M., Bananova V.A., Lazareva V.G., Unagaev A.S. Regional'nye osobennosti global'nogo processa opustynivaniya v Severo-Zapadnom Prikaspii [Regional features of the global desertification process in the Northwestern Caspian region]. *Biosfera* [Biosphere], 2016, vol. 8, no. 1, pp. 49–62. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v8i1.143>
17. Surkhaev G.A., Surkhaev I.G., Kulik K.N., Starodubtseva G.P. Opyt lesomelioracii ekosistem peskov Tersko-Kumskogo mezhdurech'ya [The experience of forest reclamation of the ecosystems of the sands of the Tersko-Kuma interfluv]. *Ekosistemy: Ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], 2019, no. 3 (4), pp. 5–23.
18. Cherepanov S.K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR). Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 517 p.
19. Gamoun M., Hanchi B., Neffati M. Dynamic of plant communities in Saharan rangelands of Tunisia. *Arid Ecosystems*, 2012, vol. 18, no. 2(51), pp. 54–61.
20. Gamoun M., Tarhouni M., Ouled Belgacem A., Neffati M., Hanchi B. Response of Different Arid Rangelands to Protection and Drought. *Arid Land Research*

- and Management*, 2011, no. 25, pp. 372–378. <https://doi.org/10.1080/1532498.2.2011.611578>
21. Kulik K.N., Petrov V.I., Rulev A.S., Kosheleva O.Y., Shinkarenko S.S. On the 30th anniversary of the “general plan to combat desertification of black lands and kizlyar pastures”. *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 5–12. <https://doi.org/10.1134/52079096118010067>
22. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region. *Arid Ecosystems*, 2020, vol. 10, no. 4, pp. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
23. Tarhouni M. Indicateurs de biodiversité et dynamique du couvert végétal naturel aux voisinages detrois points d’eau en zone aride tunisienne: cas des parcours collectifs d’El-Ouara. Thèse de doctorat ensciences biologiques. Fac. Sci. Tunis, 2008, 168 p.
24. The plant list. URL: <http://www.theplantlist.org/>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рыбашлыкова Людмила Петровна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН)»*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
rybashlykova-l@vfanc.ru*

Сивцева Светлана Николаевна, научный сотрудник

*Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
ул. Пролетарская, 12, село Ачикулак, Нефтекумский городской округ, Ставропольский край, 356890, Российская Федерация
achikylak356890@mail.ru*

Маховикова Татьяна Федоровна, научный сотрудник

Северо-Кавказский филиал Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук

ул. Пролетарская, 12, село Ачикулак, Нефтекумский городской округ, Ставропольский край, 356890, Российская Федерация
achikylak356890@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ludmila P. Rybashlykova, Candidate of Agriculture, Leading Research Scientist
Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Meliorations and Protective Afforestation of Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
rybashlykova-l@yrfanc.ru
SPIN-code: 3365-6897
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3675-6243>

Svetlana N. Sivceva, Researcher
North Caucasian branch of the Federal Research Centre of agroecology, amelioration and protective afforestation of Russian Academy of Sciences
12, Proletarskaya Str., Achikulak, Neftekumsky city district, Stavropol Krai, 356890, Russian Federation
achikylak356890@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1068-2677>

Tatyana F. Mahovikova, Researcher
North Caucasian branch of the Federal Research Centre of agroecology, amelioration and protective afforestation of Russian Academy of Sciences
12, Proletarskaya Str., Achikulak, Neftekumsky city district, Stavropol Krai, 356890, Russian Federation
achikylak356890@mail.ru
SPIN-code: 9595-0675
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6316-6866>

Поступила 27.02.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 03.04.2024

Received 27.02.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 03.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-985

UDC 631.532:57.043



Original article

IN VITRO RESPONSE OF *COTINUS COGGYGRIA* SCOP. TO THE SPECTRAL RADIATION AND LEDS INTENSITY

O.O. Zholobova, I.V. Mogilevskaya

Background. Modern wide-spectrum LED installations' application under strictly controlled conditions with the correct choice of the quantitative and qualitative light composition helps the microclonal propagation of species *Cotinus coggygia* Scop., used in agroforestry, landscaping, and pharmaceuticals.

Purpose. Choosing the best photomorphogenesis parameters in vitro on a hormone-free medium for *C. coggygia* as a perspective plant species for commercial uses.

Materials and methods. The effect of 15 lighting options, namely 6 ratios of red (R), blue (B), and green (G) spectra, on the composition of LEDs on *C. coggygia* explants in vitro by methods used in microclonal propagation was studied. The biochemical parameters' content in the samples of the studied leaves was determined using the optical method. Statistical data processing was carried out using the Statistica 12.0 application package (StatSoft, USA).

Results. Determining the parameters of regenerants and leaf plates cultivated in vitro, as well as the pigment leaves' composition, made it possible to select the optimal spectral ratio (1R:1B:0.5G) and PPFD values ($40\text{--}70\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$) to obtain maximum results at cultivation on a hormone-free medium according to the Murashige and Scoog protocol. During the analysis of *C. coggygia* biochemical leaf composition, the maximum total chlorophyll amounts ($17\text{--}21.5\ \mu\text{g cm}^{-2}$) and NBI ($67.8\text{--}71.0\text{ c.u.}$) and the minimum flavonoids and anthocyanins amounts were obtained, which confirms the normal photosynthetic' apparatus work of the studied microshoots.

Conclusion. The results obtained can be recommended to be used for optimizing the micropropagation technology of *C. coggygia*.

Keywords: *C. coggygia*; LEDs; micropropagation; spectrum radiation; regenerants

For citation. Zholobova O.V. Mogilevskaya I.V. In Vitro Response of *Cotinus coggygia* Scop. to the Spectral Radiation and Intensity of LEDs. Siberian

Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 344-366. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-985

Научная статья

ОТВЕТ *COTINUS COGGYGRIA* SCOP. НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТОДИОДОВ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

О.О. Жолобова, И.В. Могилевская

Обоснование. Использование современных светодиодных установок широкого спектра в строго контролируемых условиях при правильном выборе количественного и качественного состава света способствует микроразмножению вида *Cotinus coggygia* Scop., используемого в агролесомелиорации, озеленении и фармацевтике.

Цель. Подбор оптимальных параметров фотоморфогенеза для *C. coggygia* в условиях *in vitro* на безгормональной среде как перспективного вида растений, используемого в хозяйственной деятельности.

Материалы и методы. Исследовано действие 15 вариантов освещения, а именно 6 соотношений красного (R), синего (B) и зеленого (G) спектров в составе светодиодов на экспланты *C. coggygia in vitro* методами, применяемыми в микроразмножении. Определение содержания биохимических показателей в образцах исследуемых листьев проведено оптическим методом. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ Statistica 12.0 (StatSoft, USA).

Результаты. Определение показателей регенерантов и листовых пластин, культивируемых *in vitro*, а также пигментного состава листьев позволило выбрать оптимальное соотношение спектров (1R:1B:0.5G) и значения PPFD ($40\text{--}70 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) для получения максимальных результатов при культивировании на безгормональной среде по протоколу Murashige и Scoog. В ходе анализа биохимического состава листьев *C. coggygia* получены максимальные количества хлорофилла общего ($17\text{--}21,5 \text{ мкг см}^2$) и NBI ($67,8\text{--}71,0 \text{ у.е.}$) и минимальные количества флавоноидов и антоцианов, что подтверждает нормальную работу фотосинтетического аппарата исследуемых микропобегов.

Закключение. Полученные результаты можно рекомендовать использовать для оптимизации технологии микроразмножения *C. coggygia*.

Ключевые слова: *C. Coggygia*; светодиоды; микроразмножение; спектр излучения; регенеранты

Для цитирования. Жолобова О.О., Могилевская И.В. Ответ *Cotinus coggygria* Scop. на спектральный состав и интенсивность светодиодов в культуре in vitro // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 344-366. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-985

Introduction

Spectral composition, photosynthetic photon flux density, and photoperiod duration [38] directly affect the successful propagation of plant tissue cultures and their photomorphogenesis [5; 25; 30]. Controlling the light quality and knowing which portions (or combinations) of spectral regions of LEDs are involved in various processes allow one to obtain samples with the desired characteristics [10]. In the researchers works [2] a lighting intensity of $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ was excessive for optimal growth of birch microshoots, and for sage in vitro [28] on the contrary, three PPFD options were selected: low ($50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), medium ($130 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and high ($220 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). At the same time, at high light intensity ($200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a positive reaction was noted in lemon in vitro: observed a high content of chlorophyll and carbohydrates [1]. For example, Park и Runkle [36] grew ornamental plant seedlings at 20°C using six single-source LED lighting treatments, but at a $160 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The range of optimal light intensity values for a particular plant species is very individual.

In addition to the influence of intensity and spectral composition, researchers pay attention to the pigment composition in plant leaves, which reflects their response to changes in these factors and characterizes the operation of the photosynthetic apparatus [30; 35].

Chlorophylls, carotenoids, and anthocyanins are the major light-absorbing pigments in plants and utilize light wavelengths ranging from 400 to 700 nm for photosynthetic activity [13]. Red light is most effectively absorbed by chlorophyll [39], and blue light is the main morphogenesis component and produces leaves with a high chlorophyll content [1]. Irradiation with light with a wavelength of 730 nm stops plant development processes [5; 14].

The blue spectrum is capable of being absorbed by carotenoids at wavelengths of 448 and 452 nm; photoinhibition and photodamage are neutralized by anthocyanins, which absorb excess radiation [39]. These factors and the LED technologies development have contributed to the photosynthesis process optimization and the regulation of physiological plants characteristics in micropropagation [9; 27; 34]. The functionality, cost-efficiency, durability, low heat, and environmental friendliness of LEDs enable customized lighting patterns that control plant response for optimal performance [39]. Our study is relevant since, among scientific results,

there are more references to the influence of spectral composition on herbaceous plants than on woody plants [30; 32]. Information on the influence of lighting intensity and qualitative spectral composition on the parameters of *Cotinus coggygia* in vitro is not currently presented in the literature.

The genus *Cotinus* (family Anacardiaceae) includes some species of trees or deciduous shrubs native to temperate environments of the northern hemisphere (China, southern USA, southern Europe, Colombia, southern and central Europe, southern Russia, Crimea, Caucasus, Turkey) [18; 23; 40]. *Cotinus coggygia* Scop. (or European Smoketree) is a perennial deciduous shrub, sometimes a small tree up to 5 m tall. *C. coggygia* can be cultivated in dry, rocky soils due to the fact that this plant is resistant to climate conditions with minimal rainfall. It is used in various areas of economic activity, including steppe afforestation and the restoration of disturbed lands. The medicinal properties of *C. coggygia* have been studied since useful extracts and essential oils have been isolated from various organs of this plant, which have valuable anticancer [16; 19], antimicrobial [8; 18], anti-inflammatory [12], and antidiabetic [26] actions. Also, *C. coggygia*, according to researchers [11], which is a valuable medicinal raw material, contains a large amount of biologically active substances, and may be used as feed additives for livestock and poultry.

Objective

The purpose of our study was choosing the best photomorphogenesis parameters in vitro on a hormone-free medium for *C. coggygia* as a perspective plant species for commercial uses.

Materials and methods

All experiments were carried out in the laboratory of biotechnologies of the Federal Scientific Centre for Agroecology, Integrated Reclamation, and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS), Volgograd, Russia. In this study, conventional plant biotechnology methods were used [3]. During the experiment, we studied the effect of LEDs on the efficiency of *C. coggygia* micropropagation and its photosynthetic potential.

Cotinus coggygia Scop. explants, previously propagated were used for the experiment to study the light intensity and spectral composition influence, it was carried out in 2023. All plant materials were obtained from donor plants located on the territory of FSC Agroecology RAS, Volgograd.

The morphological characteristics of the studied plants were determined in vitro on 15 lighting options at a photoperiod of 16/8 h and a temperature

of 23 ± 2 °C for 42 days (6 weeks) of cultivation. The LEDs were located at a distance of 5–10 cm from the tube top. Lightning options for the cultivation of *C. cogggyria* explants with different ratios of red (R), blue (B), and green (G) spectra are presented in tab.1.

Table 1.

Lightning options for cultivation of *C. cogggyria* explants

Name of LED installation		Types of LED used (R: B: G)	PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
STELLAR ФИТО LINE (C)		1:1:0.5	40, 70, 125, 170
Gauss Basic, LED (L)		0.9:1:0.8	20
Multi-tiered vegetation plant (M)	option A	0.7:1:0.5	70, 125
	option B	2:1:0.5	40, 70, 125
Growth chamber TPL 500 (TPL)		0.5:1:0.03	125
Climate chamber VeFarm – Clima 2 (V)		2.5:1:0.4	70, 125, 170, 225

To set the illumination level (required photosynthetic photon flux density (PPFD)), a compact JI600D touch-screen photon flux spectral sensor (RoHS Compliant, Taiwan) was used. 15 lighting options were configured using it, UspectrumX 1.00 software (UPRtek, Taiwan).

After 6 weeks of in vitro cultivation, shoot length, average root length, fresh shoot and root masses, number of roots per explant, as well as characteristics of leaf plates (length (L) and width (D), area, and L/D ratio) were assessed. The content of biochemical parameters of the studied leaves (total chlorophyll, flavonoids, anthocyanins, and nitrogen balance index) was determined by the optical method using an analyzer of plants Dualex+ (Force A, France). Morphological indicators were taken using the generally accepted method [3]. Measurement of the mass of the shoot and root was carried out by the gravimetric method on an analytical balance VL-120 C (Gosmetr, Russia).

Explants (~2.5–3.0 cm) with one or two nodes, grown in vitro, were transferred under aseptic conditions in a laminar box NEOTERIC (Lamsystems, Russia) into 50 ml glass tubes with 12–15 ml of MS medium according to the Murashige and Scoog protocol [3] with 7.0 g L⁻¹ Plant agar (Dia-m, Russia) and 30 g L⁻¹ sucrose, without adding growth regulators to eliminate the growth regulators influence on the studied samples. The medium pH was adjusted to 5.8 with a 1M KOH solution before the experiment. The prepared medium was sterilized in an autoclave (GKa-PZ 25) using saturated steam under pressure (P = 101 kPa) at 121°C for 20 min. At the cultivation stage, the explants were at 23 ± 2 °C and a 16-hour photoperiod under the conditions (tab.1) for 42 days.

The experiment was carried out in 10-fold biological and two-fold analytical replicates. After 6 weeks, the regenerants were carefully removed from the culture tubes, and parameters were measured. Experimental data were carried out using software for image analysis and processing, ImageJ (USA).

All data were expressed as mean $\pm$ SE. Statistical analysis was performed using STATISTICA software (Stat Soft Inc., USA) and Microsoft Office Excel 2019. Differences between the means of several groups were determined using ANOVA, one-way analysis of variance, and Fisher's test. All differences were considered to be statistically significant at $p < 0.05$.

Results of the Research and Discussion

The results showed that plants in studied lighting conditions responded differently to the variable experimental parameters. Both positive and negative effects were observed when cultured under controlled conditions (fig.1, 2).

The maximum shoot lengths were recorded in the lighting options, with R: B=0.5–1 in a wide range of lighting intensity (up to $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ at the ratio R: B=1) (fig.1).

A comparison of the regenerated shoot lengths under different conditions showed that with an increase of the red wave in the spectrum to R: B = 2.0–2.5 and intensity to $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

The values are statistically significant with the data obtained at R: B=1:1. The positive effect of R: B=1:1 spectrum on shoot length and fresh weight was mentioned in research by Huimin and Zhigang [20] studied *Gossypium hirsutum* L. in vitro. The authors believe that blue and red LEDs, when used together, can offset each other's shortcomings. Combining them can promote growth, but the best blue and red LED ratio depends on the plant species and cultivar [31].

When analyzing the data, it was noticed the root length does not have statistical differences at R:B ratios=0.7–2 and PPFD = $70 - 125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A decrease in root length was observed with an increase in illumination intensity to $170 - 225 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and the spectral composition of LEDs to 2.5R:1B:0.5G. The root number on the explant after cultivation for 6 weeks is at its maximum at an intensity of $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1R:1B:0.5G) (fig.2, a). With this value, the indicators of the roots number at PPFD = 40 (1R:1B:0.5G) and 70 (2.5R:1B:0.5G) are not statistically significant. A sharp decrease in the root number to 0.1–0.9 (2.5 times or more) was observed even with an increase in PPFD to $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and higher (fig.1, fig.2 (g, h)). A decrease in rhizogenesis was also noted, including regenerants with second-order roots or even their absence at the spectral ratios (PPFD= 40, $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) и 2.5R:1B:0.4G (PPFD более $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (fig. 3).

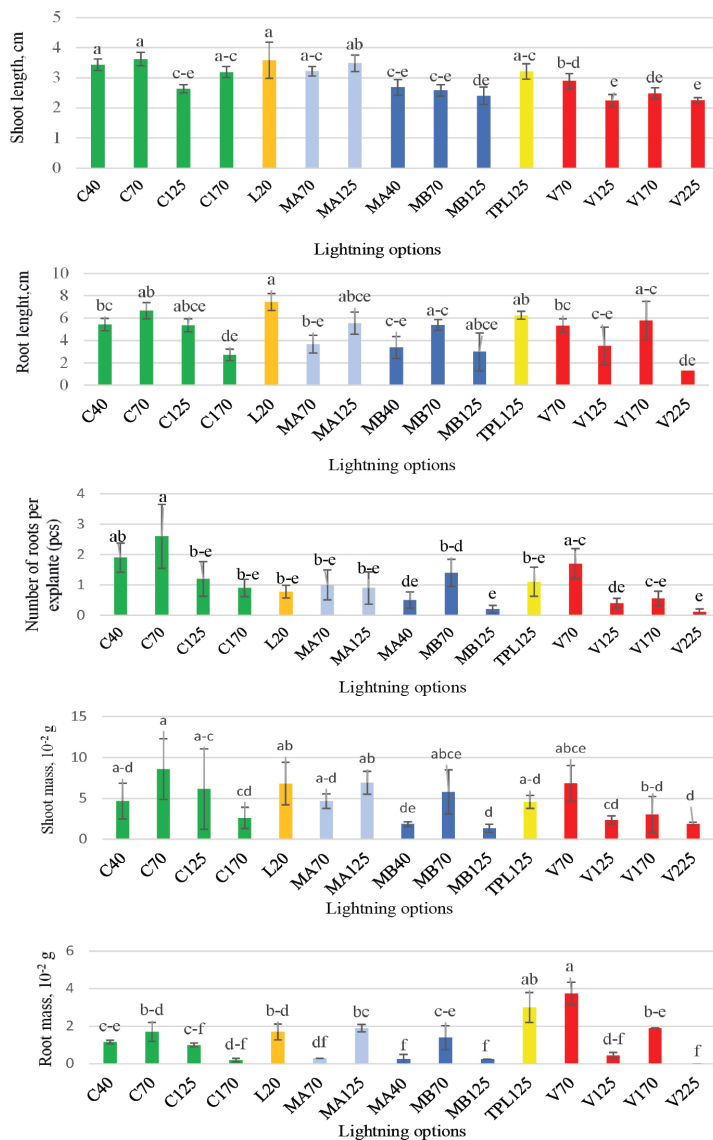


Fig. 1. Characteristics of *C. coggvria* microshoots after 6 weeks of cultivation. Column means followed by different letters are significantly different at the 5% level of Fisher LSD ANOVA.



Fig. 2. Regenerants of *C. coggygia* after cultivation in different lighting options (R: B: G, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$): 1:1:0.5, 70 (a); 0.7:1:0.5, 70 (b); 2:1 :0.5, 70 (c); 2.5:1:0.4, 70 (d); 1:1:0.5, 125 (e); 0.7:1:0.5, 125 (f); 2:1B:0.5G, 125 (g); 2.5:1.0:0.4, 125 (h); 0.5:1:0.03, 125 (i). Scales correspond to 1 cm.

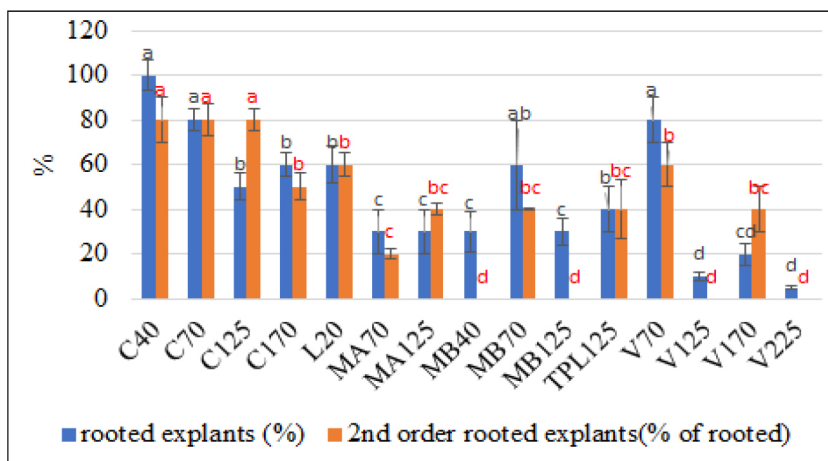


Fig. 3. Number of rooted explants and with 2nd order roots (% of rooted). Column means followed by different letters are significantly different at the 5% level of Fisher LSD ANOVA.

Thus, when cultivating *C. coggygia* under controlled conditions, increasing the proportion of the red spectrum does not produce a positive effect. A similar effect was obtained by Galdiano et al. [24] in *Cattleya loddigesii* Lindley, where red color reduced root length.

The maximum values of the fresh shoot mass (fig. 1) were observed at an intensity of 40–125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1R:1B:0.5G), in other spectral variants, with an increase of the red spectrum to 2 – 2.5R, a decrease in mass escape occurred already at an intensity of 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Therefore, the ratio (0.9–1) R:1B and the illumination intensity of no more than 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ are advantageous compared to other spectral options, which is consistent with the data [15, 34, 35].

During the studies, the maximum root mass was noted with a spectral ratio 2.5R:1B:0.4G and PPFD=70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3.75) and 0.5R:1B:0.03G and 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3.00), but it was not possible to identify any dependence of the value of this indicator on the intensity and spectral composition.

Analysis of the morphometric parameters of *C. coggygia* showed the table 2.

Table 2.

**Morphometric characteristics of leaves of *C. coggygia* in vitro
with different variants of spectral composition and PPFD**

Types of LED used (R: B: G)	PPFD, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Leaf plate area, cm^2	L/D ratio	Increase in the leaves' number per explant, pcs.
1:1:0.5	40	0.36±0.05 c-f	1.56±0.07 c	3.90±0.82a
	70	0.52±0.06 ab	1.60±0.06 bc	4.60±0.94a
	125	0.50±0.08 a-c	1.58±0.07 bc	2.80±0.93a-d
	170	0.20±0.04 fg	1.45±0.08 c	1.80±0.53b-d
0.9:1:0.8	20	0.62±0.04 a	1.66±0.07 bc	3.60±0.95ab
0.7:1:0.5	70	0.43±0.08 b-d	1.95±0.07 a	4.20±0.68a
	125	0.62±0.05 a	1.59±0.07 bc	2.80±0.8a-d
2:1:0.5	40	0.24±0.03 e-g	1.80±0.09 ab	2.70±0.59a-d
	70	0.44±0.07 a-c	1.57±0.07 bc	2.80±0.69a-d
	125	0.16±0.02 g	1.72±0.06 a-c	1.40±0.27cd
0.5:1:0.03	125	0.33±0.02 d-g	1.60±0.06 bc	3.60±0.7ab
2.5:1:0.4	70	0.62±0.06 a	1.59±0.09 bc	3.10±0.82a-c
	125	0.30±0.06 c-g	1.72±0.09 a-c	1.70±0.33b-d
	170	0.35±0.04c-g	1.72±0.13 bc	2.89±0.67a-d
	225	0.26±0.07d-g	1.85±0.18 ab	0.89±0.45d

Column means followed by different letters are significantly different at the 5% level of Fisher LSD ANOVA.

Leaf plates parameters (area and ratio of length to width (L/D)) are influenced by the PPFD parameter, since a decrease in leaf area was observed with an increase in PPFD > 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and reducing it to 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The optimal value for different spectral ratios for leaf area is a range of 70 - 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (tab. 2).

Our data are consistent with the studies [31], where the leaf area of elite clones of *Populus euramericana* plants in vitro was greatest under high exposure to monochrome red light or a combination of R: B=70/30 (%) and 60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

In studies [22], combined treatment with red and blue spectrum in various combinations improved the leaves number. In our experiment, a statistically significant decrease of leaves number was noted at R: B = (2–2.5):1 and high light intensity values, with a ratios R: B=0.5–1 the leaves number increase over 6 weeks fluctuated in the range of 3.6 – 4.2 (tab.2).

The state of the pigment complex affects the plant organism's resistance to unfavorable environmental factors [6]. In micropropagation, plants are often exposed to high relative humidity within culture containers, reduced gas exchange, low CO₂ concentrations during the photoperiod, and high concentrations of carbohydrates, nitrogen, and growth regulators in the growing media. It directly affects the photosynthesis process in plants in vitro. Therefore, the selection of spectral ratios and photosynthetic photon flux density can be used to improve it [15, 32].

When studying the influence of different lighting options on *C. coggygia* leaves photosynthetic parameters, it was noted the maximum values of total chlorophyll were observed at a lighting intensity of 40–125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1R:1B:0.5G) and 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2R:1B:0.5G) (tab. 3).

These values (17.26–21.5 $\mu\text{g cm}^{-2}$) correspond to the normal operation of the photosynthetic apparatus of *C. coggygia* in vitro with a sufficient number of nutritional components in the medium [4].

When using R:B ratios, many researchers have confirmed the positive effect of R: B= 1:1 on the accumulation of chlorophyll compared to the monochromatic effect of only red or only blue spectra, while the response of chlorophyll content in vitro to different illumination may vary in different plant species [21, 29, 17]. Changing the R:B ratio down to 0.5 or up to 2.5 results in a decrease in total chlorophyll, which is consistent with studies [39].

PPFD is measured $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Column means followed by different letters are significantly different at the 5% level of Fisher LSD ANOVA.

The lowest values of this indicator were obtained when the photosynthetic photon flux density increased to 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. At 225 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, there was

no possibility of taking results using the optical method due to the drying out of the regenerants. Thus, the amount of total chlorophyll in leaf samples decreased by 2 times when increased to $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. According to the study of Huimin and Zhigang [20], *Gossypium hirsutum* L. seedlings can utilize chlorophyll more efficiently under red LED light than under blue LED light and $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, which is consistent with our results on total chlorophyll since a decrease in its content occurs precisely with an increase in the proportion of the red spectrum.

Table 3.

Pigment composition of *C. coggygia* leaves after cultivation for 6 weeks under different lighting conditions

Types of LED used	PPFD*	Total Chlorophyll, $\mu\text{g cm}^{-2}$	NBI, c.u	Flavonoids, $\mu\text{g cm}^{-2}$	Anthocyanins, $\mu\text{g cm}^{-2}$
1:1:0.5	40	17.26 ± 1.1 b-d	$70.99 \pm 6.2a$	$0.27 \pm 0.02f$	$0.4 \pm 0.01b$
	70	21.41 ± 1.5 a	$67.85 \pm 4.2a$	$0.34 \pm 0.02ef$	$0.39 \pm 0.01de$
	125	18.6 ± 1.5 a	$48.62 \pm 5.8b-d$	$0.45 \pm 0.04cd$	$0.46 \pm 0.03b$
	170	9.91 ± 1.2 fi	$12.36 \pm 1.4f$	$0.8 \pm 0.05a$	$0.67 \pm 0.04a$
0.9:1:0.8	20	17.53 ± 0.9 bc	$66.09 \pm 3.6a$	$0.28 \pm 0.02f$	$0.39 \pm 0.01e$
0.7:1:0.5	70	16.37 ± 0.8 c-f	$48.94 \pm 4.6b-d$	$0.36 \pm 0.02e$	$0.42 \pm 0.01b-e$
	125	13.52 ± 0.7 fi	$39.42 \pm 3.0c-e$	$0.33 \pm 0.02ef$	$0.44 \pm 0.01bc$
2:1:0.5	40	21.50 ± 1.4 a	$61.9 \pm 5.2ab$	$0.37 \pm 0.03de$	$0.38 \pm 0.02e$
	70	14.75 ± 1.4 b-d	$50.63 \pm 6.5bc$	$0.33 \pm 0.03ef$	$0.43 \pm 0.02b-e$
	125	11.51 ± 1.1 b-f	$24.31 \pm 5.5ef$	$0.54 \pm 0.06bc$	$0.44 \pm 0.02b-e$
0.5:1:0.03	125	14.12 ± 0.9 fi	$46.16 \pm 3.4cd$	$0.33 \pm 0.02ef$	$0.42 \pm 0.01b-e$
2.5:1:0.4	70	17.27 ± 0.9 b-d	$40.23 \pm 4.1c-e$	$0.46 \pm 0.03cd$	$0.44 \pm 0.01bce$
	125	15.18 ± 1.4 b-f	$29.6 \pm 5.3d-f$	$0.57 \pm 0.08bc$	$0.45 \pm 0.02b-e$
	170	9.34 ± 1.13 i	$18.97 \pm 4.4f$	$0.59 \pm 0.06b$	$0.61 \pm 0.04a$

The maximum flavonoids ($0.8 \mu\text{g cm}^{-2}$) and anthocyanins ($0.67 \mu\text{g cm}^{-2}$) content was observed at a light intensity of $170 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. These values are 2.5 and 1.7 times greater, respectively, than the amounts of the studied pigments at lower PPFD ($40 - 70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Anthocyanins are known to prevent photoinhibition and photodamage by absorbing excess radiation. To cope with stress caused by excessive light intensity, plants accumulate phenolic compounds (flavonoids and anthocyanins) in the leaf epidermis, which shield excessive radiation [37]. Minimum values of anthocyanins ($0.38 - 0.4 \mu\text{g cm}^{-2}$) and flavonoids ($0.28 - 0.33 \mu\text{g cm}^{-2}$) were observed at low PPFD ($20 - 70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) due to the absence of increased light intensity.

Changes in the chlorophyll content that occur in plant leaves are accompanied by changes in the plant nitrogen balance index NBI, which is an indicator of changes in the carbon to nitrogen ratio in formed leaves [7]. The NBI nitrogen balance index characterizes the ratio of chlorophylls and flavonoids in the leaf blade. The maximum values of the indicator were observed in the intensity range 40–70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ in different variants of the spectra (~62–71 c.u.). A sharp decrease in NBI by almost 6 times (tab.3) at light intensity up to 170 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ characterizes a lack of nitrogen in the leaves. When a plant is in optimal shape, it uses basal metabolism and synthesizes proteins that determine the nitrogen balance index, and when plants lack nitrogen, they direct their metabolism to the synthesis of flavonoids [6]. This is due to the response of *C. coggygia* regenerants at high light intensities.

When cultivated in vitro for 6 weeks and using different ratios of spectra and lighting intensities, the combined influence of these factors on the performance of *C. coggygia* microshoots can be noted. With close ratios R:B:G=1:1:0.5 and 0.9:1:0.8 and a PPFD range of 20–70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, maximum shoot and root lengths and leaf growth were obtained, indicating a positive effect on the biochemical composition of leaf plates in the absence of excess radiation. For other spectral ratios with a red component predominance, a negative effect was already noted at an intensity of 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Thus, we can note the positive effect of the blue component of the spectrum in equal shares with the red one or its prevalence over the red one (R: B = (0.5 - 0.9):1). These results are consistent with the studies of Batista et al. [32]. At an intensity < 125 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ and an increase in the proportion of the red component to R=2–2.5, a response was noted in the of *C. coggygia* microshoots, manifested in the reddening of the leaves and a change in their biochemical composition (a decrease in the total chlorophyll content and an increase in the flavonoids and anthocyanins amount), a reduction in fresh shoot and root masses, a decline in the rhizogenesis ability, a decrease in the leaf plate area, and an increase in the leaves' number.

Analysis of data from the literature and our research made it possible to select optimal PPFD values and qualitative composition for cultivating *C. coggygia* under in vitro conditions. The study results can be used to optimize the protocol for micropropagation of *C. coggygia* explants in artificial lighting conditions.

Conclusion

Our research made possible to select the optimal spectral composition and the light intensity for cultivating *C. coggygia* regenerants. With these param-

eters, the upper part of the shoot developed well, and maximum rooting of regenerants was observed. Analysis of the pigment composition of leaves under the selected conditions showed the maximum chlorophyll content and nitrogen balance index with minimal amounts of anthocyanins and flavonoids, which indicates the normal functioning of the photosynthetic apparatus of *C. coggygia* microshoots.

Conflict of interest information. There's no conflict of interests between authors.

Funding. The research was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No.122020100427-1 To develop a scientific basis for the preservation and reproduction of valuable wood and shrubs genotypes in culture in vitro.

References

1. Vliyanie spektral'nogo sostava svetodiodnogo izlucheniya na rost i razvitie ras-teniy [Influence of the spectral composition of led radiation on plant growth and development]. Lyakh P.A., Koloshina K.A., Popova K.I., Lyakh, A.A. *In-novatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*, 2022, no. 1, pp. 108-120. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-35-1-108-120>
2. Vozdeystvie svetodiodnykh obluchateley razlichnogo spektral'nogo sostava na rost i razvitie *Betula pubescens* Ehrh. i *Rubus idaeus* L. v kul'ture in vitro [Ef-fect of different led spectrum regimens on growth and development of *Betula pubescens* Ehrh. and *Rubus idaeus* L. in culture in vitro]. Evlakov P.M., Grodets-kaya T.A., Fedorova O.A., Shestakov R.A., Baranov O.Yu. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal*, 2022, vol. 12, no. 4(48), pp. 14-30. <https://doi.org/10.34222/issn2222-7962/2022.4/2>.
3. Ditchenko T.I. *Kul'tura rastitel'nykh kletok, tkaney i organov* [Culture of plant cells, tissues and organs]. Minsk, Belarus': BGU, 2007, 46 p. http://www.bio.bsu.by/fbr/files/plant_cell_cultures.pdf (accessed March 4, 2024).
4. Zholobova O.O., Tereshchenko T.V. Optimizatsiya uglevodnogo sostava pi-tatel'noy sredy pri mikroklonal'nom razmnozhenii *Cotinus coggygia* Scop. [Optimization of the carbohydrate composition of the nutrient medium for microclonal propagation of *Cotinus coggygia* Scop.]. *Tavricheskiiy vestnik agrarnoy nauki*, 2023, no. 4(36), pp. 102-112. <https://doi.org/10.5281/zeno-do.10279273>
5. Opredelenie optimal'nogo spektral'nogo sostava izlucheniya svetodiodnoy fi-tolampy dlya stimulyatsii razvitiya semyan morkovi i tomatu [Optimal Spectral

- Radiation Composition of a LED Phytolapm for Stimulating Carrot and Tomato Seed Development] / Gubina A.A., Levin E.V., Romanovich M.M., Degterev A.E., Patokov N.O., Lamkin I.A., Tarasov S.A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Rossii. Radioelektronika*, 2022, vol. 25, no. 3, pp. 62-72. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72>
6. Otsenka vliyaniya uglekislotnykh ekstraktov pikhty sibirskoy na indeks azotno-go balansa zernovykh kul'tur [Evaluation of the effect of carbon dioxide extracts of siberian fir on the nitrogen balance index of grain crops] / Kovaleva A.L., Zinner N.S., Nekratova A.N., Shchukina A.V. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, no. 2 (196), pp. 20-26. <http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/178/170> (accessed March 4, 2024).
 7. Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v list'yakh «zdorovykh» i «oslablennykh» derev'ev topolya bal'zamicheskogo (*Populus balsamifera* L.), proizrastayushchikh v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya (Respublika Bashkortostan, Sterlitamakskiy promyshlennyy tsentr [The content of photosynthetic pigments in the leaves of «healthy» and «weakened» balsam poplar trees (*Populus balsamifera* L.) growing under conditions of industrial pollution (Republic of Bashkortostan, Sterlitamak industrial center)] / Giniyatullin R.Kh., Ivanov R.S., Tagirova O.V., Kulagin A.Yu. *Samarskiy nauchnyy vestnik*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 43-48. <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>
 8. Antimicrobial screening of *Cotinus coggygria* Scop leaves extract for its application in endodontics / Nizharadze N., Shavadze T., Mamaladze M., Shalashvili K. *Experimental and Clinical Medicine Georgia*, 2022, vol. 8. <https://doi.org/10.52340/jecm.2022.08.01>.
 9. Application of wide-spectrum light-emitting diodes in micropropagation of popular ornamental plant species: A study on plant quality and cost reduction / Miller N., Kulus D., Woźny A., Rymarz D., Hajzer M., Wierzbowski K., Szeffs L. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2019, vol. 55, pp. 99-108. <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9939-5>
 10. Bantis F., Ouzounis T., Radoglou K. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 2016, vol. 198, pp. 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
 11. Chemical Composition and Content of Biologically Active Substances Found in *Cotinus coggygria*, *Dactylorhiza maculata*, *Platanthera chlorantha* Growing in Various Territories / Sukhikh S., Asyakina L., Korobnikov M., Skrypnik L., Pungin A., Ivanova S., Babich O. *Plants*, 2021, vol. 12, pp. 2806, 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10122806>

12. *Cotinus coggygia* Scop. Attenuates Acetic Acid-Induced Colitis in Rats by Regulation of Inflammatory Mediators/ Sen A., Ertaş B., Çevik Ö., Yıldırım A., Kayalı D.G., Akakın D., Şener G. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2023, vol. 195(11), pp. 7021-7036. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04474-1>
13. Davis P.A. Burns C. Photobiology in protected horticulture. *Food and Energy Security*, 2016, vol. 5(4), pp. 223-238. <https://doi.org/10.1002/fes3.97>
14. Degtereva M.M., Roshina N.V., Aleksandrova A.A., Tarasov S.A., Lamkin I.A. et al. The Optoelectronic Semiconductor Device Based of the Leds to Improve Plant Growth. *IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2020, pp. 1123-1125. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039256>
15. Dutta Gupta S., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis. *Plant biotechnology reports*, 2013, vol. 7, pp. 211-220. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
16. Effect and mechanism of total flavonoids extracted from *Cotinus coggygia* against glioblastoma cancer in vitro and in vivo / Wang, G., Wang, J., Du, L., & Li, F. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/856349>
17. Effects of light-emitting diodes on tissue culture plantlets and seedlings of Rice (*Oryza sativa* L.) / Yu L.L., Song C.M., Sun L.J., Li L.L., Xu Z.G., Tang C. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, vol. 19, pp. 1743–1754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62793-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62793-0)
18. Goncagül G., Güceyü C., Günaydin E. Investigation of In-Vitro Antibacterial Activity of *Cotinus coggygia* Scop. Extracts. *Van Veterinary Journal*, 2020, vol. 31(3), pp. 127-132. <https://doi.org/10.36483/vanvetj.742535>
19. Gospodinova Z., Nikolova M., Antov G. In vitro Antiproliferative Effects of *Cotinus coggygia* Scop. on human non-melanoma and melanoma skin cancer cells. *American Journal of Pharm and Health Research*, 2021, vol. 9(7). <https://doi.org/10.46624/ajphr.2021.v9.i7.001>
20. Huimin L., Zhigang X. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 2010, vol. 103, pp. 155–163. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9763-z>
21. Iacona C., Muleo R. Light quality affects in vitro adventitious rooting and ex vitro performance of cherry rootstock Colt. *Scientia Horticulturae*, 2010, vol. 125(4), pp. 630-636. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.018>
22. Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro / Pawłowska B., Żupnik M.,

- Szewczyk-Taranek B., Cioć M. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 2019, vol. 59, pp. 115-123. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0012-4>
23. In vitro antidiabetic activity of *Cotinus coggygria* Scop. / Gozcu S., Yuca H., Dursunoglu B., Demirezer L.O., Guvenlap Z. *Planta med.*, 2016, vol. 81(S01), pp. S1-S381. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596544>
24. In vitro growth and acclimatization of *Cattleya loddigesii* Lindley (Orchidaceae) with activated charcoal in two light spectra / Galdiano R.F.Jr., Mantovani C., Pivetta K.F.L., de Macedo Lemos E.G. *Ciência Rural.*, 2012, vol. 42(5), pp. 801-808. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000019>
25. Influence of light-emitting diodes on the efficiency of valuable woody plants micropropagation / Djangalina E.D., Kapytina A.I., Kaigermazova M.A., Mamirova A.A., Shadenova E.A. *International Journal of Biology and Chemistry*, 2023, vol. 16(1), pp. 49-57. <https://doi.org/10.26577/ijbch.2023.v16.i1.05>
26. Integrating Ethnobotany, Phytochemistry, and Pharmacology of *Cotinus coggygria* and *Toxicodendron vernicifluum* / Antal D.S., Ardelean F., Jijie R., Pinzaru I., Soica C., Dehelean C. *Ethnopharmacology of Eastern European Countries*, 2022, vol. 12, pp. 662852. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.662852>
27. Kim H.J., Lin M.Y., Mitchell C.A. Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes. *Environmental and experimental botany*, 2019, vol. 157, pp. 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>
28. Kozłowska W., Matkowski A., Zielińska S. Light Intensity and Temperature Effect on *Salvia yangii* (BT Drew) Metabolic Profile in vitro. *Frontiers in Plant Science*, 2022, vol. 13, pp. 888509. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888509>
29. Li H., Tang C., Xu Z. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro. *Scientia Horticulturae*, 2013, vol. 150, pp. 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
30. Light and plant growth regulators on in vitro proliferation / Cavallaro V., Pelleggrino A., Muleo R., Forgione I. *Plants*, 2022, vol. 11(7), pp. 844. <https://doi.org/10.3390/plants11070844>
31. Light quality affects shoot regeneration, cell division, and wood formation in elite clones of *Populus euramericana* / Kwon A.R., Cui H.Y., Lee H., Shin H., Kang, K.S., Park, S.Y. *Acta physiologiae plantarum*, 2015, vol. 37, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1812-0>
32. Light quality in plant tissue culture: does it matter? / Batista D.S., Felipe S.H.S., Silva T.D., de Castro K.M., Mamedes-Rodrigues T.C., Miranda, N.A., Otoni, W.C. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 2010, vol. 54, pp. 195-215. <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9902-5>

33. Light quality on growth and phenolic compounds accumulation in *Moringa oleifera* L. grown in vitro / da Silva R.R., de Souza R.R., Coimbra M., Nery F., Alvarenga A., Paiva R. *Comunicata Scientiae*, 2020, vol. 11, pp. e3313-e3133. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3313>
34. Light-emitting diodes: Progress in plant micropropagation / Bello-Bello J.J., Perez-Sato J.A., Cruz-Cruz C.A., Martínez-Estrada E. In: Jacob-lopés E., Zepka L. Q., Queiroz M. I. (ed.). *Chlorophyll*. BoD—Books on Demand. 2017, vol. 6(1), pp. 93–103. <https://dx.doi.org/10.5772/67913>
35. Lotfi M., Mars M., Werbrouck S. Optimizing pear micropropagation and rooting with light emitting diodes and trans-cinnamic Acid. *Plant Growth Regulation*, 2019, vol. 88, pp. 173–180. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00498-y>
36. Park Y., Runkle E. Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation. *Plos One*, 2018, vol. 13(8), pp. e0202386. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6946136>
37. Takahashi S., Badger M.R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage. *Trends in Plant Science*, 2011, vol. 16, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001>
38. The effects of photoperiod and light spectrum on stock plant growth and rooting of cuttings of *Cotinus coggygia* ‘Royal Purple’ / Cameron R.W.F., Harrison-Murray R.S., Judd H.L., Marks T.R., Ford Y.Y., Bates C.H.A. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2005, vol. 80(2), pp. 245–253. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511925>
39. Zheng L., He H., Song W. Application of Light-emitting Diodes and the Effect of Light Quality on Horticultural Crops: A Review. *Hortscience*, 2019, vol. 54(10), pp. 1656–1661. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14109-19>
40. Zholobova O.O., Mogilevskaya I.V., Melnik S.V. Screening Smoke Tree (*Cotinus coggygia* Scop.) on Osmotic Stress using Polyethylene Glycol 6000 in vitro. *Indian Journal of Agricultural Research*, 2024, vol. 58(1), pp. 36–42. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-781>

Список литературы

1. Влияние спектрального состава светодиодного излучения на рост и развитие растений / Лях П.А., Колошина К.А., Попова К.И., Лях, А.А // Инновации и продовольственная безопасность. 2022. №. 1. С. 108–120. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2022-35-1-108-120>
2. Воздействие светодиодных облучателей различного спектрального состава на рост и развитие *Betula pubescens* Ehrh. и *Rubus idaeus* L. в культуре in

- vitro/ Евлаков П.М., Гродецкая Т.А., Федорова О.А., Шестаков Р.А., Баранов О.Ю. // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12. №. 4(48). С. 14-30. <https://doi.org/10.34222/issn2222-7962/2022.4/2>
3. Дитченко Т.И. Культура растительных клеток, тканей и органов. Минск, Беларусь: БГУ, 2007, 46 с. http://www.bio.bsu.by/fbr/files/plant_cell_cultures.pdf (дата обращения: 04.03.2024).
 4. Жолобова О.О., Терещенко Т.В. Оптимизация углеводного состава питательной среды при микроклональном размножении *Cotinus coggygia* Scop. // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 4(36). С. 102-112. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10279273>
 5. Определение оптимального спектрального состава излучения светодиодной фитолампы для стимуляции развития семян моркови и томата / Губина А.А., Левин Е.В., Романович М.М., Дегтерев А.Э., Патоков Н.О., Ламкин И.А., Тарасов С.А. // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2022. Т. 25. №. 3. С. 62-72. <https://doi.org/10.32603/1993-8985-2022-25-3-62-72>
 6. Оценка влияния углекислотных экстрактов пихты сибирской на индекс азотного баланса зерновых культур / Ковалева А.Л., Зиннер Н.С., Некратова А.Н., Шукина А.В. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. №. 2 (196). С. 20-26. <http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/178/170> (дата обращения: 04.03.2024).
 7. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях «здоровых» и «ослабленных» деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в условиях промышленного загрязнения (Республика Башкортостан, Стерлитамакский промышленный центр / Гиниятуллин Р.Х., Иванов Р.С., Тагирова О.В., Кулагин А.Ю. // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. №. 1. С. 43-48. <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>
 8. Antimicrobial screening of *Cotinus coggygia* Scop leaves extract for its application in endodontics / Nizharadze N., Shavadze T., Mamaladze M., Shalashvili K. // Experimental and Clinical Medicine Georgia. 2022. Vol. 8. <https://doi.org/10.52340/jecm.2022.08.01>
 9. Application of wide-spectrum light-emitting diodes in micropropagation of popular ornamental plant species: A study on plant quality and cost reduction / Miler N., Kulus D., Woźny A., Rymarz D., Hajzer M., Wierzbowski K., Szeffs L. // In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant. 2019. Vol. 55. P. 99-108. <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9939-5>
 10. Bantis F.; Ouzounis T.; Radoglou K. Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably

- affects transplant success // *Scientia Horticulturae*. 2016. Vol. 198. P. 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.014>
11. Chemical Composition and Content of Biologically Active Substances Found in *Cotinus coggygia*, *Dactylorhiza maculata*, *Platanthera chlorantha* Growing in Various Territories / Sukhikh S., Asyakina L., Korobenzov M., Skrypnik L., Pungin A., Ivanova S., Babich O. // *Plants*. 2021. Vol. 12. P. 2806. <https://doi.org/10.3390/plants10122806>
 12. *Cotinus coggygia* Scop. Attenuates Acetic Acid-Induced Colitis in Rats by Regulation of Inflammatory Mediators/ Sen A., Ertaş B., Çevik Ö., Yıldırım A., Kayalı D.G., Akakın D., Şener G. // *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2023. Vol. 195(11). P. 7021-7036. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04474-1>
 13. Davis P.A. Burns C. Photobiology in protected horticulture // *Food and Energy Security*. 2016. Vol. 5(4). P. 223-238. <https://doi.org/10.1002/fes3.97>
 14. Degtereva M.M., Roshina N.V., Aleksandrova A.A., Tarasov S.A., Lamkin I.A. et al. The Optoelectronic Semiconductor Device Based of the Leds to Improve Plant Growth. IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) 2020, pp. 1123-1125. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039256>
 15. Dutta Gupta S., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in in vitro plant growth and morphogenesis // *Plant biotechnology reports*. 2013. Vol. 7. P. 211-220. <https://doi.org/10.1007/s11816-013-0277-0>
 16. Effect and mechanism of total flavonoids extracted from *Cotinus coggygia* against glioblastoma cancer in vitro and in vivo / Wang, G., Wang, J., Du, L., & Li, F. // *BioMed Research International*. 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/856349>
 17. Effects of light-emitting diodes on tissue culture plantlets and seedlings of Rice (*Oryza sativa* L.) / Yu L.L., Song C.M., Sun L.J., Li L.L., Xu Z.G., Tang C. // *Journal of Integrative Agriculture*. 2020. Vol. 19. P. 1743–1754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62793-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62793-0)
 18. Goncagül G., Güceyü C., Günaydin E. Investigation of In-Vitro Antibacterial Activity of *Cotinus coggygia* Scop. Extracts // *Van Veterinary Journal*. 2020. Vol. 31(3). P. 127-132. <https://doi.org/10.36483/vanvetj.742535>
 19. Gospodinova Z., Nikolova M., Antov G. In vitro Antiproliferative Effects of *Cotinus coggygia* Scop. on human non-melanoma and melanoma skin cancer cells // *American Journal of Pharm and Health Research*. 2021. vol. 9(7). <https://doi.org/10.46624/ajphr.2021.v9.i7.001>
 20. Huimin L., Zhigang X. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro // *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 2010. Vol. 103. P. 155–163. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9763-z>

21. Iacona C., Muleo R. Light quality affects in vitro adventitious rooting and ex vitro performance of cherry rootstock Colt. // *Scientia Horticulturae*. 2010. Vol. 125(4). P. 630-636. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.018>
22. Impact of LED light sources on morphogenesis and levels of photosynthetic pigments in *Gerbera jamesonii* grown in vitro / Pawłowska B., Żupnik M., Sze-wczyk-Taranek B., Cioć M. // *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2019. Vol. 59. P. 115-123. <https://doi.org/10.1007/s13580-018-0012-4>
23. In vitro antidiabetic activity of *Cotinus coggygria* Scop. / Gozcu S., Yuca H., Dursunoglu B., Demirezer L.O., Guvenlap Z. // *Planta med*. 2016. Vol. 81(S01). P. S1-S381. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1596544>
24. In vitro growth and acclimatization of *Cattleya loddigesii* Lindley (Orchidaceae) with activated charcoal in two light spectra / Galdiano R.F.Jr., Mantovani C., Pivetta K.F.L., de Macedo Lemos E.G. *Ciência Rural*. 2012. Vol. 42(5). P. 801-808. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000019>
25. Influence of light-emitting diodes on the efficiency of valuable woody plants micropropagation / Djangalina E.D., Kapytina A.I., Kaigermazova M.A., Mamirova A.A., Shadenova E.A. // *International Journal of Biology and Chemistry*. 2023. Vol. 16(1). P. 49-57. <https://doi.org/10.26577/ijbch.2023.v16.i1.05>
26. Integrating Ethnobotany, Phytochemistry, and Pharmacology of *Cotinus coggygria* and *Toxicodendron vernicufluum* / Antal D.S., Ardelean F., Jijie R., Pinzaru I., Soica C., Dehelean C. // *Ethnopharmacology of Eastern European Countries*. 2022. Vol. 12. P. 662852. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.662852>
27. Kim H.J., Lin M.Y., Mitchell C.A. Light spectral and thermal properties govern biomass allocation in tomato through morphological and physiological changes // *Environmental and experimental botany*. 2019. Vol. 157. P. 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.019>
28. Kozłowska W., Matkowski A., Zielińska S. Light Intensity and Temperature Effect on *Salvia yangii* (BT Drew) Metabolic Profile in vitro // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. P. 888509. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888509>
29. Li H., Tang C., Xu Z. The effects of different light qualities on rapeseed (*Brassica napus* L.) plantlet growth and morphogenesis in vitro // *Scientia Horticulturae*. 2013. Vol. 150. P. 117-124.
30. Light and plant growth regulators on in vitro proliferation / Cavallaro V., Pellegrino A., Muleo R., Forgione I. // *Plants*. 2022. Vol. 11(7). P. 844. <https://doi.org/10.3390/plants11070844>. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.009>
31. Light quality affects shoot regeneration, cell division, and wood formation in elite clones of *Populus euramericana* / Kwon A.R., Cui H.Y., Lee H., Shin H., Kang, K.S., Park, S.Y. // *Acta physiologiae plantarum*. 2015. Vol. 37. P. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1812-0>

32. Light quality in plant tissue culture: does it matter? / Batista D.S., Felipe S.H.S., Silva T.D., de Castro K.M., Mamedes-Rodrigues T.C., Miranda, N.A., Otoni, W.C. // In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant. 2010. Vol. 54. P. 195-215. <https://doi.org/10.1007/s11627-018-9902-5>
33. Light quality on growth and phenolic compounds accumulation in *Moringa oleifera* L. grown in vitro / da Silva R.R., de Souza R.R., Coimbra M., Nery F., Alvarenga A., Paiva R. // Comunicata Scientiae. 2020. Vol. 11. P. e3313-e3133. <https://doi.org/10.14295/cs.v11i.3313>
34. Light-emitting diodes: Progress in plant micropropagation/ Bello-Bello J.J., Perez-Sato J.A., Cruz-Cruz C.A., Martínez-Estrada E. In: Jacob-lopes, E.; Zepka, L. Q.; Queiroz, M. I. (ed.). Chlorophyll. BoD–Books on Demand. 2017. Vol. 6(1). P. 93-103. <https://dx.doi.org/10.5772/67913>
35. Lotfi M., Mars M., Werbrouck S. Optimizing pear micropropagation and rooting with light emitting diodes and trans-cinnamic Acid // Plant Growth Regulation. 2019. Vol. 88. P. 173–180. <https://doi.org/10.1007/s10725-019-00498-y>
36. Park Y., Runkle E. Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation // Plos One. 2018. Vol. 13(8). P. e0202386. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.6946136>
37. Takahashi S., Badger M.R. Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage // Trends in Plant Science. 2011. Vol. 16. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.10.001>
38. The effects of photoperiod and light spectrum on stock plant growth and rooting of cuttings of *Cotinus coggygia* ‘Royal Purple’ / Cameron R.W.F., Harrison-Murray R.S., Judd H.L., Marks T.R., Ford Y.Y., Bates C.H.A. // The Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 2005. Vol. 80(2). P. 245-253. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511925>
39. Zheng L., He H., Song W. Application of Light-emitting Diodes and the Effect of Light Quality on Horticultural Crops: A Review // Hortscience. 2019. Vol. 54(10). P. 1656–1661. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14109-19>
40. Zholobova O.O., Mogilevskaya I.V., Melnik S.V. Screening Smoke Tree (*Cotinus coggygia* Scop.) on Osmotic Stress using Polyethylene Glycol 6000 in vitro // Indian Journal of Agricultural Research. 2024. Vol. 58(1). P. 36-42. <https://doi.org/10.18805/IJARE.AF-781>

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

Olga O. Zholobova, Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Biotechnologies

Federal Scientific Centre for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS)

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

zholobova-o@vfanc.ru

SPIN-code: 7730-9448

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1594-4181>

Researcher ID: AAO-3716-2021

Scopus Author ID: 58168717100

Irina V. Mogilevskaya, Candidate of Biological Sciences, Leader Researcher of the Laboratory of Biotechnologies

Federal Scientific Centre for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS)

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

mogilevskaya-i@vfanc.ru

SPIN-code: 2056-4010

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8421-4767>

Researcher ID: AAL-6955-2021

Scopus Author ID: 57214236924

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Жолобова Ольга Олеговна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник - заведующая лабораторией биотехнологий

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)

пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

zholobova-o@vfanc.ru

Могилевская Ирина Владимировна, канд. биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологий

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

mogilevskaya-i@vfanc.ru

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 02.04.2024

Принята 10.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 02.04.2024

Accepted 10.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-997

УДК 551.582:634.8.07:57.013



Научная статья

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВИНОГРАДА КРАСНЫХ СОРТОВ

**С.Н. Червяк, Е.А. Рыбалко,
В.А. Олейникова, М.В. Ермихина**

Тепло- и влагообеспеченность являются ключевыми климатическими параметрами, определяющими возможность и эффективность выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе винограда. Изменение климата обуславливает значительную неопределенность не только в отношении потенциальных адаптационных возможностей виноградных растений, но и перспектив развития виноградарства в целом.

Ещё большее значение эта проблема приобретает в условиях глобального изменения климата, поскольку данный процесс может приводить к смещению ареалов качественного виноградарства и виноделия

Исследование закономерностей влияния климатических факторов на продуктивность виноградных насаждений и качественные характеристики сырья и конечной продукции позволят оптимизировать эффективность использования природных ресурсов и снизить негативное влияние климатических изменений на сельскохозяйственное производство.

Цель – изучение влияния климатических факторов на биохимические и физико-химические показатели винограда красных сортов.

Материалы и методы. Объектом исследования служил виноград красных сортов Бастардо магарачский и Каберне Совиньон, произрастающий в разных в виноградо-винодельческих районах Крыма. В качестве климатических индексов, характеризующих тепло- и влагообеспеченность территории, использовали сумму осадков с начала вегетационного периода до сбора урожая, сумму осадков за последний месяц до сбора урожая, гидротермический коэффициент Селянинова, а также сумму активных температур выше 10 °C ($\sum T^{\circ}C10$), гелиотермический индекс Хуглина (HI), индекс Уинклера (WI), среднюю температуру воздуха с начала вегетационного периода до сбора урожая (tвег), среднюю температуру воздуха за последний месяц до сбора

урожая ($t_{\text{мес}}$), индекс холодных ночей (CI). Для оценки углеводно-кислотного комплекса винограда применяли показатели: массовая концентрация сахаров, титруемых кислот, яблочной кислоты.

Результаты и заключение. Проведена оценка распределения климатических факторов, характеризующих различные виноградо-винодельческие районы Крыма, а также их влияния на качественные характеристики сырья. Установлено, что Горно-долинно-приморский и Горно-долинный виноградо-винодельческие районы характеризуются более высокими значениями индексов Уинклера и Хуглина (на 354-435 и 97-124 единиц соответственно), чем Крымский западно-приморский предгорный район и г. Севастополь. Аналогичная тенденция отмечена и в отношении показателей $t_{\text{мес}}$, $t_{\text{вег}}$ и CI . Установлена линейная зависимость массовой концентрации сахаров в ягоде от уровня теплообеспеченности региона произрастания винограда за вегетационный период ($r_{\text{wi}} = 0,73$). Установлено корреляционную зависимость между $P_{\text{вег}}$ и массовой концентрацией яблочной кислоты в ягоде ($r = 0,88-0,9$). Установленные закономерности позволят энологам на основании метеоданных прогнозировать качественные показатели будущего урожая и заблаговременно планировать технологические аспекты переработки винограда для получения винопродукции высокого качества.

Ключевые слова: виноград; теплообеспеченность; влагообеспеченность; виноградо-винодельческий район; гидротермический коэффициент; индекс холодных ночей; яблочная кислота

Для цитирования. Червяк С.Н., Рыбалко Е.А., Олейникова В.А., Ермихина М.В. Оценка влияния климатических факторов на показатели качества винограда красных сортов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 367-386. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-997

Original article

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON THE INDICATORS OF RED GRAPE VARIETIES

E.A. Rybalko, S.N. Chervyak, V.A. Oleinikova, M.V. Ermikhina

Heat and moisture supply are key climatic parameters to determine the possibility and efficiency of growing crops including grapes. Climate change causes a

significant uncertainty not only in potential adaptive capabilities of grape plants, but also in the prospects of viticulture development in general.

This problem assumes a greater importance in the context of global climate change, since this process can lead to a shift in the areas of high-quality viticulture and winemaking.

Studying the patterns of influence of climatic factors on the productivity of vineyards and quality characteristics of raw materials, as well as final products will allow optimizing the efficiency of using natural resources, and reducing the negative impact of climate change on agricultural production.

The goal of the work is to study the effect of climatic factors on biochemical and physicochemical indicators of red grape varieties.

Materials and methods. The objects of the study were red grape varieties 'Bastardo Magarachskiy' and 'Cabernet Sauvignon', growing in different viticulture and winemaking region of Crimea. As climatic indices characterizing the heat and moisture supply of the territory, we used the total amount of precipitation from the beginning of growing season until harvest, the total amount of precipitation for the last month before harvest, hydrothermal coefficient of Selyaninov, as well as the sum of active temperatures above 10 °C ($\sum T^{\circ}C10$), Huglin heliothermal index (HI), Winkler index (WI), average air temperature from the growing season beginning until harvest (t_{gr}), average air temperature for the last month before harvest (t_{month}), cool night index (CI). To assess the carbohydrate-acid complex of grapes, the following indicators were used: mass concentration of sugars, titratable acids and malic acid.

Results and conclusion. Distribution of climatic factors characterizing different viticulture and winemaking regions of Crimea, as well as their effect on the quality characteristics of raw materials were assessed. It was established that the Mountain Valley Coastal and Mountain Valley viticulture and winemaking regions were characterized by higher values of Winkler and Huglin indices (by 354-435 and 97-124 units, respectively), than the Crimean Western Coastal Piedmont region and the city of Sevastopol. A similar tendency was observed for the indicators t_{month} , t_{gr} and CI. A linear dependence of the mass concentration of sugars in a berry on the level of heat supply in the region during growing season was established ($r_{wi} = 0.73$). A correlation was estimated between P_{gr} and the mass concentration of malic acid in a berry ($r = 0.88-0.9$). Based on the meteorological data, the patterns established will allow oenologists to estimate quality indicators of further harvest, and plan in advance technological aspects of grape processing in order to obtain high-quality wine products.

Keywords: grapes; heat supply; moisture supply; viticulture and winemaking region; hydrothermal coefficient; cool night index; malic acid

For citation. Rybalko E.A., Cherviak S.N., Oleinikova V.A., Ermikhina M.V. Assessment of the Effect of Climatic Factors on the Indicators of Red Grape Varieties. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 367-386. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-997

Введение

Тепло- и влагообеспеченность являются ключевыми климатическими параметрами, определяющими возможность и эффективность выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе винограда [5; 26; 32; 35; 37]. Высокая урожайность виноградных насаждений и качество получаемой продукции возможны только при соответствии биологических требований винограда условиям среды произрастания. При этом важно выявить наиболее значимые для формирования качественных характеристик винограда климатические параметры или их производные – индексы [2; 8; 25].

Одним из основных показателей, характеризующих климатические условия возделывания винограда, является сумма активных температур выше 10 °С, при которой виноград вступает в фазу начала сокодвижения («биологический ноль»). Значение показателя в зависимости от сортовых особенностей винограда и сроков созревания может варьировать от 2200 до 3000 °С и более [2]. Процесс формирования качественных характеристик урожая во многом зависит от температуры за месяц до сбора урожая, когда наблюдается лучшая ассимиляция углерода листьями и происходит накопление сахаров и снижение содержания органических кислот. Для роста и созревания ягод температура окружающей среды должна составлять не менее 20 °С. В то же время при температуре выше 35–40 °С снижается интенсивность обменных процессов в винограде из-за уменьшения ассимиляции углерода и усиления дыхания. Оптимальной годовой суммой осадков, необходимой для виноградного растения, считается 700-800 мм [2].

Научные проблемы, рассматриваемые в данном исследовании, продиктованы изменением климата планетарного масштаба, проявляющимся в повышении среднегодовых температур, резких перепадах между зимними и летними температурами и дефиците влаги. Так, на территории Крымского полуострова наблюдается существенное повышение суммы активных температур свыше 10 °С – на 567 °С за последние 33 года. Сохранение данной тенденции приведет к тому, что к 2050 г. площадь полуострова с суммарной активной температурой более 3900 °С увеличится в 125 раз по отношению к 2018 г. [6].

Изменение температурных факторов приводит к трансформации в метаболизме виноградных растений, в первую очередь – несоответствию в

формировании компонентов фенольных комплексов в ягодах (задержке их образования) по отношению к накоплению сахаров в период созревания винограда [13; 17; 18; 28; 29; 31; 34]. Это обуславливает снижение качества красных сухих вин ввиду снижения интенсивности их окраски и полноты вкуса.

Сегодня адаптация растений к изменению климата является серьезной проблемой в связи с растущим дефицитом воды во многих регионах мира [10; 15; 21; 24; 32]. Изменение климата обуславливает значительную неопределенность не только в отношении потенциальных адаптационных возможностей виноградных растений, но и перспектив развития виноградарства в целом [11; 12; 14; 19; 20; 23; 27; 35; 36].

Ещё большее значение эта проблема приобретает в условиях глобального изменения климата, поскольку данный процесс может приводить к смещению ареалов качественного виноградарства и виноделия [6].

Исследование закономерностей влияния климатических факторов на продуктивность виноградных насаждений и качественные характеристики сырья и конечной продукции позволят оптимизировать эффективность использования природных ресурсов и снизить негативное влияние климатических изменений на сельскохозяйственное производство.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся виноград красных сортов (Каберне Совиньон и Бастардо магарачский), произрастающий в разных виноградо-винодельческих районах Крыма: Крымском западно-приморском предгорном, Горно-долинном, Горно-долинно-приморском, а также Севастополе. Исследования проводили в сезон виноделия 2023 г. Выборка составила более 100 образцов винограда.

Для выявления влияния агроклиматических факторов на качественные показатели сырья для винодельческой продукции были отобраны следующие параметры: сумма активных температур выше 10 °C ($\sum T^{\circ C}_{10}$), гелиотермический индекс Хуглина (HI), индекс Уинклера (WI), средняя температура воздуха с начала вегетационного периода до сбора урожая ($t_{\text{вег}}$), средняя температура воздуха за последний месяц до сбора урожая ($t_{\text{мес}}$), сумма осадков с начала вегетационного периода до сбора урожая ($P_{\text{вег}}$), сумма осадков за последний месяц до сбора урожая ($P_{\text{мес}}$), гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), индекс холодных ночей (CI) [1; 4; 5; 33].

Для расчёта агроклиматических параметров на анализируемых участках использован метод нелинейной интерполяции данных стационарных

метеостанций на основании авторских математических моделей, учитывающих особенности рельефа, географические и гидрологические параметры анализируемой территории и их влияние на пространственное распределение агроклиматических факторов [16].

Для анализа рельефа анализируемой территории использована цифровая модель рельефа SRTM-3 с пространственным разрешением 3 угловые секунды.

Для аналитической оценки в период промышленного сбора пробы винограда отбирали в количестве не менее 10 кг. Исследование винограда проводили по следующим физико-химическим показателям: массовая концентрация сахаров, титруемых кислот, значение pH, профиль органических кислот [7].

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов математической статистики с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics (v 17.0), Microsoft Excel. Все исследования выполнялись в трех повторностях. Вычисление парных корреляций между показателями осуществляли для уровня значимости 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследований были проанализированы данные метеорологических условий возделывания винограда, а также рассчитаны климатические факторы, характеризующие температурные режимы и уровень влагообеспеченности различных виноградо-винодельческих районов в период вегетации (на дату сбора урожая) и за последний месяц до момента сбора урожая. Полученные результаты представлены в таблице 1 и 2.

Сбор урожая независимо от места произрастания винограда начинался 12-14 сентября. Согласно литературным данным, продолжительность продукционного периода (от распускания почек до полной зрелости ягод) исследуемых сортов винограда (Каберне-Совиньон и Бастардо магарачский) составляет 143-165 дней (в зависимости от направления переработки урожая). В то же время фактические сроки достижения зрелости винограда составили 164-185 дней. Полученные результаты свидетельствуют о том, что данный критерий носит рекомендательный характер и в большей степени зависит от абиотических факторов (температурный режим и уровень влагообеспеченности), которые являются ключевыми переменными, определяющими рост и продуктивность сельскохозяйственных насаждений, а также кондиции винограда.

К моменту сбора урожая Горно-долинный виноградо-винодельческий район характеризовался максимальной суммой активных температур за вегетационный период. Для трех других исследуемых регионов значение показателя не отличалось и составило 3095 °С.

В то же время по значению индексов Хуглина и Уинклера отмечены более существенные различия между регионами. Так величины показателей для Горно-долинно-приморского и Горно-долинного виноградо-винодельческих районов на 354-435 и 97-124 единиц соответственно превышали индексы, определенные для других районов. Аналогичная тенденция отмечена и в отношении показателей $t_{\text{мес}}$, $t_{\text{вег}}$ и CI.

Таблица 1.

Климатические факторы, характеризующие теплообеспеченность территории

Виноградо-винодельческий район Крыма	Дата сбора урожая	$\sum T^{\circ}\text{C}10$, °C	HI	WI	$t_{\text{мес}}$, °C	$t_{\text{вег}}$, °C	CI
Горно-долинно-примор- ский (п. Морское)	14.09.2023	3096	2126	1655	24,98	20,97	21,87
	21.09.2023	3252	2228	1742	23,58	21,02	20,47
	22.09.2023	3273	2241	1753	23,18	21,02	20,07
	02.10.2023	3505	2391	1885	21,68	21,13	18,87
	04.10.2023	3547	2418	1908	21,38	21,13	18,47
	05.10.2023	3565	2429	1916	21,18	21,11	18,27
Горно-долинный (п. Приветное)	14.09.2023	3126	2146	1670	25,38	21,1	22,22
	20.09.2023	3260	2233	1744	24,18	21,14	21,02
Крымский западно-при- морский предгорный (п. Угловое)	13.09.2023	3095	1772	1546	22,81	19,52	16,9
	21.09.2023	3255	1875	1624	21,37	19,53	15,62
	29.09.2023	3417	1982	1705	20,04	19,55	14,19
г. Севастополь	12.09.2023	3095	1711	1568	23,09	19,43	17,63
	22.09.2023	3293	1838	1664	21,31	19,44	15,82

Анализ факторов влагообеспеченности, определённых для исследуемых виноградо-винодельческих районов Крыма, свидетельствует о том (табл. 2), что максимальным количеством осадков за вегетационный период и месяц до сбора урожая характеризовался Севастопольский регион. В то же время, по величине $P_{\text{вег}}$ (не превышает 206 мм), а также гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова все исследуемые районы относятся к засушливой или очень засушливой зоне ($\text{ГТК} < 1$) [5, 9, 33].

Таблица 2.

Климатические факторы, характеризующие влагообеспеченность территории

Виноградо- винодельческий район Крыма	$P_{\text{вет}}^{\circ}$ мм	$P_{\text{мес}}^{\circ}$ мм	ГТК	Начало вегетации
Горно-долинно-приморский (п. Морское)	188,9	11,7- 12,0	0,53- 0,61	03.04.2023
Горно-долинный (п. Приветное)	186,6	12,0	0,57- 0,60	03.04.2023
Крымский западно-приморский предгорный (п. Угловое)	196,4	16,4	0,57- 0,63	01.04.2023
Севастополь	206	16,9- 28,5	0,51- 0,92	01.04.2023

Отклик виноградного растения на воздействие климатических факторов в первую очередь проявляется в изменении количественного содержания сахаров – первичных метаболитов растительной клетки [1; 3]. По результатам проведенных исследований углеводно-кислотного комплекса винограда можно заключить, что 92 % исследуемых партий соответствовали требованиям нормативной документации и стадии технической зрелости для промышленной переработки и производства вин и вин ликерных – массовая концентрация сахаров составила 17 г/100 см³ и более (рис. 1). Статистический анализ данных показал, что дисперсия содержания сахаров в винограде на момент сбора урожая в наибольшей степени обусловлена местом произрастания винограда ($\alpha < 0,001$), а также абиотическими факторами ($\alpha = 0,002$). Так, медиана сахаристости винограда для Горно-долинно-приморского и Горно-долинного виноградо-винодельческих районов составила 22,4 и 22,8 г/100 см³ соответственно и превышала значения для других районов на 18-32 %.

Установлена линейная зависимость массовой концентрации сахаров (рис. 2) в ягоде от уровня теплообеспеченности региона произрастания винограда за вегетационный период ($r_{\text{wi}} = 0,73$). В то же время зависимость сахаристости винограде от величины индекса Хуглина и показателя суммы активных температур составили 0,72 и 0,66 соответственно.

Массовая концентрация титруемых кислот в исследуемых образцах винограда варьировала в широком диапазоне от 4,1 до 9,0 г/дм³, что обусловлено различными климатическими особенностями районов произрастания винограда, а также сроками сбора урожая.

Важным критерием формирования кислотного комплекса винограда является индекс холодных ночей – показатель, представляющий собой среднее многолетнее значение минимальных температур воздуха в сентябре (в

северном полушарии) или в марте (в южном полушарии) [4]. Установлено, что более низким значениям индекса холодных ночей соответствуют более высокие концентрации титруемых кислот в винограде (рис. 3).

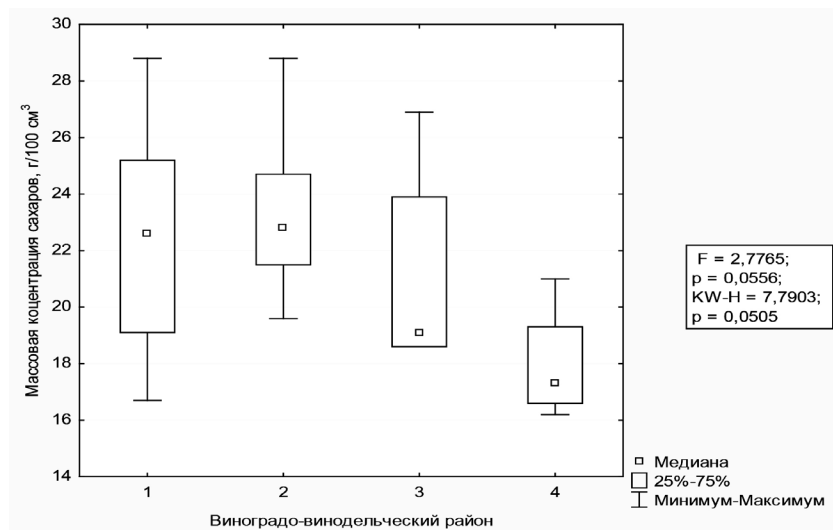


Рис. 1. Диаграмма распределения массовой концентрации сахаров в винограде в зависимости от зоны его произрастания где 1 – Горно-долинно-приморский район, 2 – Горно-долинный район, 3 – Крымский западно-приморский предгорный район, 4 – Севастополь.

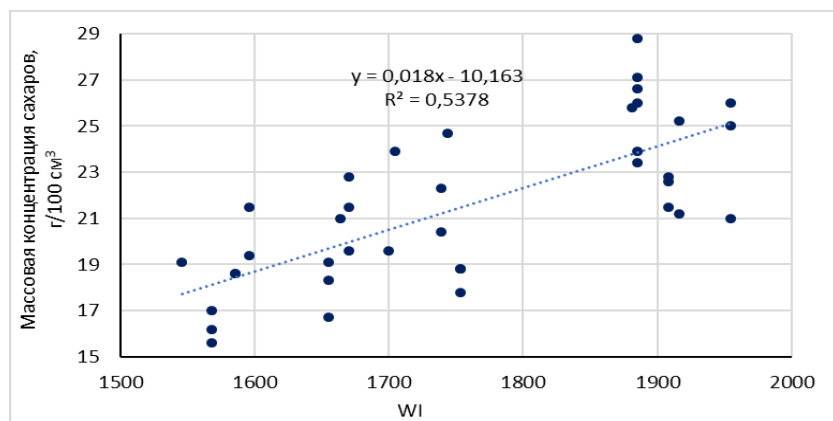


Рис. 2. Влияние индекса Уинклера на сахаронакопление винограда (2023 г.)

Полученные данные свидетельствуют о том, что низкие ночные температуры воздуха в период созревания винограда способствуют замедлению снижения массовой концентрации титруемых кислот в ягодах.

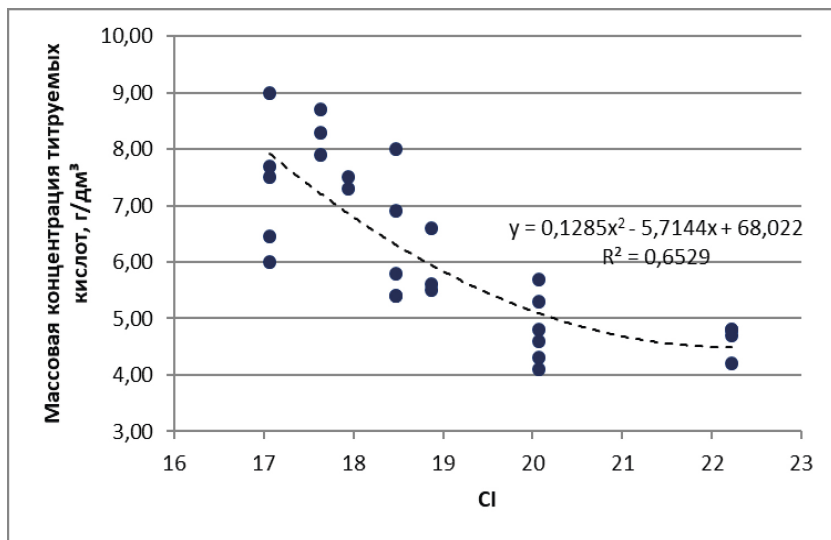


Рис. 3. Влияние индекса холодных ночей на массовую концентрацию титруемых кислот в винограде (2023 г.)

Уровень влагообеспеченности является одним из ключевых переменных, обуславливающих рост и продуктивность виноградного растения, а также качество винограда, как сырья для производства винопродукции [5; 22; 30; 34]. Оценка влияния уровня влагообеспеченности на качественные показатели винограда ввиду низкой вариативности количества осадков за вегетационный период и за месяц до начала сбора урожая на территории региона в целом не позволила выявить значимых закономерностей. В то же время на основании данных за годы предыдущих исследований (рис. 4) установлена корреляционная зависимость между $P_{\text{вег}}$ и массовой концентрацией яблочной кислоты в ягоде ($r = 0,88$ и $0,9$ в 2021 и 2018 гг. соответственно) [9]. Установленные закономерности позволят энологам на основании метеоданных прогнозировать качественные показатели будущего урожая и заблаговременно планировать технологические аспекты переработки винограда для получения винопродукции высокого качества.

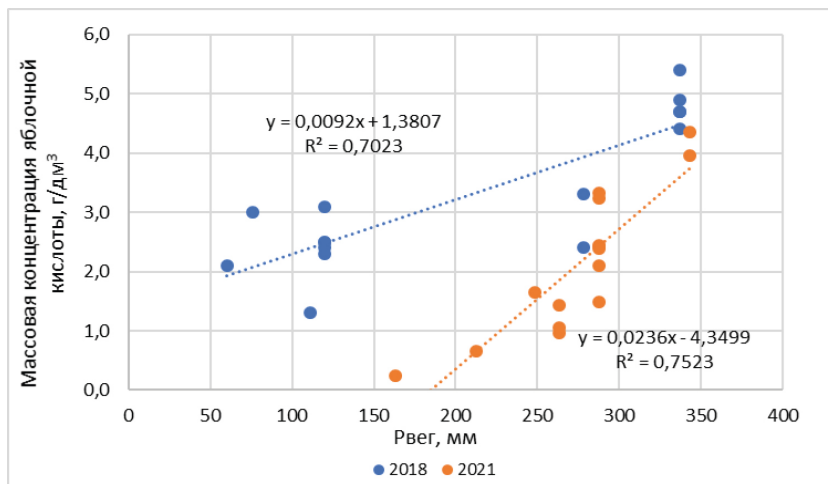


Рис. 4. Зависимость массовой концентрации яблочной кислоты в винограде от суммы осадков за вегетационный период

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований показано варьирование климатических факторов, характеризующих тепло- и влагообеспеченность, для различных виноградо-винодельческих районов Крыма. Установлено, что Горно-долинно-приморский и Горно-долинный виноградо-винодельческие районы характеризуются более высокими значениями индексом Уинклера и Хуглина (на 354-435 и 97-124 единиц соответственно), чем Крымский западно-приморский предгорный район и г. Севастополь. Аналогичная тенденция отмечена и в отношении показателей $t_{\text{мес}}$, $t_{\text{вег}}$ и CI . Установлена линейная зависимость массовой концентрации сахаров в ягоде от уровня теплообеспеченности региона произрастания винограда за вегетационный период ($r_{wi} = 0,73$). Установлено корреляционную зависимость между $P_{\text{вег}}$ и массовой концентрацией яблочной кислоты в ягоде ($r = 0,88-0,9$). Установленные закономерности позволят энологам на основании метеоданных прогнозировать качественные показатели будущего урожая и заблаговременно планировать технологические аспекты переработки винограда для получения винопродукции высокого качества.

Информация о спонсорстве. Работа выполнялась в рамках НИР по теме «Разработка методологии интеллектуального автоматизированного

мониторинга для решения задач в области виноделия и виноградарства» ГЗ № FNZM-2022-0010.

Список литературы

1. Ионова Е.В., Лиховидова В.А., Лобунская И.А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 6. С.18-22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
2. Мельников В.А. Оценка агроэкологических условий западной части Южного берега Крыма с выделением микрозон для оптимального размещения технических сортов винограда: диссерт. на соиск. уч. степ. канд. сельскохозяйственных наук. Ялта, 2018. 200 с.
3. Методы теххимического контроля в виноделии / Под ред. В.Г. Гержиковой. Симферополь: Таврида, 2009. 303 с.
4. Потанин Д.В., Иванова М.И. Подбор элементов адаптивного садоводства в зависимости от климатического потенциала территории // *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2022. Т. 24. № 3 (121). С. 254-262. <https://doi.org/10.34919/IM.2022.24.3.009>
5. Проекция условий влагообеспеченности в Севастопольском регионе для выращивания винограда / Вышкваркова Е.В., Рыбалко Е.А., Марчукова О.В., Баранова Н.В. // *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2022. Т. 30. № 3. С. 300–311. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>
6. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Борисова В.Ю. Исследование динамики и составление прогноза пространственного распределения теплообеспеченности территории крымского полуострова // *Системы контроля окружающей среды*. 2019. № 3 (37). С. 96-101. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-3-96-101>
7. Рыбалко Е.А., Баранова Н.В. Рекомендации по агроэкологической оптимизации сортового состава и терруарной специализации виноградарско-винодельческой отрасли Республики Крым. Симферополь, 2023. 72 с.
8. Рыбалко Е., Червяк С., Ермихина М. Оценка виноградо-винодельческих районов Крыма по климатическим факторам, а также их влияния на качественные характеристики винограда // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15(5). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-936>
9. Рыбалко Е.А., Червяк С.Н. Климатические факторы, характеризующие влагообеспеченность территории, и их влияние на качественные показатели винограда // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Т. 15(6). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-96>

10. Сатибалов А.В. Влияние глобального потепления на региональный климат и его последствия для плодовых культур // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 69(3). С. 101-122. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-3-69-101-122>
11. Adaptation mechanisms of grape varieties in unstable climatic conditions of the autumn-winter period / Kiseleva G., Ilina I., Sokolova V., Zaporozhets N. // BIO Web of Conferences. 2022. № 47, 06003. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20224706003>
12. Ashenfelter O., Storchmann K. Climate change and wine: A review of the economic implications // Journal of Wine Economics. 2016. № 11(1). P. 105–138. <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.5>
13. Assessment of the influence of foliar treatment on productivity and phenolic maturity of grapes / Levchenko S.V., Chervyak S.N., Boiko V.A., Belash D., Ostroukhova E.V., Lutkova N.Yu. // E3S Web of Conferences. 2021. № 232. P. 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203026>
14. Biasi R., Brunori E., Ferrara C., Salvati L. Assessing Impacts of Climate Change on Phenology and Quality Traits of Vitis vinifera L.: The Contribution of Local Knowledge // Plants. 2019. Vol. 8(5), 121 <https://doi.org/10.3390/plants8050121>
15. Climate Change Contributes to Water Scarcity / H. Assaf, W. Erian, R. Gafrej, S. Herrmann, R.A. McDonnell, A. Taimeh // Adaptation to a Changing Climate in the Arab Countries. World Bank Editors: Dorte Verner, 2012. P. 108-151.
16. Cornelis van Leeuwen and Benjamin Bois. Update in unified terroir zoning methodologies // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 50, 01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001044>
17. Crupi P., Alba V., Gentilese G., Gasparro M., Ferrara G., Mazzeo A., Coletta A. Viticultural Climate Indexes and Their Role in The Prediction of Anthocyanins and Other Flavonoids Content in Seedless Table Grapes // Horticulturae. 2024. Vol. 10(1), 28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010028>
18. Fernandes de Oliveira A., Mercenaro L., Nieddu G. Assessing thermal efficiency for berry anthocyanin accumulation in four different sites and field-growing conditions // Acta Hortic. 1188. ISHS 2017. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.24>
19. Fraga H. Climate Change: A New Challenge for the Winemaking Sector // Agronomy. 2020. Vol. 10, 1465. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101465>
20. Gambetta G. A., Kurtural S. K. Global warming and wine quality: are we close to the tipping point? // OENO One. 2021. Vol 55 (3). P. 353-361. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4774>

21. Gregory A. Gambetta Water Stress and Grape Physiology in the Context of Global Climate Change // *Journal of Wine Economics*. 2016. Vol. 11(1). P. 168-180 <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.16>
22. Hunter J.J., Bonnardot V. Suitability of Some Climatic Parameters for Grapevine Cultivation in South Africa, with Focus on Key Physiological Processes // *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 2011. Vol. 32(1). P. 137-154. DOI:10.21548/32-1-1374
23. Jones G.V., Reid R., Vilks A. Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a variable and changing climate // *The Geography of Wine*. 2011. P. 109–133. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0464-0_7
24. Leeuwen C. van, Darriet Ph. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality *Journal of Wine Economics*. 2016. Vol. 11(1). P. 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
25. Lopes C.M., Egipto R., Pedroso V., Pinto P.A., Braga R., Neto M. Can berry composition be explained by climatic indices? Comparing classical with new indices in the Portuguese Dao region // *ActaHortic.* 2017. 1157. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1157.10>
26. Novikova L., Naumova L. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia // *Agronomy*. 2020. Vol. 10, 1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
27. Oana Arina Antoce, Georgeta Mihaela Bucur, George Adrian Cojocar. The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: a long-term study // *Book of abstracts 42nd Congress of Vine and Wine, 17th General Assembly of the OIV 15th-19th July 2019, CICG, Geneva, Switzerland*. P.43–44.
28. Ostroukhova E., Rybalko E., Levchenko S., Boyko V., Belash D., Viugina M. Relationship between agro-ecological resources of vineyards and the anthocyanins complex in berries // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 247, 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701013>
29. Roediger AHA Phenolic ripeness in South Africa / Assignment submitted in partial requirement for Cape Wine Masters Diploma. Stellenbosch, 2006. 97 p.
30. Shrestha S., Babel M.S., Pandey V.P. Climate change and water resources. Boca Raton: CRC Press, 2014, 376 p. <https://doi.org/10.1201/b16969>
31. Use of a flor velum yeast for modulating colour, ethanol and major aroma compound contents in red wine / Moreno J., Moreno-García J., López-Muñoz B., Carlos Mauricio J., García-Martínez T. // *Food Chemistry*. 2016. Vol. 15(213). P. 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.062>
32. Van Leeuwen C. Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes // *Managing Wine Quality* (Second

- Edition), Volume One: Viticulture and Wine Quality, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2022. P. 341-393. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102067-8.00005-1>
33. Van Leeuwen C., Schultz H., de Cortazar-Atauri I. G., Duchêne E., Ollat N., Pieri Ph., Bois B., Goutouly J.-P., Quénel H., Touzard J.-M., Malheiro A., Bavaresco L., Delrot S. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050 // *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013. Vol. 110(33). P. E3051-2. <https://doi.org/10.1073/pnas.1307927110>
34. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine: How can it be assessed for vineyard management purposes? / Leeuwen van C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.P. // *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*. 2009. Vol. 43. P. 121-134.
35. Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A. Forecast of Changes in Air Temperatures and Heat Indices in the Sevastopol Region in the 21st Century and Their Impacts on Viticulture // *Agronomy*. 2021. Vol. 11(5), 954 <https://doi.org/10.3390/agronomy11050954>
36. Wang S.Y., Zheng G.F., Li X., Yang J.L., Zhang X.Y., Li J.P., Ma L.W. Impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes at the east foot of the Helan Mountains of Ningxia. *Shengtai Xuebao* // *Acta Ecologica Sinica*. 2017. Vol. 37(11). P. 3776–3786. <https://doi.org/10.5846/stxb201604180721>
37. Yang W., Zhu J., van Leeuwen C., Dai Zh., Gambetta G. A. GrapevineXL reliably predicts multi-annual dynamics of vine water status, berry growth, and sugar accumulation in vineyards // *Horticulture Research*. 2023. Vol. 10, Issue 6. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad071>

References

1. Ionova E.V., Lihovidova V.A., Lobunskaja I.A. Zasuha i gidrotermicheskiy koeficient uvlazhneniya kak odin iz kriteriev ocenki stepeni ee intensivnosti (obzor literatury). *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2019, no. 6, pp. 18-22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
2. Melnikov V.A. Evaluation of agroecological conditions of the western part of the Southern coast of Crimea with the allocation of microzones for optimal placement of technical grape varieties: dissertation for a thesis for the degree of Candidate of Agricultural Sciences. Yalta, 2018, 200 p.
3. *Metody tehnohimicheskogo kontrolja v vinodelii* [Methods of technochemical control in winemaking] / ed. V.G. Gerzhikova. Simferopol: Tavrida, 2009, 303 p.

4. Potanin D.V., Ivanova M.I. *Magarach. Vinogradarstvo i vinodelie* [Magarach. Viticulture and winemaking], 2022, vol. 24, no. 3 (121), pp. 254-262. <https://doi.org/10.34919/IM.2022.24.3.009>
5. Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A., Marchukova O.V., Baranova N.V. *Vestnik RUDN. Serija: Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2022, vol. 30, no. 3, pp. 300–311. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-300-311>
6. Rybalko E.A., Baranova N.V., Borisova V.Ju. *Sistemy kontrol'ja okruzhajushhej sredy*, 2019, no. 3 (37), pp. 96-101. <https://doi.org/10.33075/2220-5861-2019-3-96-101>
7. Rybalko E.A., Baranova N.V. Recommendations on agroecological optimization of varietal composition and terroir specialization of winegrowing and wine-making industry of the Republic of Crimea. Simferopol, 2023, 72 p.
8. Rybalko E., Chervjak S., Ermihina M. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15(5). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-936>
9. Rybalko E.A., Chervjak S.N. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15(6). <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-96>
10. Satibalov A.V. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*, 2021, no. 69(3), pp. 101-122. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-3-69-101-122>
11. Kiseleva G., Ilina I., Sokolova V., Zaporozhets N. Adaptation mechanisms of grape varieties in unstable climatic conditions of the autumn-winter period. *BIO Web of Conferences*, 2022, no. 47, 06003. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224706003>
12. Ashenfelter O., Storchmann K. Climate change and wine: A review of the economic implications. *Journal of Wine Economics*, 2016, vol. 11(1), pp. 105–138. <https://doi.org/10.1017/jwe.2016.5>
13. Levchenko S.V., Chervjak S.N., Boiko V.A., Belash D., Ostroukhova E.V., Lutkova N.Yu. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 232, 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123203026>
14. Biasi R., Brunori E., Ferrara C., Salvati L. Assessing Impacts of Climate Change on Phenology and Quality Traits of *Vitis vinifera* L.: The Contribution of Local Knowledge. *Plants*, 2019, vol. 8(5), 121. <https://doi.org/10.3390/plants8050121>
15. Assaf H., Erian W., Gafrej R., Herrmann S., McDonnell R.A., Taimeh A. *Adaptation to a Changing Climate in the Arab Countries*. World Bank Editors: Dorte Verner, 2012, pp.108-151.
16. Cornelis van Leeuwen and Benjamin Bois. Update in unified terroir zoning methodologies. *E3S Web of Conferences*, 2018, vol. 50, 01044. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001044>

17. Crupi P., Alba V., Gentile G., Gasparro M., Ferrara G., Mazzeo A., Colletta A. Viticultural Climate Indexes and Their Role in The Prediction of Anthocyanins and Other Flavonoids Content in Seedless Table Grapes. *Horticulturae*, 2024, vol. 10(1), 28. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010028>
18. Fernandes de Oliveira A., Mercenaro L., Nieddu G. Assessing thermal efficiency for berry anthocyanin accumulation in four different sites and field-growing conditions. *Acta Horti*, 2017, 1188. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.24>
19. Fraga H. Climate Change: A New Challenge for the Winemaking Sector. *Agronomy*, 2020, vol. 10, 1465. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101465>
20. Gambetta G. A., Kurtural S. K. Global warming and wine quality: are we close to the tipping point? *OENO One*, 2021, vol. 55 (3), pp. 353-361. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4774>
21. Gregory A. Gambetta Water Stress and Grape Physiology in the Context of Global Climate Change. *Journal of Wine Economics*, 2016, vol. 11(1), pp. 168-180. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.16>
22. Hunter J.J., Bonnardot V. Suitability of Some Climatic Parameters for Grapevine Cultivation in South Africa, with Focus on Key Physiological Processes. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, 2011, vol. 32(1), pp. 137-154. <https://doi.org/10.21548/32-1-1374>
23. Jones G.V., Reid R., Vilks A. Climate, grapes, and wine: structure and suitability in a variable and changing climate. *The Geography of Wine*, 2011, pp. 109–133. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0464-0_7
24. Leeuwen C. van, Darriet Ph. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *Journal of Wine Economics*, 2016, vol. 11(1), pp. 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
25. Lopes C.M., Egipto R., Pedroso V., Pinto P.A., Braga R., Neto M. Can berry composition be explained by climatic indices? Comparing classical with new indices in the Portuguese Dao region. *Acta Horti*, 2017, 1157. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1157.10>
26. Novikova L., Naumova L. Dependence of Fresh Grapes and Wine Taste Scores on the Origin of Varieties and Weather Conditions of the Harvest Year in the Northern Zone of Industrial Viticulture in Russia. *Agronomy*, 2020, vol. 10, 1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101613>
27. Oana Arina Antocea, Georgeta Mihaela Bucur, George Adrian Cojocaru. The climate change influences and trends on the grapevine growing in Southern Romania: a long-term study. *Book of abstracts 42nd Congress of Vine and*

- Wine*, 17th General Assembly of the OIV 15th-19th July 2019, CICG, Geneva, Switzerland, pp. 43–44.
28. Ostroukhova E., Rybalko E., Levchenko S., Boyko V., Belash D., Viugina M. Relationship between agro-ecological resources of vineyards and the anthocyanins complex in berries. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 247, 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701013>
 29. Roediger AHA Phenolic ripeness in South Africa / Assignment submitted in partial requirement for Cape Wine Masters Diploma. Stellenbosch, 2006, 97 p.
 30. Shrestha S., Babel M.S., Pandey V.P. Climate change and water resources. Boca Raton: CRC Press, 2014, 376 p. <https://doi.org/10.1201/b16969>
 31. Use of a flor velum yeast for modulating colour, ethanol and major aroma compound contents in red wine / Moreno J., Moreno-García J., López-Muñoz B., Carlos Mauricio J., García-Martínez T. *Food Chemistry*, 2016, vol. 15(213), pp. 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.062>
 32. Van Leeuwen C. Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes / Managing Wine Quality (Second Edition), Volume One: Viticulture and Wine Quality, Woodhead Publishing Series in Food Science, *Technology and Nutrition*, 2022, pp. 341–393 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102067-8.00005-1>
 33. Van Leeuwen C., Schultz H., de Cortazar-Atauri I. G., Duchêne E., Ollat N., Pieri Ph., Bois B., Goutouly J.-P., Quénel H., Touzard J.-M., Malheiro A., Bavaresco L., Delrot S. Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2013, vol. 110(33), pp. E3051–2. <https://doi.org/10.1073/pnas.1307927110>
 34. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine: How can it be assessed for vineyard management purposes? / Leeuwen van C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D., Gaudillère J.P. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 2009, vol. 43, pp. 121–134.
 35. Vyshkvarkova E.V., Rybalko E.A. Forecast of Changes in Air Temperatures and Heat Indices in the Sevastopol Region in the 21st Century and Their Impacts on Viticulture. *Agronomy*, 2021, vol. 11(5), 954. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050954>
 36. Wang S.Y., Zheng G.F., Li X., Yang J.L., Zhang X.Y., Li J.P., Ma L.W. Impact of climate warming on heat resources and freezing injuries in wine grapes at the east foot of the Helan Mountains of Ningxia. *Shengtai Xuebao. Acta Ecologica Sinica*, 2017, vol. 37, I. 11, pp. 3776–3786. <https://doi.org/10.5846/stxb201604180721>

37. Yang W., Zhu J., van Leeuwen C., Dai Zh., Gambetta G. A. GrapevineXL reliably predicts multi-annual dynamics of vine water status, berry growth, and sugar accumulation in vineyards. *Horticulture Research*, 2023, vol. 10, issue 6. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad071>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Червяк София Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории цифровых технологий в виноделии и виноградарстве *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН*
ул. Кирова, 31, г. Ялта, Республика Крым, 298600, Российская Федерация
Sofi4@list.ru

Рыбалко Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. сектором агроэкологии
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН
ул. Кирова, 31, г. Ялта, Республика Крым, 298600, Российская Федерация
rybalko_ye_a@mail.ru

Олейникова Вероника Анатольевна, младший научный сотрудник лаборатории химии и биохимии вина
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН
ул. Кирова, 31, г. Ялта, Республика Крым, 298600, Российская Федерация
nika063094@gmail.com

Ермихина Марианна Вадимовна, научный сотрудник лаборатории химии и биохимии вина
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарач» РАН
ул. Кирова, 31, г. Ялта, Республика Крым, 298600, Российская Федерация
mariannaermikhina@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sofia N. Cherviak, Candidate of technical sciences, Senior Staff Research of the Department of Digital Technologies in Winemaking and Viticulture
All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of RAS

31, Kirova Str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russian Federation
SPIN-code: 1783-0042

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9551-7448>

Scopus Author ID: 57210848141

Evgeniy A. Rybalko, Candidate of Agricultural sciences, Head of Agroecology Sector

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of RAS

31, Kirova Str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russian Federation
rybalko_je_a@mail.ru

SPIN-code: 9980-8209

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4579-3505>

Scopus Author ID: 57188725386

Veronica A. Oleinikova, Junior Staff Scientist of the Department of Chemistry and Biochemistry of Wine

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of RAS

31, Kirova Str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russian Federation
nika063094@gmail.com

SPIN-code: 6902-1639

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0252-8904>

Marianna V. Ermikhina, Staff Scientist of the Department of Chemistry and Biochemistry of Wine

All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking “Magarach” of RAS

31, Kirova Str., Yalta, Republic of Crimea, 298600, Russian Federation
mariannaermikhina@mail.ru

SPIN-code: 9436-4525

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6457-2129>

Scopus Author ID: 57222720949

Поступила 11.03.2024

После рецензирования 23.04.2024

Принята 24.04.2024

Received 11.03.2024

Revised 23.04.2024

Accepted 24.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-918

УДК 634.1.03



Научная статья

ПОВЕДЕНИЕ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ В МАТОЧНИКЕ И САДУ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

М.А. Раченко, А.М. Раченко, Е.Н. Киселева

Обоснование. Исследование поведения клонových подвоев яблони в условиях южного Предбайкалья имеет важное значение для науки и сельского хозяйства. Оно может расширить наши знания об адаптации растений к специфическим климатическим условиям региона и предоставить ценные рекомендации для садоводов и питомниководов.

Цель. Охарактеризовать адаптационные возможности клонových подвоев яблони разного географического происхождения на юге Иркутской области и оценить вероятность их дальнейшего использования в садоводстве региона.

Материалы и методы. Все исследования проводились в 2018-2021 гг. на коллекционных участках СИФИБР СО РАН, расположенных в г. Иркутске и Иркутском районе Иркутской области.

Изучение подвоев в маточнике и сорто-подвойных комбинаций в саду проводили по Программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур.

Результаты. По результатам полевых наблюдений генотипы Арм-18, К-2 были оценены как слабовзимостойкие. К высоковзимостойким клонovým подвоям мы отнесли КСЯЯ, Урал, Урал-2, 4-12 и Е-56. Остальные генотипы были оценены как зимостойкие.

Все клонové подвои, используемые для прививки, кроме контроля (КСЯЯ) были оценены как зимостойкие, КСЯЯ – высоковзимостойкий.

Сорт Катюша сохранял высокую зимостойкость при прививке на все генотипы клонových подвоев. Сорт Превосходное сохранял высокую зимостойкость только при прививке на КСЯЯ, в других комбинациях был оценен, как средневзимостойкий на клонovém подвое 70-6-8 и зимостойкий на остальных подвоях. Сорт Райское сохранил высокую зимостойкость на клонových подвоях генотипов 70-6-8, 62-396 и КСЯЯ, на остальных клонových подвоях был оценен как зимостойкий.

Сорт Лада на всех исследуемых клоновых подвоях показал себя как зимостойкий несмотря на то, что сорт в регионе оценен как высокозимостойкий.

Заключение. Фенологические наблюдения показали, что климатические условия изучаемого региона способствуют полному прохождению всех фаз развития изученных генотипов клоновых подвоев. Многолетнее изучение полевой зимостойкости клоновых подвоев показало, что основная часть изученных генотипов оценены как зимостойкие и перспективны для дальнейшего изучения. Полевые испытания были подтверждены экспериментами по искусственному промораживанию. Все это позволило нам выделить наиболее ценные для селекции клоновые подвои для Южного Предбайкалья: Е56, Урал, Урал 2, 4-12 и КСЯЯ.

Ключевые слова: яблоня; подвой; фенологические фазы; полевая зимостойкость; искусственное промораживание

Для цитирования. Раченко М.А., Раченко А.М., Киселева Е.Н. Поведение клоновых подвоев яблони в маточнике и саду в условиях Южного Предбайкалья / А.М. Раченко, Е.Н. Киселева // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 387-410. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-918

Original article

PERFORMANCE OF CLONAL APPLE ROOTSTOCKS IN MOTHER PLANTATION AND ORCHARD UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN CISBAIKALIA

M.A. Rachenko, A.M. Rachenko, E.N. Kiseleva

Background. The study of the performance of clonal apple rootstocks under the conditions of the Southern Cisbaikalia is of great importance for science and agriculture. It can expand our knowledge of plant adaptation to the specific climatic conditions of the region and provide valuable guidance for gardeners and nurserymen.

Purpose. To characterize the adaptive capabilities of clonal apple rootstocks of different geographical origins in the south of the Irkutsk region and assess the likelihood of their further use in horticulture of the region.

Materials and methods. All the studies were carried out in 2018-2021 at the collection plots of Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences located in Irkutsk and in the Irkutsk district of the Irkutsk region.

The study of rootstocks in the mother plantation and variety/rootstock combinations in the orchard was carried out according to the Program and Methods for the Study of Varieties of Fruit, Berry and Nut Crops.

Results. *The conducted fieldwork allowed assessing genotypes Arm-18 and K-2 as slightly winter-hardy. SCAC, Ural, Ural-2, 4-12, and E-56 were assessed as highly winter-hardy clonal rootstocks. The rest of the genotypes were assessed as winter-hardy.*

All the clonal rootstocks used for grafting, except for the control (SCAC), were assessed as winter-hardy, SCAC - highly winter-hardy.

The Katyusha variety retained high winter hardiness when grafted onto all the genotypes of clonal rootstocks. The Prevoshodnoe variety retained high winter hardiness only when grafted onto SCAC; in other combinations it was rated as medium winter-hardy (onto clonal rootstock 70-6-8) and winter-hardy (onto the other rootstocks). The Raiskoe variety retained high winter hardiness on clonal rootstocks of genotypes 70-6-8, 62-396, and SCAC; on the other clonal rootstocks, it was assessed as winter-hardy. The Lada variety appeared to be winter-hardy on all the studied clonal rootstocks, despite the fact that this variety in the region is rated as highly winter-hardy.

Conclusion. *The phenological observations showed that the climatic conditions of the studied region favour the complete passage of all phases of development of the studied genotypes of clonal rootstocks. The long-term study of field winter hardiness of clonal rootstocks showed that the majority of the studied genotypes were assessed as winter-hardy and promising for further study. The field tests were ensured by the artificial freezing experiments. All of that allowed identifying the most valuable clonal rootstocks for breeding in the Southern Cisbaikalia: E56, Ural, Ural 2, 4-12, and SCAC.*

Keywords: *apple tree; rootstock; phenological phases; field winter hardiness; artificial freezing*

For citation. *Rachenko M.A., Rachenko A.M., Kiseleva E.N. Performance of Clonal Apple Rootstocks in Mother Plantation and Orchard under the Conditions of the Southern Cisbaikalia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 387-410. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-918*

Введение

Иркутская область характеризуется сложными климатическими условиями для ведения сельского хозяйства, особенно садоводства. Резко континентальный климат со значительными перепадами суточных температур, неравномерным количеством осадков в период вегетации и ко-

ротким безморозным периодом создают потребность в новых адаптивных культурах и сортах, способных давать высокие урожаи. Для обеспечения местного населения свежей продукцией необходимо развитие в регионе такой отрасли сельского хозяйства, как плодоводство. Одной из ключевых культур, которую можно рассматривать в качестве промышленной, является яблоня [16]. При этом далеко не вся территория региона подходит для ведения сельского хозяйства. Для развития плодоводства можно рассматривать только южные районы.

В настоящее время в регионе распространено использование сортов яблонь-полукультурок, привитых на семенные подвои яблони ягодной (*Malus baccata*). Однако сеянцы неоднородны, и каждый обладает индивидуальной наследственностью, что оказывает своё особое влияние на привитый сорт [13]. Клоновые подвои характеризуются генетической однородностью и поэтому одинаково влияют на привой [34]. Замена семенных подвоев на клоновые возможно лишь при условии подбора генотипов с повышенной зимостойкостью корневой системы. Отбор подвоев с корневой морозостойкостью до -18°C позволит говорить о возможности такой замены [1]. Их интродукция несет ряд преимуществ: значительное сокращение времени от получения подвоя до получения урожая, изменение габитуса плодового дерева (за карликовыми деревьями проще ухаживать), повышение урожайности за счет увеличения количества растений на единицу площади, сокращение сроков вступления в плодоношение за счет привой-подвойных взаимоотношений [18; 27]. Многими исследователями отмечены следующие преимущества посадочного материала яблони на слаброслых клоновых подвоях – это высокая совместимость с перспективными сортами яблони; высокая морозостойкость и зимостойкость корневой системы, выдерживающей до -16 -18°C ; высокая устойчивость подвоев к бактериальному ожогу; ускоренное вступление в плодоношение [9; 10; 21].

Работ, посвященных изучению клоновых подвоев яблони в Сибирском регионе, немного, и исследования связаны с ограниченным количеством генотипов [2; 3; 4]. На территории Иркутской области подобные исследования никогда не проводились.

Интродукция экологически приспособленных слаброслых клоновых подвоев яблони будет способствовать развитию интенсивного садоводства в регионе. Ученые многих стран дали определение каким требованиям должен соответствовать современный сад – это скороплодность, минимализация расходов на средства защиты за счет малообъемной кроны,

сокращение срока окупаемости затрат на закладку до 4-5 лет, высокая морозостойкость корней (до -18°C), снижение затрат на раскорчевку насаждений, регулярная прибыль [11; 23; 24; 25]. Так же деревья на слаброслых клоновых подвоях более адаптированы к почвенно-климатическим условиям произрастания [19]. За более чем столетнюю историю изучения клоновых подвоев в России современные селекционеры дополнили этот список высокозимостойкими, засухоустойчивыми и неприхотливыми к почвенным особенностям формами клоновых подвоев [12; 18; 27].

Цель исследования: охарактеризовать адаптационные возможности клоновых подвоев яблони разного географического происхождения на юге Иркутской области и оценить вероятность их дальнейшего использования в садоводстве региона.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования послужили клоновые подвои селекции МичГАУ (62-396, 54-118, 70-20-20, 70-6-8, 64-143, 62-223), селекции А.П. Апо-яна (Армянский НИИВиП) (Арм18), подвой эстонской селекции (Е56), селекции Оренбургской ОССиВ (Урал, Урал2, Урал5, 18-7, ОБ-3-4, 4-12, 8-2), селекции Крымской ОСС (К-2). В качестве контроля использовался клон яблони ягодной (сибирской) (*Malus baccata*) (КСЯЯ). Клоновые подвои яблони, полученные в Мичуринском ГАУ, успешно зарекомендовали себя при создании зимостойких яблоневых садов как в России, так и в ряде зарубежных стран [5; 7; 33; 35].

Все исследования проводились в 2018-2022 гг. на коллекционных участках СИФИБР СО РАН, расположенных в г. Иркутске и Иркутском районе Иркутской области. Тип почвы на участках серая лесная, по granulometricheskому составу – среднесуглинистая.

Природно-климатические условия региона исследования характеризуются резко континентальным климатом со значительными перепадами суточных температур. Зимы холодные и продолжительные. Средние зимние температуры варьируют от -13 до -18°C . Январь является самым холодным месяцем, с температурами в среднем $-19,3^{\circ}\text{C}$ (абсолютный минимум -52°C). Для конца января-начала февраля характерны длительный периоды (до 10 дней) понижения ночных температур ниже -30°C . Высота снежного покрова в среднем около 40 см. В феврале и марте перепады ночных и дневных температур могут достигать до 25°C в абсолютных значениях. Весна наступает в апреле и характеризуется резкими колебаниями от отрицательных температур (от $-6,6^{\circ}\text{C}$ до $-15,2^{\circ}\text{C}$) до высоких

положительных значений (от 21,1°C до 29°C). Вероятность возвратных заморозков сохраняется до конца второй декады мая (до -8°C). Безморозный период в зависимости от года наблюдений варьировал от 116 до 125 дней. Самый теплый летний месяц июль, дневная температура максимально повышается до 35°C, при этом ночная в редких случаях бывает выше 15°C. Количество осадков в теплое время года составляет в среднем 377 мм, основная часть которых выпадает во второй половине лета. Для осени характерен резкий переход к отрицательным температурам, без длительного периода закалки.

Самыми неблагоприятными годами за время исследований можно считать 2019-2020 и 2022-2023 гг. Зимние периоды этих лет были отмечены частым понижением температуры ниже -30°C. Весной (апрель) высокая температура (23°C) чередовалась с быстрым ее понижением до отрицательных температур, что значительно усугубило зимние повреждения. Самым благоприятным годом можно считать 2020-2021 гг.: отсутствие длительных периодов экстремально низких температур зимой; ровная, дружная весна без существенных перепадов температур; теплое, умеренно дождливое лето; теплая осень с достаточным периодом закалки.

Маточник клоновых подвоев был заложен на участке в Иркутском районе в 2016 г. Схема посадки 1,0х0,5 м. Было высажено каждой формы от 4 до 7 растений. В маточнике изучали сохранность маточных растений.

Испытания сорто-подвойных комбинаций в плодовом саду были проведены в опытных насаждениях яблони в коллекционном саду СИФИ-БР СО РАН. В качестве привоев были выбраны хорошо изученные сорта яблонь-полукультурок: Катюша, Превосходное, Райское, Лада. Критериями выбора были товарные качества плодов: вкус, длительность хранения, пригодность к переработке [30; 31].

Изучение подвоев в маточнике и сорто-подвойных комбинаций в саду проводили по программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [14].

Фенологические наблюдения за деревьями начинали проводить со второго года жизни (первый год после посадки) в третьей декаде апреля и продолжали до установления устойчивых морозов (ноябрь). В период вегетации фиксировали продолжительность каждого периода сезонного развития растений.

Зимостойкость клоновых подвоев и привитых растений проводили в полевых условиях [22; 29] по 6-ти балльной шкале: 0 – нет признаков подмерзания; 5 – дерево вымерзло полностью. По результатам оценки кло-

новые подвои распределяют по группам: высокзимостойкие (0-1 балл), зимостойкие (2 балла), среднзимостойкие (3 балла), слабокзимостойкие (4 балла), незимостойкие (5 баллов). Оценка зимнего иссушения включена в общее состояние растений [14].

Все данные представлены как среднее $\pm$ стандартное отклонение (СО). Статистическую значимость среди клоновых подвоев яблони по морозостойкости и зимостойкости оценивали с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программы MS Excel. Для варианта подвой-привой зимостойкость оценивали с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с использованием программы MS Excel. Для двухфакторного опыта: первым фактором (А) приняли влияние подвоя, вторым фактором (В) были приняты влияние привоя. Коэффициент вариации (CV) рассчитывали для оценки изменчивости каждого определяемого признака.

Результаты и обсуждение

Адаптационный потенциал культуры складывается как из устойчивости к неблагоприятным условиям зимнего периода, так и из способности этой культуры проходить все стадии своего развития за короткий безморозный период сибирского лета. По этой причине характеристика фенологических фаз является важнейшей для понимания приспособленности той или иной культуры к климату региона исследования [32].

Многолетние фенологические наблюдения за растениями (2018-2022 гг.) показали, что основные моменты роста и развития различных генотипов подвоев протекают в зависимости от года в следующие сроки: начало вегетации с 25 апреля по 9 мая, цветение с 22 мая по 15 июня, конец периода роста побегов с 10 по 13 августа, листопад – с 3 по 12 октября. Быстрее всех заканчивали свой рост и, соответственно, достигали состояния покоя клон сибирской ягодной яблони (КСЯЯ) и Е-56, на 4-5 дней раньше остальных генотипов. Остальные генотипы клоновых подвоев завершали вегетацию примерно в одно время.

На третий год растения клоновых подвоев КСЯЯ, 8-2 и 62-223 вступили в фазу цветения и сформировали плоды. Цветение было непродолжительное от 3 до 6 дней. Созревание плодов было отмечено в первой декаде сентября (рис.1).

Для оценки способности деревьев переносить комплекс неблагоприятных зимних условий важно определить такой показатель, как полевая зимостойкость. Зимостойкость зависит от комплекса факторов, таких как

погодные условия, возраст растений, генотип, нагрузка урожаем и др. Погодные условия региона исследований выступают основной причиной повреждения плодовых растений.



Рис. 1. Плодоношение клонового подвоя селекции МичГАУ 62-223

Неблагоприятный вегетационный период характеризуется коротким безморозным периодом, недостаточной суммой положительных температур, продолжительными осадками, приводящими к снижению температуры и распространению болезней. Короткий период закаливания связан с резким снижением температуры в начале октября и, в связи с этим, с неполным прохождением последней фенологической фазы (листопад). Длительные временные промежутки (более недели экстремально низких температур в декабре, январе и феврале (ниже -30°C) и значительные перепады температур в конце февраля и начале марта, высокий уровень инсоляции, отраженный от снежного покрова, усугубляют морозные повреждения. Апрельские перепады температур часто оказываются летальными для сортов с недостаточной зимостойкостью.

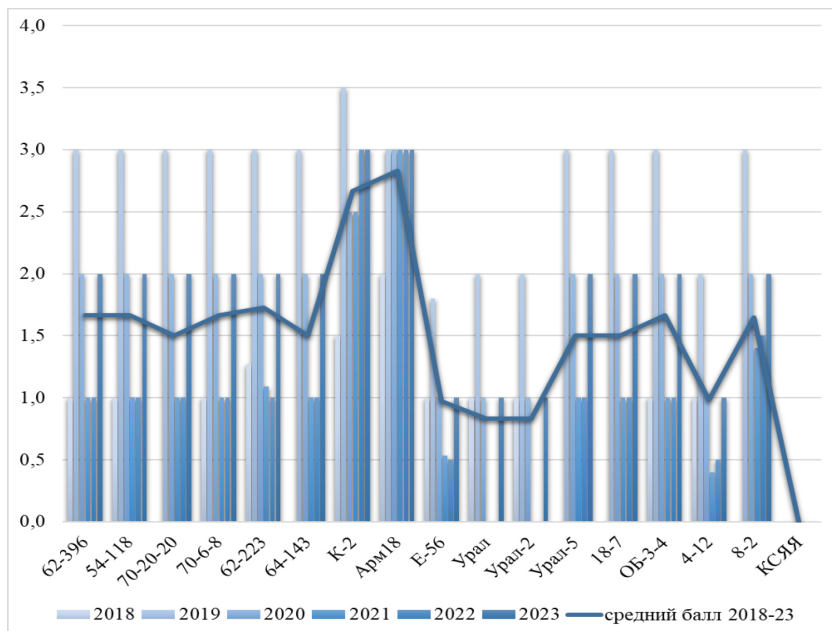


Рис. 2. Оценка зимостойкости клоновых подвоев в полевых условиях по годам, балл

По результатам однофакторного дисперсионного анализа было установлено достоверное влияние температуры на морозостойкость побегов растений клоновых подвоев. Принимается альтернативная гипотеза (1), так как все средние значения отличаются друг от друга. Расчетное значение критерия Фишера превышало табличное ($F_{\text{ф}} 18,4 \geq F_{\text{т}} 1,85$). Наименьшая существенная разница для 5% уровня значимости ($\text{НСР } 05$) равен 0,68. Коэффициент вариации (CV) составил 67,89%. Сравнить оценку морозостойкости побегов между генотипами клоновых подвоев и клоном сибирской ягодной яблони достоверно.

Оценка зимостойкости растений клоновых подвоев показала, что в самые критические по погодным условиям периоды больше всего пострадали растения клонового подвоя К-2 (до 3,5 баллов), самый высокий балл зимостойкости за этот период показали растения клоновых подвоев Е56 (1,8 балла), Урал и Урал2 (2,0 балла) (рис. 2). В условиях Оренбургской станции садоводства и питомниководства ВСТИСП клоновые подвои се-

рии Урал имеют устойчивость к морозам 1-1,5 балла [7; 8; 9]. Остальные генотипы получили 3,0 балла. Самым благоприятным для зимовки растений стал зимний период 2021-2022 гг., только растения клонового подвоя Арм18 показали балл повреждения 3,0. Остальные растения по шкале оценки получили 2,0 и менее балла (рис. 2).

Таблица 1.

Оценка зимостойкости клоновых подвоев

Клоновый подвой	Средний балл 2018-2023	СО	Оценка зимостойкости
62-396	1,7	0,96	зимостойкий
54-118	1,7	0,96	зимостойкий
70-20-20	1,5	1,29	зимостойкий
70-6-8	1,7	0,96	зимостойкий
62-223	1,7	0,87	зимостойкий
64-143	1,5	1,29	зимостойкий
К-2	2,7	0,82	слабозимостойкий
Арм18	2,8	0,5	слабозимостойкий
Е-56	1,0	0,53	высокозимостойкий
Урал	0,8	0,82	высокозимостойкий
Урал-2	0,8	0,82	высокозимостойкий
Урал-5	1,5	1,29	зимостойкий
18-7	1,5	1,29	зимостойкий
ОБ-3-4	1,7	0,96	зимостойкий
4-12	1,0	0,66	высокозимостойкий
8-2	1,7	1,25	зимостойкий
КСЯЯ	0,0	0,00	высокозимостойкий

В результате оценки клоновых подвоев генотипы Арм-18, К-2 при возделывании в условиях Иркутской области в период с 2018-2023 гг. были оценены как слабозимостойкие, остальные генотипы были оценены как зимостойкие (табл. 1). К высокозимостойким клоновым подвоям мы отнесли КСЯЯ, Урал, Урал-2, 4-12 и Е-56. Эти результаты были полностью подтверждены экспериментами по искусственному промораживанию [17].

Для успешного возделывания новой культуры важны не только экологические условия, но и правильно подобранная сорто-подвойная комбинация [20]. На второй год клоновые подвои были привиты адаптивными для региона сортами яблонь-полукультурок [31].

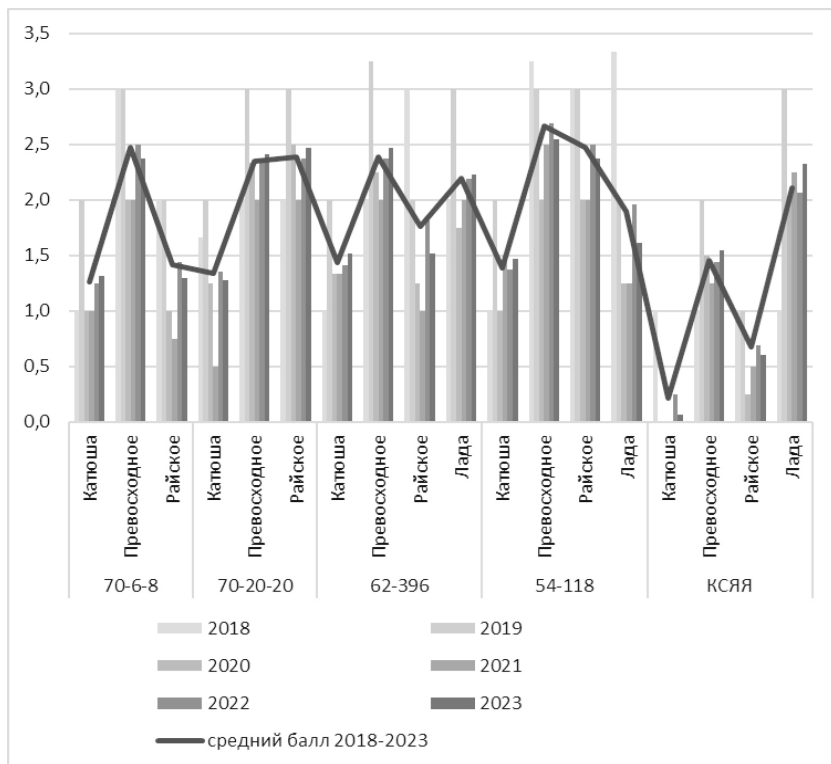


Рис. 3. Оценка зимостойкости привитых деревьев по годам, балл

Дисперсионный анализ для двухфакторного опыта, в котором первым фактором (А) приняли влияние подвоя, вторым фактором (В) были приняты влияние привоя показал значимость влияния обоих факторов, расчетное значение критерия Фишера превышало табличное (для фактора А $F_{ф} 30,08 \geq F_{т} 2,68$; для фактора В $F_{ф} 22,48 \geq F_{т} 2,26$). Детерминация фактора А указывает, что зимостойкость привитого растения на 63,52 % зависит от фактора А. Детерминация фактора В показала зависимость от фактора на 32,89 %. Детерминация АВ составила 98,37%. Стандартное отклонение (СО) между годами составило от 0,4 до 0,9 и от 0 до 0,5 в варианте каждого года.

Все клоновые подвои, используемые для прививки, кроме контроля (КСЯЯ) были оценены как зимостойкие, КСЯЯ – высокзимостойкий.

Деревья сорта Катюша во всех вариантах были оценены как высокозимостойкие. Сорт Райское на клоновом подвое 70-6-8, 62-396 и КСЯЯ был оценен как высокозимостойкий, на подвоях 70-20-20 и 54-118 оценен как зимостойкий. Сорт Превосходное на клоновом подвое КСЯЯ был оценен как высокозимостойкий, на клоновых подвоях 70-20-20 и 62-396 как зимостойкий и на клоновых подвоях 70-6-8 и 54-118 как среднезимостойкий. Сорт Лада во всех вариантах был оценен как зимостойкий (рис. 3).

В 2023 г сравнили биометрические показатели надземной части (высота дерева) привитых сортов яблонь-полукультурок в зависимости от подвоя (таблица 2). Наиболее выраженным влияние подвоя на рост привоя наблюдалось у сорта Катюша. На карликовых подвоях 62-396 и 70-6-8 высота деревьев в среднем составляла 49 и 62 % от контроля, что соответствует описаниям данным клоновых подвоев [15]. Сорт Превосходное только при прививке на подвой 62-396 показал снижение силы роста на 40%, остальные виды подвоев ограничили рост данного сорта только на 24-30%. Деревья сорта Лада при прививке и на карликовый подвой 62-396 и на полукарликовый 54-118 показали практически одинаковое снижение роста (12-14%). Яблоня сорта Райское при прививке на карликовый подвой 70-6-8 показала снижение роста только на 10%, в то время как на остальных видах подвоев сила роста этого сорта снизилась на 21-28%.

Одним из самых важных свойств клоновых подвоев является их способность влиять на скорость вступления в плодоношение привитых сортов [23]. Сокращение времени от прививки до товарного урожая очень важно с экономической точки зрения [24], так как увеличивает срок службы дерева в условиях сурового сибирского климата. Яблони-полукультурки на семенных подвоях в зависимости от сорта вступают в плодоношение на 4-5 год. При этом очень часто время вступления в плодоношение у каждого сорта может меняться в зависимости от ряда факторов: качество подвоя; способ и высота прививки; длина вегетационного периода, предшествующего вступлению в плодоношение; влияние болезней и вредителей. В большинстве своем яблони-полукультурки имеют периодичность плодоношения, что мешает оценке продуктивности сорта на разных подвоях.

Первое цветение и единичное плодоношение на клоновых подвоях было отмечено в 2020 г, через три года после окулировки. Первые плоды на деревьях, привитых на семенной подвой (сеянец яблонной яблони),

появились только в 2022 г. Время цветения яблони в этом году сопровождалось обильными осадками, которые явились причиной вспышки весенней формы монилиоза. Поэтому сравнить продуктивность деревьев на семенном и клоновых подвоях мы смогли только в 2023 г. (таблица 3). Более скороплодными как на семенном, так на клоновых подвоях показали себя сорта Катюша и Райское.

Таблица 2.

**Высота дерева изученных сортов яблонь-полукультурок
в зависимости от подвоя, 2023 г.**

Сорт яблони	Подвой	Высота дерева, среднее значение, см	% от контроля
Катюша	70-20-20	194,9±5,8	82
	62-396	115±4,5	49
	54-118	200,7±6,3	85
	70-6-8	145,9±21,3	62
	Сеянец ягодной яблони	236,4±13,8	100
Райское	70-20-20	141,9±15,5	72
	62-396	154,6±6,2	79
	54-118	145,4±15,1	74
	70-6-8	175,7±6,3	90
	Сеянец ягодной яблони	195,7±4,4	100
Лада	62-396	183,6±20,7	88
	54-118	179,9±16,7	86
	Сеянец ягодной яблони	208,9±6,1	100
Превосходное	70-20-20	200,7±17,8	77
	62-396	156,3±9,9	60
	54-118	183,7±3,8	70
	70-6-8	199,7±8,3	76
	Сеянец ягодной яблони	261,4±14,2	100

Эти же сорта показали высокую продуктивности при прививке на клоновые подвое по сравнению с деревьями, привитыми на сеянцы ягодной яблони. Сорт Лада показал более высокую продуктивность на карликовом подвое 62-396, чем на полукарликовом 54-118 и семенном подвое (рис. 4).

Таблица 3.

**Продуктивность изученных сортов яблонь-полукультурок
в зависимости от подвоя, 2023 г.**

Сорт яблони	Подвой	Вступление в пло- доношение, год	Продуктивность, средне значение, кг
Катюша	70-20-20	2020	14,4±0,9
	62-396	2020	11±0,6
	54-118	2020	10,6±0,6
	70-6-8	2020	14,9±0,1
	Сеянец ягодной яблони	2022	9,1±0,6
Райское	70-20-20	2020	9,3±0,8
	62-396	2020	7,7±0,4
	54-118	2020	7,3±0,4
	70-6-8	2020	7,6±0,4
	Сеянец ягодной яблони	2022	2,9±0,1
Лада	62-396	2021	5,6±1,5
	54-118	2021	1,3±0,4
	Сеянец ягодной яблони	2023	0,2±0,1
Превос- ходное	70-20-20	2021	1,5±0,3
	62-396	2021	1,5±0,4
	54-118	2021	1,5±0,4
	70-6-8	2021	1,5±0,5
	Сеянец ягодной яблони	2023	0,1±0,0

Заключение

Фенологические наблюдения показали, что климатические условия изучаемого региона способствуют полному прохождению всех фаз развития изученных генотипов клоновых подвоев. Многолетнее изучение полевой зимостойкости клоновых подвоев показало, что основная часть изученных генотипов оценены как зимостойкие и перспективны для дальнейшего изучения. Все это позволило нам выделить наиболее ценные для селекции клоновые подвои для Южного Предбайкалья: Е56, Урал, Урал 2, 4-12 и КСЯЯ. Изучение подвой-привойных взаимоотношений показало, что клоновые подвои влияют на зимостойкость, силу роста и скороплодность привитых сортов яблонь-полукультурок, причем это влияние зависит не только от генотипа подвоя, но и от сорта привитой яблони.



А



Б



В



Г

Рис. 4. Плодоношение яблонь-полукультурок сибирской селекции на карликовых подвоях: Лада (А) и Катюша (Б) на подвое 62-396; Катюша на подвоях 70-20-20 (В) и 54-118 (Г).

Благодарности. Работа выполнена на оборудовании ЦКП «Биоаналитика» с использованием коллекций ЦКП «Биоресурсный центр» СИФИБР СО РАН г. Иркутск.

Acknowledgments. The work was carried out on the equipment of the Center for Shared Use “Bioanalytics” using the collections of the Center for Shared Use “Bioresource Center” SIPFB SB RAS, Irkutsk.

Список литературы

1. Азаров О. И., Савин Е. З., Демина Л. Г. Перспективные клоновые подвои яблони Волго-Уральского региона // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 1 (176). С. 120-123.
2. Журавлева А. В. Размножение клоновых подвоев яблони зелеными и одревесневшими черенками // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, №. 12. С. 44-46.
3. Журавлева А. В. Влияние клоновых подвоев 54-118 и 62-396 на биометрические показатели саженцев яблони // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, №. 11. С. 57-59. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11115>
4. Журавлева А. В. Особенности размножения клоновых подвоев яблони зелеными черенками при использовании различных стимуляторов корнеобразования // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, №. 12. С. 65-67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11213>
5. Красова Н. Г., Ожерельева З. Е., Галашева А. М. Оценка зимостойкости сортов яблони в слаборослом саду в полевых и лабораторных условиях // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2007. С. 104-110.
6. Мережко О. Е. и др. Результаты изучения клоновых подвоев яблони в различных экологических условиях Волго-Уральского региона // Плодоводство и ягодоводство России. 2020. Т. 63, №. 1. С. 137-145. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-63-137-145>
7. Мурсалимова Г. Р. Интродукция генофонда клоновых подвоев и его использование при модернизации сортимента Приуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6 (50). С. 149-152.
8. Мурсалимова Г. Р. Клоновые подвои яблони селекции Оренбургской опытной станции садоводства и виноградарства // Современное садоводство. 2019. № 2. С. 27-34. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10205>
9. Мурсалимова Г. Р. Перспективный сорт слаборослого подвоя // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 6 (62). С. 56-58.

10. Мурсалимова Г. Р. и др. Селекционная оценка подвоев яблони селекции оренбургской опытной станции садоводства и виноградарства на комплекс хозяйственно-ценных признаков растений // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2014. № 4. С. 6.
11. Ожерельева З. Е., Красова Н. Г., Галашева А. М. Морозостойкость яблони на карликовых подвоях // Современное садоводство. 2016. № 2 (18). С. 35-41.
12. Пономаренко В. В., Пономаренко К. В. Генетические ресурсы яблони России как исходный материал для селекции подвоев // Достижения науки и инновации в садоводстве: мат. междунар. науч.-практ. конф. Мичуринск: Изд-во МичГАУ, 2009. С. 43-46.
13. Поух Е. В. Оценка интродуцированных клоновых подвоев яблони в маточнике в южной зоне плодородия Республики Беларусь // Вестник БарГУ Серия «Биологические науки. Сельскохозяйственные науки». 2019. С. 124-124.
14. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (Под общей редакцией академика РАСХН Е.Н. Седова и д.с/х.н. Т.П. Огольцовой). Орел: Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур. 1999. 608 с.
15. Помология: в 5-ти томах / Рос. Акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т селекции плодовых культур; редкол.: Е.Н. Седов (глав. ред.) [и др.] Орел: ВНИИСПК, 2005 Т. 1: Яблоня. 2005. 575 с.
16. Раченко М.А., Шигарова А.М., Путилина Т.Е., Раченко Е.И. Перспективы промышленного садоводства в Южном Предбайкалье // Вестник РАСХН. 2013. № 3. С. 18-21.
17. Раченко М.А., Раченко А.М., Киселева Е.Н. Полевые и лабораторные испытания клоновых подвоев в Южном Предбайкалье // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 3. С. 53-57. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/3/53-57>
18. Савин Е. З., Мурсалимова Г. Р., Мережко О. Е. Выход клоновых подвоев яблони в зависимости от повреждения маточных кустов морозами в степных условиях Южного Урала // Проблемы садоводства в Среднем Поволжье: сб. тр. 2011. С. 234-244.
19. Савин Е. З., Березина Т. В. Результаты селекции клоновых подвоев яблони в условиях Среднего Поволжья // Инновационные тенденции и сорта для устойчивого развития современного садоводства. 2015. С. 196-221.
20. Савин Е. З., Березина Т. В., Логинчев Е. Размножение подвоев плодовых культур и выращивание саженцев в национальном парке «бузулукский бор» // Вестник Оренбургского государственного университета. 2018. № 3 (215). С. 120-127. <https://doi.org/10.25198/1814-6457-215-120>

21. Трунов Ю. В. и др. Перспективные клоновые подвои яблони для интенсивных садов // Садоводство и виноградарство. 2020. № 2. С. 34-40. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-2-34-40>
22. Bittenbender H. C., Howell G. S. Adaptation of the Spearman-Kärber Method for Estimating the T50 of Cold Stressed Flower Buds1 // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1974. Vol. 99, № 2. P. 187-190. <https://doi.org/10.21273/JASHS.99.2.187>
23. Di Vaio C. et al. Effect of interstock (M. 9 and M. 27) on vegetative growth and yield of apple trees (cv “Annurca”) // Scientia Horticulturae. 2009. Vol. 119, № 3. P. 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.019>
24. Evans K. M. et al. Development of a new apple rootstock framework map // IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 903. 2008. P. 69-74. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.4>
25. Fazio G. et al. Implementation of molecular marker technologies in the Apple Rootstock Breeding program in Geneva-challenges and successes // IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 903. 2008. P. 61-68. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.3>
26. Holubowicz T., Cummins J. N., Forsline P. L. Responses of Malus clones to programmed low-temperature stresses in late winter // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1982. Vol. 107(3). P. 492-496. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.3.492>
27. Ikase L., Rubauskis E., Rezgale Z. Evaluation results of Finnish apple rootstocks In Latvia // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences. 2017. Vol. 71, № 3. P. 132-136. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0023>
28. Lindén L., Rita H., Suojala T. Logit models for estimating lethal temperatures in apple // HortScience. 1996. Vol. 31, № 1. P. 91-93.
29. Lisek, Jerzy. Frost damage of buds on one-year-old shoots of wine and table grapevine cultivars in central Poland following the winter of 2008/2009. 2009. P. 149-161.
30. Rachenko M. A. et al. The fruit of Siberian apple varieties as raw material for juice production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2020. Vol. 421, № 3. P. 032022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032022>
31. Rachenko M. A., Rachenko A. M. Adaptation capabilities of apple trees in the Southern Baikal region // IOP Conference Series: Earth and Environ-

- mental Science. IOP Publishing. 2021. Vol. 677, № 5. P. 052065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052065>
32. Szalay L. et al. Changing of the flower bud frost hardiness in three Hungarian apricot cultivars // *Horticultural Science*. 2016. Vol. 43, № 3. P. 134. <https://doi.org/10.17221/161/2015-HORTSCI>
33. Univer N., Univer T., Tiirmaa K. Effect of five rootstocks on growth and yield of four apple cultivars in young orchard // *Sodininkystė ir daržininkystė*. 2006. Vol. 25. P. 192-198.
34. Wang J. et al. A new function of MbIAA19 identified to modulate malus plants dwarfing growth // *Plants*. 2023. Vol. 12, № 17. P. 3097. <https://doi.org/10.3390/plants12173097>
35. Wrona D., Sadowski A. Comparison of 18 rootstocks for apple tree cv. 'Elise' in V planting system // *Sodininkystė ir daržininkystė*. 2006. Vol. 25. P. 144-150.

References

1. Azarov O. I., Savin E. E. Z., Demenina L. G. Prospective clonal rootstocks of apple trees of the Volga-Ural region. *Bulletin of Orenburg State University*, 2015, no. 1 (176), pp. 120-123.
2. Zhuravleva A. V. Propagation of clonal rootstocks of apple trees by green and woody cuttings. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, 2017, vol. 31, no. 12, pp. 44-46.
3. Zhuravleva A. B. Influence of clonal rootstocks 54-118 and 62-396 on biometric parameters of apple tree seedlings. *Achievements of science and technology of the agroindustrial complex*, 2018, vol. 32, no. 11, pp. 57-59. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11115>
4. Zhuravleva A. V. Features of propagation of apple clonal rootstocks by green cuttings when using different root formation stimulators. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, 2019, vol. 33, no. 12, pp. 65-67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11213>
5. Krasova N. G., Ozherelieva Z. E., Galasheva A. M. Evaluation of winter hardiness of apple-tree varieties in low-growing orchard in field and laboratory conditions. *Selection and variety breeding of horticultural crops*, 2007, pp. 104-110.
6. Merezhko O. E. et al. Results of the study of apple clonal rootstocks in different ecological conditions of the Volga-Ural region. *Horticulture and Berry Growing of Russia*, 2020, vol. 63, no. 1, pp. 137-145. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-63-137-145>
7. Mursalimova G. R. Introduction of the gene pool of clonal rootstocks and its use in the modernization of variety in the Urals. *Izvestiya Orenburgskogo State Agrarian University*, 2014, no. 6 (50), pp. 149-152.

8. Mursalimova G. R. Clonal rootstocks of apple trees of selection of the Orenburg Experimental Station of Horticulture and Viticulture. *Modern Horticulture*, 2019, no. 2, pp. 27-34. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2019-10205>
9. Mursalimova G. R. Prospective variety of low-growing rootstock. *Izvestiya Orenburgskogo State Agrarian University*, 2016, no. 6 (62), pp. 56-58.
10. Mursalimova G. R. et al. Selective evaluation of apple rootstocks selection of the Orenburg experimental station of horticulture and viticulture on the complex of economically valuable plant traits. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2014, no. 4, pp. 6.
11. Ozherelieva Z. E., Krasova N. G., Galasheva A. M. Frost resistance of apple trees on dwarf rootstocks. *Modern Horticulture*, 2016, no. 2 (18), pp. 35-41.
12. Ponomarenko V. V., Ponomarenko K. V. Genetic resources of Russian apple trees as source material for selection of rootstocks. *Science achievements and innovations in horticulture: mat. of the international scientific and practical conference*. Michurinsk: MichGAU Publ., 2009, pp. 43-46.
13. Poukh E. V. Evaluation of introduced clonal apple-tree rootstocks in the mother tree in the southern zone of fruit-growing in the Republic of Belarus. *Bulletin of BarSU Series "Biological sciences. Agricultural sciences"*, 2019, pp. 124-124.
14. Program and methodology of varietal studies of fruit, berry and nut crops (Under the general editorship of Academician of Russian Academy of Agricultural Sciences E.N. Sedov and Dr. T.P. Ogoltsova). Orel: All-Russian Research Institute of Fruit Crops Breeding Publ., 1999, 608 c.
15. *Pomology*: in 5 volumes / Ros. Acad. of Agricultural Sciences, All-Russian Research Institute of Fruit Crops Breeding; editor: E.N. Sedov (chief editor). Sedov (chief editor) [and others]. Orel: VNIISPK, 2005. Vol. 1: Apple-tree, 2005, 575 p.
16. Rachenko M.A., Shigarova A.M., Putilina T.E., Rachenko E.I. Prospects for industrial horticulture in Southern Predbaikalia. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2013, no. 3, pp. 18-21.
17. Rachenko MA, Rachenko AM, Kiseleva EN. Field and laboratory tests of clonal rootstocks in Southern Predbaikalia. *Bulletin of Russian Agricultural Science*, 2023, no. 3, pp. 53-57. <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/3/53-57>
18. Savin E. Z., Mursalimova G. R., Merezhko O. E. Yield of apple clonal rootstocks depending on frost damage of mother bushes in the steppe conditions of the Southern Urals. *Problems of Horticulture in the Middle Volga Region: collection of works*, 2011, pp. 234-244.
19. Savin E. Z., Berezina T. V. Results of selection of clonal apple rootstocks in the conditions of the Middle Volga region. *Innovative trends and varieties for sustainable development of modern horticulture*, 2015, pp. 196-221.

20. Savin E. Z., Berezina T. V., Loginchev E. Propagation of fruit crop scions and cultivation of seedlings in the national park “Buzulukskiy Bor”. *Bulletin of Orenburg State University*, 2018, no. 3 (215), pp. 120-127. <https://doi.org/10.25198/1814-6457-215-120>
21. Trunov Yu. V. et al. Prospective clonal apple rootstocks for intensive orchards. *Horticulture and viticulture*, 2020, no. 2, pp. 34-40. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2020-2-34-40>
22. Bittenbender H. C., Howell G. S. Adaptation of the Spearman-Kärber Method for Estimating the T50 of Cold Stressed Flower Buds1 // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1974. Vol. 99, № 2. P. 187-190. <https://doi.org/10.21273/JASHS.99.2.187>
23. Di Vaio C. et al. Effect of interstock (M. 9 and M. 27) on vegetative growth and yield of apple trees (cv “Annurca”). *Scientia Horticulturae*, 2009, vol. 119, no. 3, pp. 270-274. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.019>
24. Evans K. M. et al. Development of a new apple rootstock framework map. *IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems* 903, 2008, pp. 69-74. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.4>
25. Fazio G. et al. Implementation of molecular marker technologies in the Apple Rootstock Breeding program in Geneva-challenges and successes. *IX International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems* 903, 2008, pp. 61-68. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.903.3>
26. Holubowicz T., Cummins J. N., Forsline P. L. Responses of Malus clones to programmed low-temperature stresses in late winter. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1982, vol. 107(3), pp. 492-496. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.3.492>
27. Ikase L., Rubauskis E., Rezgale Z. Evaluation results of Finnish apple rootstocks In Latvia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. 2017, vol. 71, no. 3, pp. 132-136. <https://doi.org/10.1515/prolas-2017-0023>
28. Lindén L., Rita H., Suojala T. Logit models for estimating lethal temperatures in apple. *HortScience*, 1996, vol. 31, no. 1, pp. 91-93.
29. Lisek, Jerzy. Frost damage of buds on one-year-old shoots of wine and table grapevine cultivars in central Poland following the winter of 2008/2009. 2009, pp. 149-161.
30. Rachenko M. A. et al. The fruit of Siberian apple varieties as raw material for juice production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

- IOP Publishing, 2020, vol. 421, no. 3, p. 032022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/421/3/032022>
31. Rachenko M. A., Rachenko A. M. Adaptation capabilities of apple trees in the Southern Baikal region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021. vol. 677, no. 5, p. 052065. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052065>
32. Szalay L. et al. Changing of the flower bud frost hardiness in three Hungarian apricot cultivars. *Horticultural Science*, 2016, vol. 43, no. 3, p. 134. <https://doi.org/10.17221/161/2015-HORTSCI>
33. Univer N., Univer T., Tiirmaa K. Effect of five rootstocks on growth and yield of four apple cultivars in young orchard. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 2006, vol. 25, pp. 192-198.
34. Wang J. et al. A new function of MbIAA19 identified to modulate malus plants dwarfing growth. *Plants*, 2023, vol. 12, no. 17, p. 3097. <https://doi.org/10.3390/plants12173097>
35. Wrona D., Sadowski A. Comparison of 18 rootstocks for apple tree cv. 'Elise' in V planting system. *Sodininkystė ir daržininkystė*, 2006, vol. 25, pp. 144-150.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Раченко Максим Анатольевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории физиолого-биохимической адаптации растений, заведующий отделом прикладных и экспериментальных разработок

СИФИБР СО РАН

ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, Иркутская обл., 664033, Российская Федерация

bigmks73@rambler.ru

Раченко Анна Максимовна, аспирант кафедры земледелия и растениеводства агрономического факультета; инженер отдела прикладных и экспериментальных разработок

*Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского; СИФИБР СО РАН
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, 664038,
Российская Федерация; ул. Лермонтова, 132, Иркутск, Иркутская
обл., 664033, Российская Федерация
ann_rachenko@mail.ru*

Киселева Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, науч-
ный сотрудник отдела прикладных и экспериментальных разработок
*СИФИБР СО РАН
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, Иркутская обл., 664033, Россий-
ская Федерация
elenasolya@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maxim A. Rachenko, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the
Laboratory of Physiological-Biochemical Adaptation of Plants, Head of
the Department of Applied and Experimental Developments
*SIPFB SB RAS
132, Lermontov Str., Irkutsk, Irkutsk region, 664033, Russian Federation
bigmks73@rambler.ru
SPIN-code: 1997-2163
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7644-7771>
ResearcherID: J-4520-2018
Scopus Author ID: 57211206154*

Anna M. Rachenko, Graduate Student of the Department of Agriculture and
Plant Growing, Faculty of Agronomy; Engineer of Department of Ap-
plied and Experimental Developments
*Irkutsk State Agricultural University named after A.A. Yezhevsky; SIPFB
SB RAS
Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian
Federation; 132, Lermontov Str., Irkutsk, Irkutsk region, 664033, Rus-
sian Federation
ann_rachenko@mail.ru
SPIN-code: 6033-5300
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5568-4938>
ResearcherID: JYO-4456-2024
Scopus Author ID: 57214235970*

Elena N. Kiseleva, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher of Department of Applied and Experimental Developments

SIFFB SB RAS

132, Lermontov Str., Irkutsk, Irkutsk region, 664033, Russian Federation

elenasolya@mail.ru

SPIN-code: 2671-3418

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4267-5829>

ResearcherID: JEP-1390-2023

Scopus Author ID: 57219097186

Поступила 31.01.2024

После рецензирования 29.03.2024

Принята 05.04.2024

Received 31.01.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 05.04.2024

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-919

УДК 612.8+615.834



Научная статья

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЛАТЕНТНОСТЕЙ ВОЛН ЗРИТЕЛЬНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ВСПЫШКУ ПОД ВЛИЯНИЕМ СПЕЛЕОТЕРАПИИ

В.А. Семилетова, А.А. Присный

Нейрофизиологические методики применяются как средство мониторинга эффективности терапевтических воздействий, в том числе спелеотерапии. Курс спелеотерапии улучшает скорость проведения зрительного сигнала, скорость первичной обработки информации и скорость анализа зрительной информации.

Цель – изучение вероятности снижения латентностей волн зрительных вызванных потенциалов (зВП) на вспышку под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП.

Материалы и методы. В нашем исследовании приняли участие 73 студента 2 курса ВГМУ (18-21 год): 49 студентов экспериментальной группы и 24 студента группы сравнения. Каждого участника информировали о цели исследования, каждый подписал согласие на участие в исследовании. Курс спелеотерапии состоял из 10 сеансов по 60 минут и проводился в стационарной наземной спелеокамере при температуре 18–22 °С. До начала спелеотерапии и на 10-й день спелеотерапии в состоянии покоя зарегистрированы зрительные вызванные потенциалы (зВП) справа и слева на вспышку с помощью нейромиоанализатора НМА-4-01 «Нейромиан». Анализ полученных данных проведен с помощью программ Excel 16 версии и IBM SPSS Statistics 26.

Результаты. В группе сравнения значимых отличий по параметрам зрительных вызванных потенциалов между первой и второй записью зВП на вспышку не выявлено. В результате проведенного исследования среди студентов экспериментальной группы выявлены три кластера испытуемых, отличающиеся по динамике латентностей волн зВП под влиянием спелеоклимата. Установлено, что эта динамика зависит от исходных параметров зВП. Проведенный дискриминантный анализ позволил получить три прогностические модели вероятности снижения латентности волн N2, P1, P2 зВП на вспышку слева под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП. Чувствительность моделей от 84,6-92,9%, специфичность – 93,8-95%.

Заключение. Полученные данные можно использовать для персонализированного подбора алгоритма профилактических мероприятий с использованием спелеотерапии.

Ключевые слова: спелеоклимат; спелеотерапия; зрительный вызванный потенциал; вспышка; латентность; прогностическая модель

Для цитирования. Семилетова В.А., Присный А.А. Прогностические модели вероятности снижения латентностей волн зрительных вызванных потенциалов на вспышку под влиянием спелеотерапии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 411-425. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-919

Original article

PREDICTIVE MODELS OF THE PROBABILITY OF REDUCING THE LATENCIES OF VISUAL EVOKED POTENTIALS FOR THE FLASH UNDER THE INFLUENCE OF SPELEOTHERAPY

V.A. Semiletova, A.A. Prisny

Neurophysiological techniques are used as a means of monitoring the effectiveness of therapeutic interventions, including speleotherapy. A course of speleotherapy improves the speed of the visual signal, the speed of primary processing of information and the speed of analysis of visual information.

Purpose. To study the probability of reducing the latencies of visual evoked potential (VEP) waves to a flash under the influence of speleotherapy depending on the initial durations of VEP waves.

Materials and methods. 73 2nd year students of VSMU (18-21 years old) took part in our study: 49 students from the experimental group and 24 students from the comparison group. Each participant was informed about the purpose of the study, each signed an agreement to participate in the study. The course of speleotherapy consisted of 10 sessions of 60 minutes each and was carried out in a stationary ground speleochamber at a temperature of 18–22 °C. Before the start of speleotherapy and on the 10th day of speleotherapy at rest, visual evoked potentials to the right and left to the flash were recorded using the neuromyograph "Neuromian". The analysis of the obtained data was carried out using IBM SPSS Statistics 26.

Results. As a result of the study, three clusters of subjects were identified, which differ in the dynamics of the latency of the wEP waves under the influence of the speleoclimate. It has been established that this dynamics depends on the initial parameters of the wEP waves. The performed discriminant analysis made it possible to obtain three prognostic models for the probability of a decrease in the latency of the N2, P1, P2 of wEP waves to a flash on the left under the influence of speleotherapy, depending on the initial durations of the wEP waves. The sensitivity of the models is from 84,6-92,9%, the specificity is 93,8-95%.

Conclusion. The obtained data can be used for personalized selection of an algorithm for preventive measures using speleotherapy.

Keywords: speleoclimate; speleotherapy; visual evoked potential; flash; latency; predictive model

For citation. Semiletova V.A., Prisy A.A. Predictive Models of the Probability of Reducing the Latencies of Visual Evoked Potentials for the Flash under the Influence of Speleotherapy. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 411-425. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-919

Нейрофизиологические методики, такие как электроэнцефалография, метод вызванных потенциалов, реография и хронорефлексометрия, в настоящее время все чаще применяются как средство мониторинга эффективности немедикаментозных лечебных воздействий, в том числе отклика на влияния остеопатических и физиотерапевтических процедур, для оценки влияния кинезиотерапевтического, арттерапевтического [7; 15], спелеоклиматического видов терапии [13].

Изменения в центральной и периферической нервной системе по типу «возбуждение-торможение» имеет отклик на разных уровнях организации волновой активности зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) на вспышку, особенно в параметрах ранних компонентов вызванной актив-

ности (P1, P2, N2), что отражает влияние на организм факторов внешней и внутренней среды [1; 4; 14].

Источники ранних волн зВП находятся в первичной зрительной коре и в экстрастриарных областях. Уровень симметричности (ассиметричности) параметров волн зВП правого и левого глаз свидетельствует об устойчивости (неустойчивости) физиологического или патологического состояний проводящих путей и анализаторной системы зрительного анализатора [6].

В особенностях волн (соотношении амплитуды и длительности) зВП отражается специфичность параметров стимула (вспышки). В литературе показано, что параметры зВП на вспышку зависят от интенсивности стимула. Даже существуют зоны различий в волновой структуре зВП на стимулы разной интенсивности [2]. Так, при регистрации зВП и получении единичных реализаций вызванных потенциалов, параметры зВП на первую и вторую вспышки совершенно независимы [21].

В свою очередь, спелеотерапия все чаще используется с целью повышения иммунитета и восстановления здоровья после перенесенных острых респираторных заболеваний и стресса [3; 5; 18; 20; 21]. Наземные спелеокамеры открыты в физкультурных диспансерах, детских и взрослых поликлиниках, многих санаториях, на ряде предприятий. Взрослые и дети проходят профилактическое лечение [9; 16; 17; 19]. В Перми и Воронеже активно изучаются механизмы воздействия спелеоклимата на организм взрослого здорового человека [14; 19].

В наших более ранних работах показано, что 10-дневный часовой курс спелеотерапии улучшает скорость проведения зрительного сигнала, скорость первичной обработки информации и скорость анализа зрительной информации. Причем динамика данных изменений затрагивает «аварийную» стадию адаптации к климату сильвинитовой спелеокамеры на третий день спелеотерапии к стадии устойчивой адаптации к концу курса спелеотерапии [11]. Анализ гендерных отличий зрительных вызванных потенциалов на вспышку показал, что слева между юношами и девушками наблюдаются значимые отличия по скорости проведения возбуждения и по скорости обработки зрительного сигнала. А под воздействием спелеоклимата значимые отличия между юношами и девушками нивелируются [10].

Цель исследования – изучение вероятности снижения латентностей волн зВП на вспышку под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 73 добровольца - студента 2 курса Воронежского медицинского госуниверситета (18-21 год): 49 студентов экспериментальной группы и 24 студента группы сравнения.

Студенты экспериментальной группы проходили курс спелеотерапии, который состоял из 10 сеансов по 60 минут и проводился в стационарной сальвинитовой спелеокамере при температуре 18–22 °С, содержании отрицательных аэроионов 1987-2017 е/см³, содержании положительных аэроионов 834-1074 е/см³, радиационном фоне около 17 мкР/час. Мощность дозы гамма излучений составляла 14-17 мкР/час, что не превышало максимально допустимые дозы радиации для населения от природных источников - 50 мкР/час (из СанПин 2.6.1.2523-09 (НРБ 99/2009)).

К критериям включения в экспериментальную группу отнесены состояние здоровья, отсутствие острого периода инфекционных и обострения хронических заболеваний, отсутствия дефектов верхних дыхательных путей. Проведенное исследование соответствовало этическим стандартам, что подтверждено заседанием Этического комитета ФБГОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России от 15 ноября 2023 года. протокол №8. Каждого участника информировали о цели исследования, каждый участник подписал согласие на участие в исследовании.

У студентов экспериментальной группы до начала курса спелеотерапии и на 10-й день курса спелеотерапии, в состоянии покоя, справа и слева зарегистрированы зрительные вызванные потенциалы (зВП) на вспышку с помощью нейромиоанализатора НМА-4-01 «Нейромиан».

Студенты группы сравнения не проходили курса спелеотерапии, у них зВП на вспышку зарегистрированы в состоянии покоя дважды, с разницей в 10 дней.

Анализ полученных данных выполнен с помощью программ Excel 16 и IBM SPSS Statistics 26. Нормальность распределения признаков определена с использованием критерия Шапиро – Уилка. Расчет достоверности отличий выполнен с использованием непараметрического критерия Уилкоксона для зависимых переменных. В результатах указаны медианы (Me) и квартили (Q1, Q3). Для кластеризации функций использован двухфакторный кластерный анализ. С целью построения прогностических моделей использован дискриминантный анализ.

Результаты

В группе сравнения значимых отличий по параметрам зрительных вызванных потенциалов между первой и второй записью зВП на вспышку

не выявлено, таблица 1. Двухфакторный кластерный анализ не позволил выявить кластеров в зависимости от исходных параметров волн зВП.

Таблица 1.

**Амплитуды (А) и длительности (Л) волн зВП на вспышку
у студентов группы сравнения ($p < 0,05$)**

	1-я регистрация (Ф1)			2-я регистрация (Ф2)		
	Q1	Me	Q3	Q1	Me	Q3
A-O1-N2	1,43	1,98	2,83	0,62	2,71	3,44
A-O1-N3	1,09	2,95	7,19	1,64	3,26	7,83
A-O1-P1	0,55	1,65	3,73	0,91	2,54	4,38
A-O1-P2	0,79	2,27	4,38	1,45	4,90	7,80
A-O1-P3	2,54	7,21	12,80	1,38	3,53	6,67
A-O2-N2	1,41	1,80	3,68	1,27	4,02	6,20
A-O2-N3	1,40	3,86	7,73	1,66	3,42	5,44
A-O2-P1	0,37	1,68	3,00	0,74	2,85	6,71
A-O2-P2	1,82	3,25	9,86	1,00	2,78	8,54
A-O2-P3	1,03	4,82	7,27	1,20	2,49	5,96
Л-O2-N2	38,90	61,10	65,40	34,90	63,80	102,30
Л-O2-N3	78,80	92,00	132,25	60,50	109,60	160,25
Л-O2-P1	25,10	47,20	51,90	22,50	26,60	65,10
Л-O2-P2	49,60	77,00	106,00	48,20	79,20	136,25
Л-O2-P3	103,00	116,00	147,75	74,00	136,00	180,50
Л-O1-N2	41,20	58,20	66,10	43,80	62,00	86,00
Л-O1-N3	69,30	81,40	106,00	76,00	106,20	154,75
Л-O1-P1	25,30	47,60	51,00	23,50	46,80	60,80
Л-O1-P2	49,40	67,20	93,85	53,00	86,60	118,00
Л-O1-P3	102,75	120,50	148,75	111,25	144,50	170,08

Длительности волн зВП на вспышку экспериментальной группы до и после воздействия спелеоклимата представлены в таблице 2. Медианы волн зВП под действием спелеоклимата имели тенденцию к снижению, однако значимых отличий не было выявлено.

Согласно литературным данным, длительность волн зВП на вспышку отражает скорость проведения информации и является менее динамичным параметром, чем амплитуда волн зВП на вспышку, длительность определяет и доминирование одного из монокулярных каналов [10].

Таблица 2.

**Длительность волн зВП на вспышку до и после проведения
курса спелеоклимата**

	До спелеотерапии Before speleotherapy			После спелеотерапии After speleotherapy		
	Q1	Me	Q3	Q1	Me	Q3
O1-N2	36,000	56,000	63,600	38,400	48,000	70,800
O1-N3	64,800	81,200	108,000	70,000	76,800	124,000
O1-P1	18,400	44,800	50,000	20,400	36,000	51,200
O1-P2	48,800	64,400	94,800	52,000	57,600	89,600
O1-P3	86,800	118,000	148,000	88,800	121,000	156,000
O2-N2	36,800	58,400	66,000	33,600	40,800	64,800
O2-N3	64,800	93,600	129,000	64,400	73,200	102,000
O2-P1	18,000	44,400	51,600	19,600	28,400	47,600
O2-P2	49,200	78,400	112,000	44,800	54,800	90,400
O2-P3	91,600	120,000	147,000	79,200	110,000	127,000

Двухфакторный кластерный анализ позволил выявить три кластера в зависимости от исходных параметров волн зВП у студентов экспериментальной группы.

39% Испытуемых было отнесено к первому кластеру, 39% испытуемых – ко второму и 22% - к третьему. Описательная статистика по кластерам приведена в таблице 3.

Таблица 3.

**Длительность волн зВП на вспышку до и после воздействия спелеоклимата
в соответствии с результатами кластерного анализа**

Кластерный номер cluster number		До спелеотерапии Before speleotherapy			После спелеотерапии After speleotherapy		
		Q1	Me	Q3	Q1	Me	Q3
1	O1-N2	25,200	41,200	62,100	38,400	40,400	73,800
	O1-N3	46,000	70,400	99,100	70,200	75,400	145,000
	O1-P1	9,900	24,200	52,100	19,500	33,400	52,900
	O1-P2	35,800	51,600	90,100	52,000	55,400	102,650
	O1-P3	59,700	110,000	130,000	96,400	125,500	172,000
	O2-N2	35,600	38,400	64,000	37,600	64,000	79,800
	O2-N3	59,100	67,400	124,250	73,600	119,500	189,000
	O2-P1	12,200	24,400	49,800	27,200	40,200	53,900
	O2-P2	47,500	49,800	97,100	51,100	92,200	123,000
	O2-P3	66,800	104,300	143,000	93,750	170,500	216,000

2	O1-N2	35,100	41,200	56,900	48,000	66,000	84,900
	O1-N3	63,600	78,800	85,500	76,600	99,500	139,000
	O1-P1	19,900	32,400	45,200	35,100	45,000	60,900
	O1-P2	48,700	51,600	76,400	57,000	87,000	109,750
	O1-P3	83,500	108,000	146,000	104,500	124,500	160,500
	O2-N2	36,800	54,500	79,000	23,600	33,400	48,300
	O2-N3	66,500	99,500	135,750	54,600	67,000	91,200
	O2-P1	17,700	36,400	49,700	14,400	24,400	39,400
	O2-P2	47,900	82,000	116,500	35,800	51,800	60,800
	O2-P3	106,000	130,000	169,750	63,100	86,200	113,000
3	O1-N2	65,600	76,400	122,000	14,800	32,400	52,800
	O1-N3	81,200	124,000	147,000	51,600	64,400	76,800
	O1-P1	48,000	50,400	92,400	8,400	26,400	36,000
	O1-P2	74,800	106,000	139,000	36,400	51,200	57,600
	O1-P3	107,000	140,000	168,000	69,600	76,400	129,000
	O2-N2	58,400	66,000	78,800	35,200	40,800	47,600
	O2-N3	86,000	94,800	148,000	52,800	72,800	100,000
	O2-P1	48,000	54,000	71,600	13,200	23,600	29,200
	O2-P2	75,600	91,200	118,000	42,800	51,600	57,600
	O2-P3	108,000	134,000	185,000	73,600	111,000	120,000

Таблица 4.

**Значимость отличий длительностей волн зВП на вспышку
до и после воздействия спелеоклимата в соответствии с результатами
кластерного анализа**

Кластерный номер cluster number	1		2		3	
	Z	p	Z	p	Z	p
Ф10-О1-N2 - Ф1-О1-N2	-0,235	0,814	-2,981	0,003	-2,366	0,018
Ф10-О1-N3 - Ф1-О1-N3	-1,070	0,285	-2,667	0,008	-2,366	0,018
Ф10-О1-P1 - Ф1-О1-P1	-0,157	0,875	-1,961	0,05	-2,366	0,018
Ф10-О1-P2 - Ф1-О1-P2	-0,392	0,695	-3,059	0,002	-2,366	0,018
Ф10-О1-P3 - Ф1-О1-P3	-0,978	0,328	-0,824	0,41	-2,197	0,028
Ф10-О2-N2 - Ф1-О2-N2	-2,824	0,005	-2,824	0,005	-2,366	0,018
Ф10-О2-N3 - Ф1-О2-N3	-3,059	0,002	-2,746	0,006	-2,028	0,043
Ф10-О2-P1 - Ф1-О2-P1	-2,179	0,029	-1,804	0,071	-2,371	0,018
Ф10-О2-P2 - Ф1-О2-P2	-3,059	0,002	-2,903	0,004	-2,366	0,018
Ф10-О2-P3 - Ф1-О2-P3	-2,864	0,004	-3,059	0,002	-2,028	0,043

Примечание: Ф1- исходные значения длительностей волн зВП, Ф10 - значения длительностей волн зВП после спелеотерапии.

Следует отметить, что у испытуемых 1 кластера под влиянием спелеотерапии происходило увеличение длительностей волн зВП, при этом справа – значимо, табл. 4. У студентов 2 кластера слева длительности волн зВП на вспышку значимо увеличивались, справа – значимо уменьшались. У студентов 3 кластера под влиянием спелеотерапии происходило значимое уменьшение длительностей волн зВП на вспышку. Следовательно, динамика длительностей волн зВП на вспышку под влиянием спелеоклимата зависит от исходных характеристик волн зВП.

Полученные результаты позволили предположить наличие зависимости динамики длительности волн зВП на вспышку под влиянием спелеоклимата от исходных значений длительности волн зВП. Проведенный дискриминантный анализ позволил получить три прогностические модели вероятности снижения латентности волн N2, P1, P2 зВП на вспышку, слева, под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП.

Известно, что компоненты N2 и P2 частично обусловлены чувствительными нейрональными потоками, проходящими через специфические и ассоциативные ядра таламуса и стриарного комплекса. Компоненты N2 и P2 более динамичны, чем более поздние компоненты N3 и P3. Компонент N2 отражает активность 17 поля по Бродману. Полагают, что по данному компоненту зВП мы можем судить о скорости проведения зрительного сигнала [12].

Опираясь на полученные данные кластерного анализа о зависимости параметров волн зВП на вспышку после спелеокурса от исходных параметров волн зВП, мы провели дискриминантный анализ с целью получения моделей прогнозирования изменения параметров волн зВП. В результате дискриминантного анализа было получено три модели.

В результате дискриминантного анализа была получена следующая модель (1):

$$Y_{OIN2} = -1,64 + 0,046 * X_{OIN2} - 0,035 * X_{OIN3} + 0,041 * X_{OIP1} - 0,019 * X_{OIP2} + 0,018 * X_{OIP3} - 0,035 * X_{O2N2} - 0,002 * X_{O2N3} + 0,052 * X_{O2P1} - 0,042 * X_{O2P2} + 0,027 * X_{O2P3} \quad (1)$$

где Y_{OIN2} – дискриминантная функция, характеризующая вероятность снижения латентности волны N2 зВП на вспышку слева под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП. Y – исходные длительности волн зВП слева (O1) и справа (O2). Константа дискриминации, которая делит участников исследования на две группы, определена как значение функции, равноудаленное от центроидов, которые составили в группе с отсутствием 1,226, а при наличии понижения латентности волны N2 зВП на вспышку слева - (-0,886). Соответственно, константа дискри-

минации равна (-0.17). При сравнении средних значений дискриминантной функции в исследуемых группах с помощью коэффициента λ Уилкса, нами установлены статистически значимые различия ($p=0,047$). Чувствительность полученной модели составила 84,6%, специфичность – 94,4%.

Компонент P1, по которому можно судить о проведении информации по быстрым волокнам зрительных путей и о переключении на специфические таламические реле, является главной составляющей и в межполушарном сенсорном взаимодействии, обладая максимальной энтропией и минимальной избыточностью, что говорит о доминирующей роли правого полушария [14].

В результате дискриминантного анализа была получена следующая модель (2):

$$Y_{O1P1} = -1,869 + 0,11 * X_{O1N2} + 0,74 * X_{O1N3} + 0,034 * X_{O1P1} - 0,165 * X_{O1P2} + 0,008 * X_{O1P3} - 0,1 * X_{O2N2} - 0,046 * X_{O2N3} + 0,048 * X_{O2P1} + 0,038 * X_{O2P2} + 0,033 * X_{O2P3} \quad (2)$$

где Y_{O1P1} – дискриминантная функция, характеризующая вероятность снижения латентности волны P1 зВП на вспышку слева под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП. Y – исходные длительности волн зВП слева (O1) и справа (O2). Константа дискриминации, делящая пациентов на две группы, выявлена как значение функции, равноудаленное от центроидов, составивших в группе с отсутствием 1,217, а при наличии понижения латентности волны N2 зВП на вспышку слева (-1,065). Константа дискриминации при этом равна (-0,076). Проведенное сравнение средних значений дискриминантной функции в обеих группах с помощью коэффициента λ Уилкса установило статистически значимые различия ($p=0,029$). Чувствительность модели - 92,9%, специфичность – 93,8%. Компонент P2 зВП отражает первичную обработку поступившего сигнала и формируется в полях 17–18 зрительной коры, а компонент N3 является результатом активности ассоциативной части коры – полей 18 и 19, также он отражает этап анализа зрительной информации [5].

В результате дискриминантного анализа была получена следующая модель (3):

$$Y_{O1P2} = -1,442 + 0,044 * X_{O1N2} - 0,033 * X_{O1N3} + 0,036 * X_{O1P1} - 0,004 * X_{O1P2} + 0,01 * X_{O1P3} - 0,033 * X_{O2N2} - 0,004 * X_{O2N3} + 0,045 * X_{O2P1} - 0,005 * X_{O2P2} + 0,004 * X_{O2P3} \quad (3)$$

где Y_{O1P2} – дискриминантная функция, характеризующая вероятность снижения латентности волны P2 зВП на вспышку слева под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП. Y – исходные длительности волн зВП слева (O1) и справа (O2). Константа дискриминации, делящая участников исследования на две группы, определена как значение

функции, равноудаленное от центроидов, составивших в группе с отсутствием понижения латентности волны N2 зВП на вспышку слева 1,471, а при наличии (-0,809). Константа дискриминации оказалась равна 0,331. При сравнении средних значений дискриминантной функции в обеих группах с помощью коэффициента λ Уилкса, нами установлены статистически значимые различия ($p=0,032$). Чувствительность модели - 90,9%, специфичность – 95%.

Выводы

1. Динамика длительности волн зВП на вспышку под влиянием спелеоклимата зависит от исходных значений длительности волн зВП.

2. Выявлено три кластера в зависимости от исходных параметров зВП. У испытуемых 1 кластера под влиянием спелеотерапии происходило увеличение длительностей волн зВП, справа значимо. У студентов 2 кластера слева длительности волн зВП на вспышку значимо увеличивались, справа – значимо уменьшались. У студентов 3 кластера под влиянием спелеотерапии происходило значимое уменьшение длительностей волн зВП на вспышку.

3. Проведенный дискриминантный анализ позволил получить три прогностические модели вероятности снижения латентности волн N2, P1, P2 зВП на вспышку слева под влиянием спелеотерапии в зависимости от исходных длительностей волн зВП. Чувствительность моделей от 84,6-92,9%, специфичность – 93,8-95%.

4. Полученные данные можно использовать для персонализированного подбора алгоритма профилактических мероприятий с использованием спелеотерапии.

Список литературы

1. Биотехническая система диагностики: верификация результатов регистрации вызванных потенциалов на вспышку света / Жеребцова В.А., Савельев В.В., Коржук Н.Л. [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 9-2. С. 259-268.
2. Бородина У.В. Использование метода вызванных потенциалов для оценки параметров стимула // Ярославский педагог. вестник. 2012. Т. 3, № 4. С. 149-153.
3. Делендик Р.И., Чекан В.Л. Становление и развитие спелеотерапии в мировой практике // Медицинский журнал. 2021. № 4 (78). С. 12-16. <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2021.4.12> 20
4. Кошелев Д.И., Галаутдинов М.Ф., Вахмянина А.А. Опыт применения зрительных вызванных потенциалов на вспышку в оценке функций зрительной системы // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 12(173). С. 181-187.

5. Леонова Е.П., Буторина А.В., Данько О.А., Балдычева Н.В. Спелеоклиматотерапия в медицине и фитнесе // Научная мысль. 2019. Т. 7. № 1 (31). С. 105-108.
6. Макарова И.И., Игнатова Ю.П., Маркова К.Б. Вызванные потенциалы мозга как биоэлектрический феномен, отражающий функциональное состояние нервной системы // Верхневолжский медицинский журнал. 2016. Т. 15, № 3. С. 29-36.
7. Нейрофизиологические методики в мониторинге эффективности нейрореабилитации у детей / Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В., Климкин А.В. [и др.] // Курортная медицина. 2016. № 2. С. 23-26.
8. Объективная оценка применения спелеоклиматических камер из природного сильвинита в профилактике и лечении / Бохан А.Н., Владимирский Е.В., Горбунов Ю.В. [и др.] // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98. № 3-2. С. 51-52. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
9. Пономарева А.В., Распертов М.М., Яковлев М.Ю. Инновационные методы междисциплинарного подхода медицинской реабилитации у детей с бронхиальной астмой // Вестник восстановительной медицины. 2021. Т. 20. № 4. С. 50-56. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-4-50-56>
10. Семилетова В.А. Гендерные отличия параметров зрительных вызванных потенциалов на вспышку под влиянием курса спелеотерапии // Технологии живых систем. 2023. Т. 20, № 1. С. 72-78. <https://doi.org/10.18127/j20700997-202301-08>
11. Семилетова В.А. Изменение параметров зрительных вызванных потенциалов на вспышку под влиянием спелеотерапии // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2022. Т. 19, № 3. С. 48-51. <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2022-19-3-48-51>
12. Ткаченко П.В., Бобынцев И.И. Анализ взаимодействия элементов зрительно-моторной координации с позиций информационного подхода // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2011. Т. 10, № 1. С. 133-138.
13. Файнбург Г.З., Михайловская Л.В. Воздействие калийно-магневых соляных аэродисперсных воздушных сред на организм человека // Безопасность и охрана труда. 2021. № 4(89). С. 65-70. https://doi.org/10.54904/52952_2021_4_65
14. Шульгина Г.И. Анализ нейромедиаторного обеспечения системной организации нейронов головного мозга при обучении: возбуждение, торможение, растормаживание // Успехи физиологических наук. 2008. Т. 39, № 4. С. 14-39.
15. Щербинская Е.С., Синякова О.К., Семушина Е.А. Современные подходы в немедикаментозных методах коррекции состояний организма на примере спелеотерапии в профпатологической практике // Медицина труда и экология человека. 2017. № 2 (10). С. 20 – 23.

16. Barber D., Malyshev Yu., Oluyadi F.I. et al. Halotherapy for Chronic Respiratory Disorders: From the Cave to the Clinical // *Altern Ther Health Med.* 2020. Aug 20; AT6413.
17. Freidl J., Huber D., Braunschmid H. et al. Winter Exercise and Speleotherapy for Allergy and Asthma: A Randomized Controlled Clinical Trial // *J. Clin Med.* 2020. Oct. 15. Vol. 9 (10). P. 3311. <https://doi.org/10.3390/jcm9103311>
18. He-Ping Xie, Ji-Feng Liu, Ming-Zhong Gao et al. The Research Advancement and Conception of the Deep-underground Medicine // *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2018, Mar. Vol. 49 (2). P. 163-168.
19. Kostrzon M., Sliwka A., Wloch T. et al. Subterranean Pulmonary Rehabilitation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease // *Adv Exp Med Biol.* 2019. № 1176. P. 35-46. https://doi.org/10.1007/5584_2019_354
20. Munteanu C. Speleotherapy – scientific relevance in the last five years (2013-2017) – A systematic review // *Balneo research journal.* 2017. Vol. 8. № 4. P. 252-254. <http://dx.doi.org/10.12680/balneo.2017.161>
21. Povazhnaya E.L. Should a doctor take into consideration the influence of climatic factors? Deliberations on the occasion of the publication of a new monograph (the book of essays of arid medicine by Z.R. Zununov, I.H. Nurov, and S.Z. Zununova) // *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult.* 2018, Apr. 9. Vol. 95 (1). P. 60-63. <https://doi.org/10.17116/kurort201895160-63>

References

1. ZHerebcova V.A., Savel'ev V.V., Korzhuk N.L. [et al.]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 9-2, pp. 259-268.
2. Borodina U.V. *Yaroslavskij pedagogicheskij vestnik*, 2012, vol. 3, no. 4, pp. 149-153.
3. Delendik R.I., CHekan V.L. *Medicinskij zhurnal*, 2021, no. 4 (78), pp. 12-16. <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2021.4.12.20>
4. Koshelev D.I., Galautdinov M.F., Vahmyanina A.A. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 12(173), pp. 181-187.
5. Leonova E.P., Butorina A.V., Dan'ko O.A., Baldycheva N.V. *Nauchnaya mysl'*, 2019, vol. 7, no. 1 (31), pp. 105-108.
6. Makarova I.I., Ignatova YU.P., Markova K.B. *Verhnevolzhskij medicinskij zhurnal*, 2016, vol. 15, no. 3, pp. 29-36.
7. Vojtenkov V.B., Skripchenko N.V., Klimkin A.V. [et al.] *Kurortnaya medicina*, 2016, no. 2, pp. 23-26.
8. Bohan A.N., Vladimirovskij E.V., Gorbunov YU.V. [et al.]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kul'tury*, 2021, vol. 98, no. 3-2, pp. 51-52. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>

9. Ponomareva A.V., Raspertov M.M., YAKovlev M.YU. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny*, 2021, vol. 20, no. 4, pp. 50-56. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-4-50-56>
10. Semiletova V.A. *Tekhnologii zhivyyh system*, 2023, vol. 20, no. 1, pp. 72-78. <https://doi.org/10.18127/j20700997-202301-08>
11. Semiletova V.A. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta*, 2022, vol. 19, no. 3, pp. 48-51. <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2022-19-3-48-51>
12. Tkachenko P.V., Bobynceva I.I. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskih sistemah*, 2011, vol. 10, no. 1, pp. 133-138.
13. Fajnburg G.Z., Mihajlovskaya L.V. *Bezopasnost' i ohrana truda*, 2021, no. 4(89), pp. 65-70. https://doi.org/10.54904/52952_2021_4_65
14. SHul'gina G.I. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, 2008, vol. 39, no. 4, pp. 14-39.
15. SHCHerbinskaya E.S., Sinyakova O.K., Semushina E.A. *Medicina truda i ekologiya cheloveka*, 2017, no. 2 (10), pp. 20-23.
16. Barber D., Malyshev Yu., Oluyadi F.I. et al. Halotherapy for Chronic Respiratory Disorders: From the Cave to the Clinical. *Altern Ther Health Med*, 2020, Aug 20; AT6413.
17. Freidl J., Huber D., Braunschmid H. et al. Winter Exercise and Speleotherapy for Allergy and Asthma: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J. Clin Med*, 2020, Oct. 15, vol. 9 (10), p. 3311. <https://doi.org/10.3390/jcm9103311>
18. He-Ping Xie, Ji-Feng Liu, Ming-Zhong Gao et al. The Research Advancement and Conception of the Deep-underground Medicine. *Sichuan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 2018, Mar. vol. 49 (2), pp. 163-168.
19. Kostrzon M., Sliwka A., Wloch T. et al. Subterranean Pulmonary Rehabilitation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Adv Exp Med Biol*, 2019, № 1176, pp. 35-46. https://doi.org/10.1007/5584_2019_354
20. Munteanu C. Speleotherapy – scientific relevance in the last five years (2013-2017) – A systematic review. *Balneo research journal*, 2017, vol. 8, no. 4, pp. 252-254. <http://dx.doi.org/10.12680/balneo.2017.161>
21. Povazhnaya E.L. Should a doctor take into consideration the influence of climatic factors? Deliberations on the occasion of the publication of a new monograph (the book of essays of arid medicine by Z.R. Zununov, I.H. Nurov, and S.Z. Zununova). *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult*, 2018, Apr. 9, vol. 95(1), pp. 60-63. <https://doi.org/10.17116/kurort201895160-63>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Семилетова Вера Алексеевна, к.б.н., доцент, доцент кафедры нормальной физиологии

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко» Министерства здравоохранения Российской Федерации
ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, 394036, Российская федерация
vera2307@mail.ru*

Присный Андрей Андреевич, д.б.н., директор института фармации, химии и биологии, профессор кафедры биологии
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская федерация
prisnyy@bsu.edu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vera A. Semiletova, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Normal Physiology
*N.N. Burdenko Voronezh State Medical University
10, Studencheskaya Str., Voronezh, 394036, Russian Federation
vera2307@mail.ru
SPIN-code: 8330-0064
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7802-6436>
ResearcherID: ABK-1526-2022
Scopus Author ID: 57045896600*

Andrey A. Prisny, Doctor of Biological Sciences, Director of the Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology, Professor of the Department of Biology
*Belgorod National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
prisnyy@bsu.edu.ru
SPIN-code: 2523-4576
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>
ResearcherID: M-9243-2017
Scopus Author ID: 56358999400*

Поступила 01.02.2024

После рецензирования 12.03.2024

Принята 02.04.2024

Received 01.02.2024

Revised 12.03.2024

Accepted 02.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-915

УДК 61; 338; 004



Научные обзоры

ЭТАПЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.А. Крылова

Цифровизация здравоохранения прошла период экспериментов, систематизации и начала масштабного применения в медицине. Современная медицинская помощь использует принципиально новые технологии и эффективно решает клинические, логистические и образовательные задачи системы здравоохранения, действует как рутинный процесс и находится в постоянном динамическом развитии, что требует своевременной оценки и подведения пороговых итогов.

Цель. На основании обобщения опыта цифровой трансформации здравоохранения выделить основные этапы применения цифровых технологий в современной рутинной практике медицинской помощи и определить базовые тренды развития дистанционной медицины.

Результаты. Проведен анализ данных применения цифровых технологий в практической медицине. Изучены нормативно-правовые акты и их внедрение в сфере дистанционной медицины. Впервые выделены периоды внедрения цифровых технологий в качестве рутинной практики современного здравоохранения. Определены основные характеристики каждого этапа внедрения дистанционных технологий и локус их эффективного применения. Намечены глобальные перспективы дистанционных технологий в медицинской практике.

Заключение. Каждый период цифровой трансформации медицины ознаменовался принципиально новыми технологиями оказания медицинской помощи. Использование методик современной дистанционной медицины в качестве рутинной практики прошло три этапа развития: создание и внедрение цифровых медицинских информационных систем, внедрение телемедицинских консультаций и создание технологий дистанционного мониторинга показателей здоровья. Выделены глобальные перспективы каждого типа дистанционных технологий в практике здравоохранения.

Ключевые слова: цифровая трансформация здравоохранения; этапы развития; глобальные перспективы; обзор литературы

Для цитирования: Крылова И.А. Этапы цифровой трансформации здравоохранения: итоги и перспективы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 426-443. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-915

Scientific Reviews

STAGES OF DIGITAL TRANSFORMATION OF HEALTHCARE: RESULTS AND PROSPECTS

I.A. Krylova

The digitalization of healthcare has gone through a period of experimentation, systematization and the beginning of large-scale application in medicine. Modern medical care uses fundamentally new technologies and effectively solves the clinical, logistical and educational problems of the healthcare system, acts as a routine process and is in constant dynamic development, which requires timely assessment and summing up of threshold results.

Purpose. *Based on a generalization of the experience of digital transformation of healthcare, highlight the main stages of the use of digital technologies in modern routine medical care practice and determine the basic trends in the development of remote medicine.*

Results. *An analysis of data on the use of digital technologies in practical medicine was carried out. Regulatory legal acts and their implementation in the field of distance medicine have been studied. For the first time, periods of introduction of digital technologies as a routine practice of modern healthcare have been identified. The main characteristics of each stage of implementation of remote technologies and the locus of their effective application are determined. Global prospects for remote technologies in medical practice are outlined.*

Conclusion. *Each period of digital transformation of medicine has been marked by fundamentally new technologies for providing medical care. The use of modern remote medicine techniques as a routine practice has gone through three stages of development: the creation and implementation of digital medical information systems, the introduction of telemedicine consultations and the creation of technologies for remote monitoring of health indicators. The global perspectives of each type of remote technologies in healthcare practice are highlighted.*

Keywords: *digital transformation of healthcare; stages of development; global perspectives; literature review*

***For citation.** Krylova I.A. Stages of digital transformation of healthcare: results and prospects. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 426-443. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-915*

Введение

Возникновение дистанционных консультаций ознаменовано первой в мире экспериментальной трансляцией электрокардиограммы в 1905 году для нужд экстренной и военно-полевой медицины [4]. Через период систематизации накопленного опыта и период масштабного применения интерактивных инструментов коммуникации в медицине, наступила эра современного цифрового здравоохранения, использующего принципиально новые технологии, интернет и индивидуальную цифровую диагностическую аппаратуру [4-6; 27]. Неизбежность цифровой трансформации здравоохранения определена ВОЗ и Международным союзом электросвязи [9; 38]. В рамках осуществления политики «Здоровье-2020» ВОЗ отметила ключевую роль общегосударственного подхода с участием всего общества в улучшении здоровья населения [9; 10]. Существенное повышение эффективности медицинской помощи при использовании телемедицинских технологий доказано их применением даже в слаборазвитых и развивающихся странах [38]. Сформированная современная модель дистанционной медицинской помощи эффективно решает насущные клинические, логистические и образовательные задачи национальной системы здравоохранения [4-6, 9, 19, 20, 23-26], действует как рутинный процесс, однако, находится в постоянном динамическом развитии, что требует своевременной углубленной систематизации, тщательной научной оценки и подведения пороговых итогов [9].

Цель

На основании обобщения опыта цифровой трансформации здравоохранения выделить основные этапы применения цифровых технологий в современной рутинной практике медицинской помощи и определить базовые тренды развития дистанционной медицины [4-6; 9].

Материал и методы

Использованы принципы системного эволюционного подхода с анализом исторических и современных данных массового применения цифровых технологий в практической медицине. Изучались нормативно-правовые акты, утвержденные стандарты медицинской помощи и клинические ре-

комендации с участием телемедицинских технологий и практическое их внедрение в сфере применения цифровых технологий в медицине [1-3; 7-9; 11-15; 21-27]. Объект исследования: применение цифровых технологий в медицинской практике. Предмет исследования: цифровые технологии и дистанционная медицина как составная часть трансформации системы здравоохранения. Задачи исследования: оценить опыт цифровой трансформации здравоохранения; выделить основные периоды внедрения цифровых технологий в качестве рутинной практики современного здравоохранения; определить основные типовые характеристики дистанционных технологий и локус их эффективного применения; оценить глобальные перспективы дистанционных технологий как составной части системы здравоохранения.

Результаты и обсуждение

В рамках приоритетных направлений развития Российской Федерации ключевых отраслей экономики и социальной сферы, в том числе сферы здравоохранения в области цифровой трансформации [23; 24] внедрены дистанционные технологии оказания медицинской помощи [3; 9; 11-15; 19; 20-22; 25-27]. Каждый период цифровой трансформации медицины ознаменовался созданием, внедрением и развитием принципиально новых технологий оказания медицинской помощи с применением удаленного обмена информацией [4-6]. Мы смогли выделить следующие основные этапы цифровой трансформации в качестве рутинной практики современного здравоохранения.

Первый этап. Создание и использование цифровых медицинских информационных систем (МИС), которые позволяют создавать единые унифицированные электронные медицинские карты и регистры лиц с определенными заболеваниями [1; 2; 9; 11; 23]. На платформах МИС создана электронная регистратура, с возможностью электронной записи пациентов к врачу, в том числе с использованием цифровых голосовых помощников [9; 26]. В результате этих революционных преобразований реализуется федерального проекта «Создание единого цифрового контура здравоохранения (ЕЦКЗ) на основании Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) в рамках национального проекта “Здравоохранение”» [4; 16; 23; 24; 27], что позволяет объединять медицинские организации в единую информационную сеть. Непосредственно в МИС доставляются данные лабораторных и дополнительных исследований, сгенерированные в цифровом виде цифровой

аппаратурой: диагностическими медицинскими приборами [8; 19; 20; 27]. Кроме того, такие данные можно передавать на цифровых носителях и с помощью электронной почты [19; 20; 25; 27]. В настоящее время вся медицинская документация, включая рецепты на сильнодействующие препараты и препараты, включенные в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов, создается, хранится, передается и обрабатывается в электронном виде [8; 19; 20; 23; 24; 26].

Второй этап. Внедрение телемедицинских консультаций (ТМК). В период пандемии COVID-19 возникла жизненно важная необходимость врачебного дистанционного сопровождения пациентов с форматом удаленного отслеживания показателей их здоровья [8]. При этом пациенты вынужденно быстро научились использовать интернет и цифровые коммуникационные устройства в медицинских целях [1; 9; 38]. Утверждена «Концепция развития телемедицинских технологий в Российской Федерации» [9]. На базе специализированных цифровых платформ по защищенным каналам связи с соблюдением безопасности передачи медицинских данных пациентов осуществляются ТМК видео-, аудиоформата или в виде документированной ТМК [16], которые позволяют осуществлять дистанционную медицинскую помощь в том числе приближая высококвалифицированную медицинскую помощь удаленному населению и более эффективно использовать ресурсы здравоохранения, в том числе в условиях нехватки медицинских кадров в первичном звене здравоохранения [2; 16]. В настоящее время осуществляются клинические ТМК («врач-врач») и пациент-ориентированные ТМК («врач-пациент»), оказавшиеся экономически выгодными на территории РФ [16; 23; 24; 27; 34; 35]. При клинической ТМК медицинские работники имеют возможность обсуждать на расстоянии клинический случай пациента, использовать ТМК в образовательных или организационных целях [16; 23; 34]. При пациент-ориентированных ТМК специалист и пациент взаимодействуют непосредственно друг с другом, в том числе, вынося консилиумные решения при общении отдельных пациентов с медицинскими консилиумами [16; 24; 34]. Возникла необходимость выделения в пациент-ориентированных ТМК понятий «первичная ТМК» и «вторичная ТМК», которые определяют наличие возможности назначения лекарственной терапии консультируемому пациенту [27]. В условиях развития инновационных технологий активно развиваются отдельные специальности в рамках консультирующей телемедицины: телекардиология, телеэндокринология, телепсихиатрия, телехирургия, телесестринство и другие [4-7].

Третий этап. Создание технологий дистанционного мониторинга основных показателей здоровья человека, что повышает доступность качественной медицинской помощи населению и предотвращает развитие обострений и осложнений заболеваний [2; 10; 16]. На основании регулярного контроля физикальных данных с помощью цифрового диагностического оборудования, интегрированного в станцию сбора и передачи информации при помощи Bluetooth-канала в планшетное устройство (HUB) для передачи данных в центр дистанционного мониторинга [21; 22], где эти данные анализируются квалифицированными медицинскими специалистами. Для этих целей могут использоваться как портативные медицинские комплексы с набором специальной аппаратуры, но и носимое мобильное медицинское оборудование, так же и свободное программное обеспечение (например, mHealth) с открытым исходным кодом [17; 25; 26; 36; 37]. При этом портативные медицинские комплексы содержат преимущественно сертифицированное медицинское оборудование [21] и применяются для мониторинга показателей здоровья пациентов, имеющих хронические заболевания и их осложнения. Мобильные приложения и носимые устройства используются для скрининга физиологических показателей здоровья человека с целью наиболее раннего выявления факторов риска хронических заболеваний и своевременной их коррекции в условиях амбулаторной практики [17; 23; 25; 26; 36; 37]. Несомненным преимуществом данной технологии является больший охват диспансерным наблюдением пациентов, включая проживающих в отдаленных от оказывающих услугу медицинских учреждений районах [27; 37].

Глобальные перспективы развития технологий, созданных на каждом этапе развития цифровой медицины. Перспективы цифровизации здравоохранения связаны с дальнейшим развитием уже имеющихся направлений телемедицинских технологий [10]. В современном VUCA-мире трудно предсказать ведущие векторы развития, однако, уже наметившиеся на данный момент с уверенностью можно объединить в три большие группы.

1. Технологии взаимодействия медицинских работников: коммуникаторы и искусственный интеллект, работающие на платформах МИС или самостоятельно в виде пакетов электронных программ. В работе цифровой регистратуры становится актуальным интеллектуальный анализ данных для ранней диагностики инфекционных заболеваний и прогнозирования развития эпидемии по жалобам обращающихся пациентов [27]; с применением возможностей цифровой регистратуры предполагается увеличение скорости кампаний вакцинации. По синдромальному анализу жалоб

(с помощью чат-ботов или голосовых помощников) и данных дополнительных методов исследования с помощью искусственного интеллекта можно установить данные, соответствующие норме. Системами распознавания патологии по изображениям в медицине (рентгенография, КТ, МРТ, УЗИ, лабораторные методы диагностики) [8] можно отсеять не содержащие патологии данные и оформить решение без участия врача. Таким образом, будут выбраны только пациенты с наличием критериев патологии для непосредственного осмотра и ведения врачом, что рационализирует логику маршрута пациента в выборе специалиста или медучреждения. Системы поддержки принятия врачебного решения [3; 23] в нетипичных или редких клинических ситуациях сократят время установления первичного диагноза [33], а также снизят нагрузку на врача при удачном применении технических решений рутинных медицинских процессов [27] в части прогнозирования, выявления и потенциального предотвращения нежелательных явлений.

В перспективе – применение искусственного интеллекта для скрининга часто встречающихся заболеваний. Пакеты программ для электронно-вычислительных машин с интерактивной оценкой факторов риска хронических заболеваний в динамике [3; 23], интегрированные в МИС или в свободном доступе, позволят информировать и мотивировать пациентов к соблюдению врачебных рекомендаций, повысят уверенность пациента в адекватности медицинской помощи, улучшая их социальное благополучие. Такие программы позволят сформировать индивидуальную программу сохранения здоровья и оценить ее результаты в динамике; дадут возможность рассчитать тенденции развития здоровья для всей выбранной популяции [34]; что позволит существенно снизить бремя хронических заболеваний. Создаются «системы умного осмотра» - для распознавания заболеваний по наличию ассиметрии двигательных функций мимической мускулатуры, васкуляризации кожи и цвету лица и его анатомическим особенностям в сочетании с жалобами пациента. Создадутся системы поддержки принятия врачебных решений для выбора метода фармакотерапии и совместимости препаратов. На основе анализа больших данных возможно создание виртуального двойника человека для цифрового прогнозирования состояния, развития заболеваний и результатов применения тех или иных методов медикаментозных, терапевтических или хирургических вмешательств.

Базы данных цифровых регистратур позволят эффективно проводить клинические испытания, объединяя разрозненные сведения первичной ме-

дицинской помощи [34]. Синхронизация рабочих мобильных устройств (планшет и смартфон) врача и пациента по защищенному каналу связи с электронными МИС обеспечит доступ к личным медицинским картам, что уже используется в отдельных медицинских учреждениях [19; 20; 25]. Кроме того, с помощью цифровых технологий возможно проведение оценки пациентами качества оказываемых медицинских услуг [19; 20; 25; 26].

2. *Технологии дистанционного ведения пациентов с хроническими заболеваниями.* Для пациентов с имеющимися хроническими заболеваниями наиболее перспективными являются ТМК с курирующим специалистом [16] и дистанционный длительный мониторинг в рамках диспансерного наблюдения. Прогнозируется активное использование индивидуальных ТМК всех видов для решения вопросов иммунизации и профилактики, охраны материнства и детства, санитарного просвещения населения. Наиболее перспективным направлением является массовое создание телемедицинских «школ пациента», создаваемых по нозологическому или проблемному принципу, в которых могут решаться насущные медицинские вопросы во всех группах населения: от дородового патронажа и ухода за новорожденным до реабилитации пациентов вследствие осложнений хронических заболеваний и осуществления паллиативной помощи на дому. Отдельными клиниками [17] в настоящее время применяются цифровые методы взаимодействия с пациентами в виде оснащения их электронными триггерами предупреждения и напоминания [26]; анализами отчетов дистанционного мониторинга [21]; программами мониторинга поведенческих паттернов пациентов (преимущественно для борьбы с вредными привычками) [17; 36]. Создаются системы телеприсутствия, «умная одежда» с датчиками для дистанционной передачи данных, телемедицинские роботизированные технологии, применяемые в восстановительной медицине и реабилитации (экзоскелеты и мультисенсорные тренажеры, роботизированные протезы и роботизированные технологии общения с человеком), роботы-помощники для осуществления бытовых функций и телемедицинские роботы для поддержания жизнеобеспечения при оказании паллиативной помощи.

Все преимущества дистанционного ведения пациентов применяются не только в популяции людей, но уже используются в ветеринарной практике Великобритании: для записи индивидуальных отчетов о каждом посещении животного; для изучения эффективности противомикробных препаратов; факторов риска развития рака и наследственных заболеваний у собак и кошек.

3. *Технологии ведения здоровых пациентов.* Ранняя профилактика и внедрение правил создания здоровой среды с помощью «Smart»-технологий или компенсации изначально неполноценных функций при врожденных аномалиях развития или частично утраченных вследствие перенесенных травм в течение жизни позволяет расширить возможности медицины в продлении лет здоровой жизни пациентов. Перспективным направлением ведения здоровых пациентов является «движение» от максимального применения дистанционного мониторинга для целей третичной профилактики к активному его применению для целей вторичной, и более всего, первичной профилактики [38]. Это может реализоваться в конечном счете, в создании полноценной персонализированной медицины в виде осуществления полного генетического исследования ребенка при рождении (или в антенатальном периоде) с индивидуальным прогнозированием развития заболеваний и применения медицинских чипов для динамического отслеживания поведенческих особенностей [7; 13-15] и определенных показателей здоровья [12] и своевременной коррекции их нарушений в течение жизни.

Недостатками развития цифровых технологий в здравоохранении можно считать наличие рисков сохранения безопасности при передаче медицинских данных в другие государственные структуры [16; 28-32]; непредсказуемые пока последствия ошибок в работе комплексной технологической системы в результате взаимодействия человека и электронно-вычислительной машины или при проектировании организации системы [39]. Рынок электронного здравоохранения развивается быстрее нормативно-правовых актов стандартов цифровых услуг [28], поэтому становятся наиболее актуальными этико-культурологические вопросы его применения. Актуальной проблемой остается повышение цифровой грамотности населения и снижение социального неравенства при использовании современной техники и цифровой медицинской аппаратуры [17]. Отсутствие устойчивости финансовых и технических ресурсов, отсутствие технологической грамотности населения, в том числе, связанной с особенностями культуры определенных этносов [10]. Социально уязвимые группы населения чаще имеют хронические заболевания [18] и в большей мере нуждаются в медицинском вмешательстве на современном уровне.

Выводы

Опыт цифровой трансформации здравоохранения позволяет определить периоды внедрения цифровых технологий в современной рутинной

практике медицинской помощи и создать наброски основных векторов развития дистанционной медицины в будущем. Каждый этап цифровой трансформации здравоохранения ознаменовался внедрением принципиально новых технологий оказания современной дистанционной медицинской помощи. На первом этапе созданы и внедрены цифровые медицинские информационные системы, ставшие базой развития других технологий. На втором этапе внедрены телемедицинские консультации, обеспечивающие эффективную коммуникацию между медицинскими работниками и пациентами. На третьем этапе созданы технологии дистанционного мониторинга показателей здоровья. Все созданные методы медицинской помощи находятся во взаимодействии и являются взаимодополняющими друг друга. Одновременно, каждый тип дистанционных технологий имеет свои глобальные перспективы развития.

Реализация все более новых телемедицинских методик происходит с опережением морально-этического и правового регулирования. Существенной проблемой является наличие социального неравенства, которое в части случаев не позволяет в полной мере реализовать все возможности дистанционной медицины. Успех развития и внедрения электронного здравоохранения во многом зависит от полноценного понимания технологий рабочих процессов цифровизации и предвидения потенциальных клинических последствий их внедрения.

Информация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Автор заявляет об отсутствии спонсорства.

Список литературы

1. Абдуллаев Р.Б., Якубова А.Б. Встречаемость заболеваемости пищеварительной системы у женщин репродуктивного возраста, проживающих в хорезмском вилояте // Журнал гепато-гастроэнтерологических исследований. 2020. № 1. С. 9-18.
2. Абдуллаев Р.Б. Особенности течения язвенной болезни в южном приаралье // International scientific review of the problems of natural sciences and medicine. 2020. №1. С. 64-70
3. Булгакова С.В., Долгих Ю.А., Шаронова Л.А., Косарева О.В., Долгих К.А., Тренева Е.В., Курмаев Д.П. Система поддержки принятия решений по подбору сахароснижающей терапии для пациентов с сахарным диабетом 2

- типа. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2023616603, 30.03.2023. Заявка № 2023614910 от 16.03.2023
4. Владимирский В.А. История телемедицины – первые 150 лет // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2015. №1. С. 1-4.
 5. Владимирский А.В. История телемедицины. LAP. Lambert Academic Publishing: 2014. 407 с.
 6. Владимирский А.В. История телемедицины: люди, факты, технологии. Донецк: ООО «Цифровая типография», 2008. 82 с.
 7. Влияние физической активности на субоптимальный статус здоровья / Крылова И.А., Слободянюк Л.А., Купаев В.И., Нурдина М.С. // Архив внутренней медицины. 2018. № 8. С. 304-312. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2018-8-4-304-312>
 8. В Москве собрана самая большая база КТ-исследований пациентов с COVID-19 URL: <http://www.mos.ru/news/item/74565073/> (дата обращения: 21.01.2024).
 9. Гаспарян С.А., Пашкина Е.С. Страницы истории информатизации здравоохранения России. М.: 2002. 304 с.
 10. Глобальная стратегия в области цифрового здравоохранения на 2020–2025 гг. [Global strategy on digital health 2020-2025]. Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2021 г. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344249/9789240027596-rus.pdf?isAllowed=y&sequence=3> (дата обращения: 21.01.2024).
 11. Гусев А.В., Романов Ф.А., Дуданов И.П. Обзор медицинских информационных систем на отечественном рынке в 2005 году // Медицинский академический журнал. 2005. №5. Приложение 7. С. 72-84.
 12. Краснов Г.С., Булгакова С.В., Кобзарь А.В. Система поддержки оценки гериатрических пациентов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2023617995, 18.04.2023. Заявка № 2023617096 от 06.04.2023
 13. Крылов Д.М., Крылова И.А., Бугаева О.Г. Калькулятор физической активности (шкала IPAQ). Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2023615802, 20.03.2023. Заявка № 2023611298 от 18.01.2023
 14. Крылов Д.М., Крылова И.А., Бугаева О.Г. Опросник субоптимального состояния здоровья SHSQ-25. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2023615271, 13.03.2023. Заявка № 20236132922 от 20.02.2023
 15. Крылов Д.М., Крылова И.А., Бугаева О.Г. Опросник ОДА 23+. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU 2023613291, 14.02.2023. Заявка № 2023611296 от 19.01.2023

16. Методология оценки рисков диагностики и назначения лечения в ходе телемедицинских консультаций пациентов и законных представителей / Владимирский А.В., Лебедев Г.С., Шадеркин И.А., Миронов Ю.Г. // Врач и информационные технологии. 2022. № 2. С. 34-51. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_2_34
17. Никитин П.В., Мурадянц А.А., Шостак Н.А. Мобильное здравоохранение: возможности, проблемы, перспективы // Клиницист. 2015. Т. 9, № 4. С. 13-21. <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2015-9-4-13-21>
18. Мовшович Б.Л., Азизова И.А., Лукоянчева Н.Н. «Проблема пациента» - нозология - вмешательство: базовый алгоритм общей врачебной практики // Здравоохранение Чувашии. 2004. № 2. С. 36-45.
19. Москвичи получили доступ к данным электронной медкарты с мобильных устройств. URL: <http://rg.ru/2020/06/25/reg-cfo/moskvichi-poluchili-dostup-k-dannym-elektronnoj-medkarty-s-mobilnyh-ustrojstv.html> (дата обращения: 21.01.24).
20. Москвичи получили доступ к своим медкартам на Mos.ru. URL: <http://mosgorzdrav.ru/ru-RU/news/default/card/3392.html> (дата обращения: 21.01.24).
21. Научно-практический центр дистанционной медицины. URL: http://clinica.samsmu.ru/employees_department/nauchno-prakticheskij-centr-distancionnoj-mediciny (дата обращения: 21.01.2024)
22. Особенности течения заболеваний среди населения южного приаралья / Кобилев Э.Э., Абдуллаев Р.Б., Турамкулов Ш.Н., Шамирзаев Х.М. // Актуальные проблемы экологии и природопользования. 2021. №22. С. 307-317.
23. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» Указ Президента РФ от 07.05.2018 №204 URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297432/
24. Постановление Правительства РФ от 09.02.2022 №140 «О единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_409253/
25. Рост мобильных приложений в здравоохранении: URL: <http://appcraft.pro/blog/rost-mobilnykh-prilozheniy-dlya-zdorovya/> (дата обращения: 21.01.2024).
26. Современные тенденции развития рынка медицинских информационных систем / Фролов С.В., Маковеев С.Н., Семёнова С.В., Фареев С.Г. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. № 2. С. 266-72.
27. Телемедицина. Доклад о результатах второго глобального обследования в области электронного здравоохранения. URL: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/112505>

28. Третьякова Е.А. Правовые основы регулирования телемедицины // Digital Law Journal. 2020. № 2. С. 44-46.
29. Федеральный закон № 152 от 27.07.2006 г. «О персональных данных». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801 (дата обращения: 21.01.2024).
30. Федеральный закон № 149 от 27.07.2006 г. «Об информации, информационных технологиях и о защите информации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798 (дата обращения: 21.01.2024).
31. Федеральный закон № 63 от 06.04.2011 г. «Об электронной подписи». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701 (дата обращения: 21.01.2024).
32. Федеральный закон № 242 от 29.07.2017 г. «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184 (дата обращения: 21.01.2024).
33. Шевелева О. ЕМИАС – здравоохранение будущего // Врач и информационные технологии. 2012. №6. С. 75-77.
34. Электронные медицинские карты как источник данных реальной клинической практики / Гусев А.В., Зингерман Б.В., Тюфилин Д.С., Зинченко В.В. // Реальная клиническая практика: данные и доказательства. 2022. № 2. С. 8-20. <https://doi.org/10.37489/2782-3784-myrwd-13>
35. Якубова А.Б., Абдуллаев Р.Б. Эффективность диетотерапии для больных хроническим гепатитом в экологически неблагоприятных условиях приаралья // Журнал гепато-гастроэнтерологических исследований. 2020. №1. С. 64-97.
36. Digital Health Market Size By Technology, Telehealth, mHealth, Apps, Health Analytics, Digital Health System (EHR), By Component, Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020-2026. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-health-market> (дата обращения: 21.01.2024).
37. mHealth – «мобильное» здравоохранение в современном мире. URL: <http://habr.com/ru/companies/medgadgets/articles/227159/> (дата обращения: 21.01.2024).
38. Kruse C., Betancourt J., Ortiz S., Valdes Luna S.M., Bamrah T.K., Segovia N. Barriers to the Use of Mobile Health in Improving Health Outcomes in Developing Countries: Systematic Review // J Med Internet. 2019. Vol. 21(10), e13263. <https://doi.org/10.2196/13263>

39. Santell J.P., Hicks R.W., McMeekin J., Cousins DD. Medication errors: experience of the United States Pharmacopeia (USP) MEDMARX reporting system // *J Clin Pharmacol*. 2003. Vol. 43(7). P. 760-767. <https://doi.org/10.1177/0091270003254831>

References

1. Abdullaev R.B., Yakubova A.B. Vstrechaemost' zabolevaemosti pishchevaritel'noj sistemy u zhenshchin reproduktivnogo vozrasta, prozhivayushchih v horezmskom viloyate [The incidence of diseases of the digestive system in women of reproductive age living in the Khorezm region]. *Journal of Hepato-Gastroenterological Research*, 2020, vol. 1, pp. 9-18.
2. Abdullaev R.B. Osobennosti techeniya yazvennoj bolezni v yuzhnom priaral'e [Features of the course of peptic ulcer disease in the southern Aral Sea]. *International scientific review of the problems of natural sciences and medicine*, 2020, vol. 1, pp. 64-70.
3. Bulgakova S.V., Dolgikh Yu.A., Sharonova L.A., Kosareva O.V., Dolgikh K.A., Treneva E.V., Kurmaev D.P. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij po podboru saharosnizhayushchej terapii dlya pacientov s saharным diabetom 2 tipa. [Decision support system for the selection of glucose-lowering therapy for patients with type 2 diabetes mellitus]. *Certificate of registration of a computer program*. RU 2023616603, 03/30/2023. Application No. 2023614910 dated 03/16/2023
4. Vladzimirsky V.A. Istoriya telemeditsiny – pervye 150 let [History of telemedicine - the first 150 years]. *Russian Journal of Telemedicine and Electronic Health*, 2015, vol. 1, pp. 1-4.
5. Vladzimirsky A.V. *Istoriya telemeditsiny* [History of telemedicine]. LAP. Lambert Academic Publishing, 2014, 407 p.
6. Vladzimirsky A.V. *Istoriya telemeditsiny: lyudi, fakty, tekhnologii* [History of telemedicine: people, facts, technologies]. Donetsk: Digital Printing House LLC, 2008, 82 p. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2018-8-4-304-312>
7. Vliyanie fizicheskoy aktivnosti na suboptimal'nyj status zdorov'ya [The influence of physical activity on suboptimal health status] / Krylova I.A., Slobodyanyuk L.A., Kupaev V.I., Nurdina M.S. *Archives of Internal Medicine*, 2018, vol. 8, pp. 304-312.
8. V Moskve sobrana samaya bol'shaya baza KT-issledovaniy pacientov s COVID-19 [The largest database of CT studies of patients with COVID-19 has been collected in Moscow]. URL: <http://www.mos.ru/news/item/74565073/> (accessed January 21, 2024).
9. Gasparyan S.A., Pashkina E.S. *Stranicy istorii informatizatsii zdravoohraneniya Rossii* [Pages of the history of informatization of healthcare in Russia]. M., 2002, 304 p.

10. *Global Digital Health Strategy 2020–2025* [Global strategy on digital health 2020-2025]. Geneva: World Health Organization, 2021. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/344249/9789240027596-rus.pdf?isAllowed=y&sequence=3> (accessed January 21, 2024).
11. Gusev A.V., Romanov F.A., Dudanov I.P. Obzor medicinskih informacionnyh sistem na otechestvennom rynke v 2005 godu [Review of medical information systems on the domestic market in 2005]. *Medical academic journal*, 2005, vol. 5, appendix 7, pp. 72-84.
12. Krasnov G.S., Bulgakova S.V., Kobzar A.V. Sistema podderzhki ocenki geriatricheskikh pacientov. Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM [Assessment support system for geriatric patients]. *Certificate of registration of a computer program*. RU 2023617995, 04/18/2023. Application No. 2023617096 dated 04/06/2023
13. Krylov D.M., Krylova I.A., Bugaeva O.G. Kal'kulyator fizicheskoy aktivnosti (shkala IPAQ) [Physical activity calculator (IPAQ scale)]. *Certificate of registration of a computer program*. RU 2023615802, 03/20/2023. Application No. 2023611298 dated 01/18/2023
14. Krylov D.M., Krylova I.A., Bugaeva O.G. Oprosnik suboptimal'nogo sostoyaniya zdorov'ya SHSQ-25. [Suboptimal Health Questionnaire SHSQ-25]. *Certificate of registration of a computer program*. RU 2023615271, 03/13/2023. Application No. 2023613292 dated 02/20/2023
15. Krylov D.M., Krylova I.A., Bugaeva O.G. Oprosnik ODA 23+. [ODA questionnaire 23+]. *Certificate of registration of a computer program*. RU 2023613291, 02/14/2023. Application No. 2023611296 dated 01/19/2023
16. Vladzimirsky A.V., Lebedev G.S., Shaderkin I.A., Mironov Yu.G. Metodologiya ocenki riskov diagnostiki i naznacheniya lecheniya v hode telemedicinskih konsul'tacij pacientov i zakonnyh predstavitelej [Methodology for assessing the risks of diagnosis and prescribing treatment during telemedicine consultations of patients and legal representatives]. *Doctor and information technology*, 2022, vol. 2, pp. 34-51. https://doi.org/10.25881/18110193_2022_2_34
17. Nikitin P.V., Muradyants A.A., Shostak N.A. Mobile Healthcare Services: Possibilities, Problems, Prospects. *The Clinician*, 2015, vol. 9(4), pp. 13-21. <https://doi.org/10.17650/1818-8338-2015-9-4-13-21>
18. Movshovich B.L., Azizova I.A., Lukoyancheva N.N. "Problema pacienta" - nozologiya - vmeshatel'stvo: bazovyy algoritm obshchej vrachebnoj praktiki. ["Patient's problem" - nosology - intervention: basic algorithm for general medical practice]. *Healthcare of Chuvashia*, 2004, vol. 2, pp. 36-45.
19. *Moskvichi poluchili dostup k dannym elektronnoy medkarty s mobil'nyh ustroystv* [Muscovites gained access to electronic medical record data from mobile devices].

- URL: <http://rg.ru/2020/06/25/reg-cfo/moskvichi-poluchili-dostup-k-dannym-elektronnoj-medkarty-s-mobilnyh-ustrojstv.html> (accessed January 21, 2024).
20. *Moskvichi poluchili dostup k svoim medkartam na Mos.ru* [Muscovites gained access to their medical records on Mos.ru]. URL: <http://mosgorzdrav.ru/ru-RU/news/default/card/3392.html> (accessed January 21, 2024).
 21. *Nauchno-prakticheskij centr distancionnoj mediciny* [Scientific and Practical Center for Remote Medicine] URL: http://clinica.samsmu.ru/employees_department/nauchno-prakticheskij-centr-distancionnoj-mediciny (accessed January 21, 2024).
 22. Osobennosti techeniya zabolevanij sredi naseleniya yuzhnogo priaral'ya [Features of the course of diseases among the population of the southern Aral region]. Kobilov E.E., Abdullaev R.B., Turamkulov Sh.N., Shamirzaev Kh.M. *Current problems of ecology and environmental management*, 2021, vol. 22, pp. 307-317.
 23. «O nacional'nyh celyah i strategicheskikh zadachah razvitiya Rossijskoj Federacii na period do 2024 goda» Ukaz Prezidenta RF ot 07.052.2018 №204 [Scientific and Practical Center for Remote Medicine]. URL: http://clinica.samsmu.ru/employees_department/nauchno-prakticheskij-centr-distancionnoj-mediciny (accessed January 21, 2024)
 24. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 09.02.2022 №140 «O edinoj gos-udarstvennoj informacionnoj sisteme v sfere zdavoohranenija» [“On national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation for the period until 2024”]. *Decree of the President of the Russian Federation* dated 07.052.2018 No. 204. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297432/ (accessed January 21, 2024)
 25. *Rost mobil'nyh prilozhenij v zdavoohranenii* [The growth of mobile applications in healthcare]. URL: <http://appcraft.pro/blog/rost-mobilnykh-prilozheniy-dlya-zdorovya/> (accessed January 21, 2024).
 26. Sovremennye tendencii razvitiya rynka medicinskih informacionnyh sistem [Current trends in the development of the market for medical information systems]. Frolov S.V., Makoveev S.N., Semyonova S.V., Farea S.G. *Bulletin of Tambov State Technical University*, 2010, vol. 2, pp. 266-72.
 27. *Telemedicina. Doklad o rezul'tatah vtorogo global'nogo obsledovaniya v oblasti elektronno go zdavoohranenija* [Telemedicine. Report of the results of the second global eHealth survey]. URL: <http://apps.who.int/iris/han-dle/10665/112505> (accessed January 21, 2024)
 28. Tretyakova E.A. Pravovye osnovy regulirovaniya telemediciny [Legal basis for regulating telemedicine]. *Digital Law Journal*, 2020, vol. 2, pp. 44-46.

29. Federal'nyj zakon № 152 ot 27.07.2006 g. «O personal'nyh dannyh». [Federal Law No. 152 of July 27, 2006 “On Personal Data”]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801 (accessed January 21, 2024).
30. Federal'nyj zakon № 149 ot 27.07.2006 g. «Ob informacii, informacionnyh tekhnologiyah i o zashchite informacii» [Federal Law No. 149 of July 27, 2006 “On information, information technologies and information protection.”] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798 (accessed January 21, 2024).
31. Federal'nyj zakon № 63 ot 06.04.2011 g. «Ob elektronnoj podpisi» [Federal Law No. 63 of 04/06/2011 “On Electronic Signatures”]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112701 ((accessed January 21, 2024).
32. Federal'nyj zakon № 242 ot 29.07.2017 g. «O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii po voprosam primene-niya informacionnyh tekhnologij v sfere ohrany zdorov'ya» [Federal Law No. 242 of July 29, 2017 “On amendments to certain legislative acts of the Russian Federation on the use of information technologies in the field of health protection.”] URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184 (accessed January 21, 2024).
33. Sheveleva O. EMIAS – zdravoohranenie budushchego [EMIAS – healthcare of the future]. *Doctor and information technologies*, 2012, no. 6, pp. 75-77.
34. Elektronnye medicinskie karty kak istochnik dannyh real'noj klinicheskoy praktiki [Electronic medical records as a source of data from real clinical practice]. Gusev A.V., Zingerman B.V., Tyufilin D.S., Zinchenko V.V. *Real clinical practice: data and evidence*, 2022, vol. 2, pp. 8-20. <https://doi.org/10.37489/2782-3784-myrd-13>
35. Yakubova A.B., Abdullaev R.B. Effektivnost' dietoterapii dlya bol'nyh hronicheskim gepatitom v ekologicheski neblagopriyatnyh usloviyah priaral'ya [The effectiveness of diet therapy for patients with chronic hepatitis in environmentally unfavorable conditions of the Aral Sea]. *Journal of Hepato-Gastroenterological Research*, 2020, vol. 1, pp. 64-97.
36. Digital Health Market Size By Technology, Telehealth, mHealth, Apps, Health Analytics, Digital Health System (EHR), By Component, Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast, 2020-2026. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/digital-health-market> (accessed January 21, 2024).
37. mHealth – «mobil'noe» zdravoohranenie v sovremennom mire [mHealth – “mobile” healthcare in the modern world]. URL: <http://habr.com/ru/companies/medgadgets/articles/227159/> (accessed January 21, 2024).

38. Kruse C., Betancourt J., Ortiz S., Valdes Luna S.M., Bamrah T.K., Segovia N. Barriers to the Use of Mobile Health in Improving Health Outcomes in Developing Countries: Systematic Review. *J Med Internet*, 2019, vol. 21(10), e13263. <https://doi.org/10.2196/13263>
39. Santell J.P., Hicks R.W., McMeekin J., Cousins DD. Medication errors: experience of the United States Pharmacopeia (USP) MEDMARX reporting system. *J Clin Pharmacol.*, 2003, vol. 43(7), pp. 760-767. <https://doi.org/10.1177/0091270003254831>

ВКЛАД АВТОРОВ

Автор осуществил сбор и анализ информации, сформулировал обсуждение и выводы, подготовил статью для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The author collected and analyzed information, formulated discussions and conclusions, and prepared an article for publication.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Крылова Ирина Александровна, доцент, кандидат медицинских наук,
доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России
ул. Чапаевская, 89, г. Самара, 443099, Российская Федерация
raznoe.2009@list.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Irina A. Krylova, MD, PhD (Medicine), Associate Professor

*Samara State Medical University
89, Chapaevskaya Str., Samara, 443099, Russian Federation
raznoe.2009@list.ru*

SPIN-code: 2127-5771

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1757-0774>

Research ID: AAN-1402-2020

Scopus Author ID: 57211146156

Поступила 22.01.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 29.03.2024

Received 22.01.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 29.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-979

УДК 616-052



Научная статья

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН «ОТВЕРГНУТОЙ ТАТЬЯНЫ» И СТРЕМЛЕНИЕ К НЕДОСТИЖИМОМУ СТАНДАРТУ КРАСОТЫ У ЖЕНЩИН, РЕШИВШИХСЯ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ХИРУРГИЮ

С.Д. Гуриева, Д.В. Кеплат, Е.А. Юмкина

Статья посвящена изучению особенностей женщин, которые в стремлении к недостижимому стандарту красоты управляют своим внешним видом и телом посредством обращения к услугам пластических хирургов.

***Цель.** На материалах опроса женщин, прибегавшим к пластическим операциям и планирующими это сделать в будущем, раскрыть внутренний конфликт представлений о красоте, разрыв между реальным и идеальным образом «Я», который проявляется в противопоставлении навязанных внешних стандартов красоты и внутренней неудовлетворенности собственным видом.*

***Материалы и методы.** Проведена диагностика 106 респонденток (18-42 года), которые составили две группы: экспериментальную (женщины, принявшие решение о пластической хирургии) и контрольную (женщины, не имеющие желания менять что-либо в своей внешности хирургическим путем). Методы: Фрайбургский личностный опросник (FPI); госпитальная шкала тревоги и депрессии HADS; опросник влияния образа тела на качество жизни (BIQLI); тест «Индекс жизненной удовлетворенности» (ИЖУ), Многомерный опросник исследования самооотношения (МИС); «Самооценка» методика Дембо-Рубинштейна.*

***Результаты.** Женщин, решающих на пластику, отличают более выраженные защитные реакции (замкнутость), большая ригидность образа Я, вытеснение эмоциональных реакций в неосознаваемый пласт психики и внешний контроль эмоций, мстительность. Отношение к собственной внешности в большей степени отчужденное: не чувствуя, что их внутренний мир*

кому-то интересен, они предпочитают сделать ставку на совершенствование внешности. Депрессивные проявления опосредуются компенсаторными связями с ощущением непризнанности, непонятности, а необходимость быть «хозяйкой своей жизни» способствует росту подавленности.

Ключевые слова: пластическая хирургия; представления о красоте; женское тело; Я-концепция; страх отвержения

Для цитирования. Гуриева С.Д., Кеплат Д.В., Юмкина Е.А. Социально-психологический феномен «отвергнутой Татьяны» и стремление к недостижимому стандарту красоты у женщин, решившихся на пластическую хирургию // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 444-464. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-979

Original article

THE SOCIO-PSYCHOLOGICAL PHENOMENON OF “REJECTED TATIANA” AND ASPIRATION TO AN UNATTAINABLE STANDARD OF BEAUTY IN WOMEN WHO HAVE DECIDED TO UNDERGO PLASTIC SURGERY

S.D. Gurieva, D.V. Keplat, E.A. Yumkina

The article is devoted to the study of the characteristics of women who, in pursuit of an unattainable standard of beauty, manage their appearance and body through the services of plastic surgeons.

Purpose. *To reveal the internal conflict of ideas about beauty, the gap between the real and ideal image of the “I” on the materials of a survey of women who have had plastic surgery and plan to do it in the future. This conflict is manifested in the opposition between imposed external standards of beauty and internal dissatisfaction with one’s own appearance.*

Materials and methods. *Diagnostics of 106 female respondents (18-42 years old) was carried out. They made up two groups: experimental (women who made a decision about plastic surgery) and control (women who had no desire to change something in their appearance by surgery). Methods: Freiburg Personality Inventory (FPI); Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS); Body Image Quality of Life Inventory (BIQLI); Life Satisfaction Index (LSI) test, Multidimensional Self-Relationship Inventory (MSI); Dembo-Rubinstein’s “Self-Esteem” method.*

Results. *Women who decide to have plastic surgery are characterized by more pronounced defensive reactions (isolation), greater rigidity of the self-image, displacement of emotional reactions into the unconscious, external control of emotions, and vindictiveness. The attitude to their own appearance is more alienated: not feeling that their inner world is of interest to anyone, they prefer to bet on improving their appearance. Depressive manifestations are mediated by compensatory links with the feeling of unrecognized, incomprehensible, and the need to be “the mistress of one’s life” contributes to the growth of depression.*

Keywords: *plastic surgery; attitudes about beauty; female body; Self-concept; fear of rejection*

For citation. *Gurieva S.D., Keplat D.V., Yumkina E.A. The Socio-Psychological Phenomenon of “Rejected Tatiana” and Aspiration to an Unattainable Standard of Beauty in Women Who Have Decided to Undergo Plastic Surgery. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 444-464. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-979*

Многие пластические хирурги (не только хирурги, но и психологи) задаются вопросом, что движет женщиной, решившей лечь под их скальпель? В качестве одной из наиболее часто упоминающихся причин большого количества пациенток, находится внутренний конфликт и стремление, оказавшись на месте отвергнутой Онегиным Татьяны, вернуть ситуацию, или изменить ее наилучшим для себя образом. По данным опросов, проведенных в хирургических клиниках, значительная часть их пациенток – это разведённые женщины, жаждущие реванша [15]. Было отмечено, что практически у каждой потенциальной и реальной пациентки пластического хирурга в анамнезе есть история неразделённой любви, перенесенных страданий, мучительного ответа на вопрос, почему ее отвергли и/или предпочли другую [27].

У данной категории женщин имеется большой штат «помощников». Так, например, не только привлекательные истории из гляцевых журналов, но и косметологи, стилисты, имиджмейкеры, коучи, консультанты, психологи рекомендуют женщинам для выхода из состояния депрессии сменить свой имидж, причёску, цвет волос, изменить стиль в одежде, сменить гардероб и т.д. Основной девиз – «Измени себя!». Однако многие женщины не останавливаются на изменении гардероба, стиля, цвета волос и т.д., а идут на радикальные меры, обращаются к услугам пластических хирургов. Мы не можем не согласиться с тем, что изменив отношение к себе и представление о себе, повысив самооценку, уверенность,

источая позитивную энергию, положительные эмоции, любая женщина будет вызывать интерес и внимание со стороны мужчин. Основная причина заключается не только в том, как вы выглядите, но и в том, как вы себя чувствуете: психологический настрой, самоотношение, позитивные эмоции – все то, что транслируется наружу и считывается со стороны. Однако этим состоянием может похвастаться лишь незначительная часть «осчастливленных» женщин, перенесших пластическую операцию. Многие становятся постоянными клиентами пластических клиник, операции следуют одна за другой, в поисках достижения несуществующего стандарта красоты и стремления в один день стать и счастливой, и успешной, и самой красивой.

Что является основным триггером, запускающим механизм стремления женщины к недостижимому стандарту сохранения «вечной молодости» и «вечной красоты»? Существует ли альтернативный пластической хирургии инструмент (способ, путь, механизм) оказания психологической помощи? Поиску ответов на обозначенные нами вопросы посвящено данное исследование.

Необходимо отметить, что современная индустрия пластической хирургии в последние годы стала массовой и доступной. Так, по данным исследования Международного общества эстетической пластической хирургии (ISAPS) общее количество хирургических вмешательств в мире возросло на 7,4% в 2019 г. в сравнении с 4% в 2017 г. Российский рынок пластики по количеству реализованных процедур пластической хирургии входит в десятку лидеров [26]. Особенно популярна пластическая хирургия среди женщин, на долю которых приходится примерно 87% всех случаев обращения [9].

Усредненный психологический портрет пациентки пластического хирурга выглядит следующим образом: это в достаточной степени самостоятельная, активная женщина, много времени уделяющая своей внешности. Такие женщины могут быть в социальном плане очень успешны и адаптивны. При этом, их отличает высокий уровень тревоги, депрессивные симптомы, невротические и дисморфофобические расстройства. Примечательно, что пластическая операция может использоваться как средство борьбы с тревогой. Установлено, что повторное обращение к услугам эстетической медицины коррелирует со снижением уровня тревоги [15]. В структуре Я-концепции этих женщин наибольшей выраженностью обладает физический компонент внешности, у них часто наблюдается рассогласование между реальным и идеальным образами в

«физическом Я» и в «социальном Я» [3]. Среди мотивационных факторов, побуждающих женщин сделать операцию, по их собственным оценкам, лидирующее место занимает сексуальная неудовлетворенность, тяжело переносимое чувство одиночества [15]. Данные о том, что преобладающими акцентуациями этих женщин являются истероидные или сенситивные типы, позволяют предположить, что более глубинные мотивы – это потребность в привлечении внимания (у истероидного типа) и социального признания (у сенситивного). Для обоих этих типов крайне невыносимо чувствовать отвержение. Но если у истероидного типа это связано с выраженным эгоизмом, нарциссизмом, то у сенситивного – с глубокой неуверенностью в себе и чувством неполноценности, брошенности, покинутости.

С учетом этих особенностей, остается открытым вопрос – насколько пластическая хирургия способствует улучшению психического состояния личности и повышает профессиональную и социальную успешность? Изучением данных вопросов занимаются такие отечественные и зарубежные исследователи, как В. В. Аникина [1], Л. Т. Баранская [2], А. Г. Леонов [7], В. Э. Медведев [9], К. Ф. Миракян [10], А. А. Осьминина [12], Н. Н. Петрова [14], Н. А. Польская [16], G. Cafri [22], D. B. Sarwer [27], C. Shilling [28], J. K. Thompson [30] и др.

В основе многочисленных попыток определить главный фокус в понимании сути этой проблемы, высвечиваются следующие: отсутствие удовлетворенности собой, активное стремление к счастливой и благополучной жизни. По этой причине, мы решили подойти к решению вопроса о путях улучшения психологического здоровья женщин, решающихся на пластическую операцию, с точки зрения конструкта субъективного благополучия.

В научной социально-психологической литературе существуют различные подходы к концептуализации этого понятия. Оно рассматривается: как сложный, многоуровневый социально-психологический феномен, который включает оценку и отношение человека к жизни и себе (Е. Diener [25], А. Yang [29], Р. М. Шамионов [20], Е. Ф. Яценко [21]); как интегральный показатель, объединяющий удовлетворенность жизнью и ощущение счастья (Г. А. Монусова [11]); как активная позиция личности (А. А. Лебедева [6]); как развивающаяся сеть положительных социальных связей личности (С. А. Дружилов [4]).

Опираясь на модель, предложенную Е. Diener, мы решили провести комплексное социально-психологическое обследование женщин, решившихся

обратиться к пластическому хирургу, и сравнить их показатели с женщинами, которые не испытывают потребности что-либо менять в своей внешности столь радикальным путем. Такой исследовательский дизайн, на наш взгляд, поможет яснее представить «мишени» психологической помощи и сопровождения пациенток эстетической хирургии.

Процедура и методы исследования

Общая выборка респондентов составила 106 женщин в возрасте от 18 до 42 лет. Вся выборка была поделена на две группы:

1 группа, экспериментальная – женщины, принявшие решение о пластической хирургии (n=54);

2 группа, контрольная – женщины, не имеющие желания менять что-либо в своей внешности путем хирургической операции (n=52).

Социально-демографические характеристики выборки представлены в Таблице 1. Основной возраст респонденток группы 1 составляет более 35 лет, большая часть женщин имеет высшее образование, замужем, работают. Основной возраст женщин группы 2 составляет от 26 до 35 лет, большая часть женщин имеет высшее образование, замужем, работает. Таким образом, выборка в достаточной степени уравнена по социально-демографическим характеристикам.

Таблица 1.

Социально-демографические характеристики выборки (%)

	Возраст			Образование			Семейное положение			Занятость	
	18-25 лет	26-35 лет	более 35 лет	высшее	среднее специальное	среднее	замужем	не замужем	в разводе	работает	не работает
1 группа	20,4	33,3	46,3	70,4	24,1	1,9	63,0	18,5	18,5	72,2	27,8
2 группа	19,2	50,0	30,8	67,3	19,2	5,8	57,7	26,9	15,4	65,4	34,6

Методы исследования

(1) Фрайбургский личностный опросник (FPI) в адаптации А. А. Крылова и Т. И. Рогинского [27]; (2) Госпитальная шкала тревоги и депрессии HADS (The hospital Anxiety and Depression Scale) А. S. Zigmond, R. P. Snaith [19]; (3) Опросник влияния образа тела на качество жизни (BIQLI) T.F. Cash [23]; (4) тест «Индекс жизненной удовлетворенности» (ИЖУ) А.

О. Neugarten [18]; (5) Многомерный опросник исследования самооотношения (МИС) Р.С. Пантелеева [17]; (6) «Самооценка» – модифицированная методика Дембо-Рубинштейна.

Гипотезы исследования. Мы предполагали, что женщины, принявшие решение о необходимости хирургической пластической операции, имеют комплекс черт, который маскирует их страх быть отвергнутыми (неважно, реальным лицом или жизнью). При этом неадаптивный, компенсаторный характер будет наблюдаться в структуре качеств, опосредующих снижение или повышение тревоги и депрессивных проявлений этих женщин.

В ходе статистической обработке данных использовались критерий сравнения независимых выборок UМанна-Уитни и корреляционный анализ с применением коэффициента ро-Спирмана. Программное обеспечение IBM SPSS Statistic 22.0.

Результаты эмпирического исследования и их обсуждение

В Таблице 2 представлены результаты сравнительного анализа показателей профиля личности респондентов первой и второй групп (Фрайбургский личностный опросник (FPI) с применением U-критерия Манна-Уитни.

Таблица 2.

Результаты сравнительного анализа показателей профиля личности респондентов первой и второй групп (FPI)

Показатели	Среднее значение		U Манна-Уитни	p
	1 группа (n=54)	2 группа (n=52)		
Невротичность	4,41	3,58	1282,000	0,411
Спонтанная агрессивность	5,46	4,21	871,000	0,001
Депрессивность	5,52	4,75	1035,000	0,018
Раздражительность	5,78	4,31	882,000	0,001
Общительность	5,98	5,46	1237,000	0,285
Уравновешенность	6,37	5,81	1210,000	0,216
Реактивная агрессивность	5,93	5,48	1218,000	0,233
Застенчивость	3,76	5,90	616,500	0,000
Открытость	4,50	6,21	671,500	0,000
Экстраверсия-интроверсия	5,02	6,00	1028,500	0,017
Эмоциональная лабильность	4,44	5,33	916,500	0,002
Маскулинизм-феминизм	5,39	6,12	1105,000	0,056

Из таблицы 2 мы видим, что выявлены статистически значимые различия в личностном профиле респонденток первой и второй групп, которые говорят о следующем: женщины, решившиеся на пластическую хирургию, в большей степени склонны к спонтанным проявлениям агрессии (т.е. безотчетным проявлениям враждебности, мстительности и жестокости), у них выше уровень депрессивности (сниженный фон настроения, мотивации и ощущение собственной неуспешности), они более раздражительны (более подвержены аффективным реакциям). При этом они, в сравнении с контрольной группой, менее застенчивы, более замкнуты, склонны к интроверсии, эмоционально стабильны (то есть не имеют сильных перепадов в настроении). Эти особенности согласуются с данными других авторов [31].

Результаты сравнительного анализа эмоционально-ценностного компонента самосознания двух групп женщин (Табл. 3) показывают наличие статистически значимых различий в закрытости и отраженном самоотношении. Это говорит о том, что женщины из экспериментальной группы, в меньшей степени склонны к осознанию, рефлексии собственной Я-концепции. В то же время, они в большей степени предрасположены считать, что вызывают уважение и симпатию окружающих.

Таблица 3.

Результаты сравнительного анализа эмоционально-ценностного компонента самосознания респонденток первой и второй групп

Показатели	Среднее значение		U Манна-Уитни	p
	1 группа (n=54)	2 группа (n=52)		
Закрытость	7,15	5,08	381,000	0,000
Самоуверенность	8,67	8,69	1318,500	0,570
Саморуководство	7,59	7,60	1355,000	0,754
Отраженное самоотношения	5,96	4,96	1028,000	0,016
Самоценность	9,20	8,63	1116,000	0,051
Самопринятие	8,26	7,79	1107,000	0,054
Самопривязанность	5,13	4,83	1255,500	0,344
Внутренняя конфликтность	4,80	6,04	1078,000	0,038
Самообвинение	3,61	5,10	956,500	0,004

На первый взгляд могут показаться неожиданными различия по шкалам «внутренняя конфликтность» и «самообвинение». Однако, с учетом предыдущих результатов, мы можем предположить, что большая по данным самоотчета внутренняя свобода от конфликтов женщин, решившихся

на пластику, согласуется с более выраженной тенденцией не принимать такую информацию о себе, которая может подорвать имеющийся у них позитивный образ. Следовательно, самообвинение, как форма самокритики, у них за счет этого так же ниже. Иными словами, внутренние противоречия сильнее вытесняются пациентками эстетической хирургии.

Представим результаты сравнительного анализа показателей уровня тревоги и депрессии у женщин, решившихся на пластическую хирургию, (Таблице 4.)

Таблица 4.

Результаты сравнительного анализа показателей уровня тревоги и депрессии у респонденток первой и второй групп

Показатели	Среднее значение		U Манна-Уитни	p
	1 группа (n=54)	2 группа (n=52)		
Тревога	9,07	4,15	221,000	0,000
Депрессия	7,20	3,52	347,500	0,000

Так, уровень тревоги и депрессии существенно выше в экспериментальной группе. Кроме того, уровень тревоги имеет субклиническую выраженность. Иными словами, женщины, решившиеся на пластику, характеризуются высоким уровнем тревожности с преобладанием негативных эмоций и настроений, что не противоречит данным научной литературы [8; 24].

Сравнительный анализ количественной оценки влияния образа тела на качество жизни (Таблице 5) показал, что у женщин, решившихся на пластическую хирургию, восприятие влияния образа тела на качество жизни более негативное по сравнению с восприятием женщин, не испытывающих желания что-то менять в своей внешности.

Таблица 5.

Результаты сравнительного анализа количественной оценки влияния образа тела на качество жизни респонденток первой и второй групп

Показатели	Среднее значение		U Манна-Уитни	p
	1 группа (n=54)	2 группа (n=52)		
BIQLI	0,61	1,85	576,000	0,000

Результаты сравнительного анализа показателей общего психологического состояния женщин (ИЖУ) не выявил значимых отличий, но стоит отметить, что в обеих группах он низкий (таблица 6.)

Таблица 6.

Результаты сравнительного анализа показателей общего психологического состояния респонденток первой и второй групп

Показатели	Среднее значение		U Манна-Уитни	p
	1 группа (n=54)	2 группа (n=52)		
Индекс жизненной удовлетворенности	17,52	19,46	1244,000	0,311

В общем уровне самооценки и жизненных притязаний нами не были обнаружены достоверные отличия, при этом по такому параметру, как «внешность» было выявлено на уровне статистической тенденции ($p < 0.07$), что оценка желаемой внешности у женщин, решившихся на пластическую хирургию, выше, чем у женщин из контрольной группы. Иными словами, они менее удовлетворены текущим состоянием своего внешнего облика.

Учитывая данные о том, что многие из тех женщин, кто обращается к пластическим хирургам, переживают какие-то критические события в своей личной жизни, мы решили внутри экспериментальной и контрольной групп выделить и сравнить подвыборки замужних и незамужних женщин.

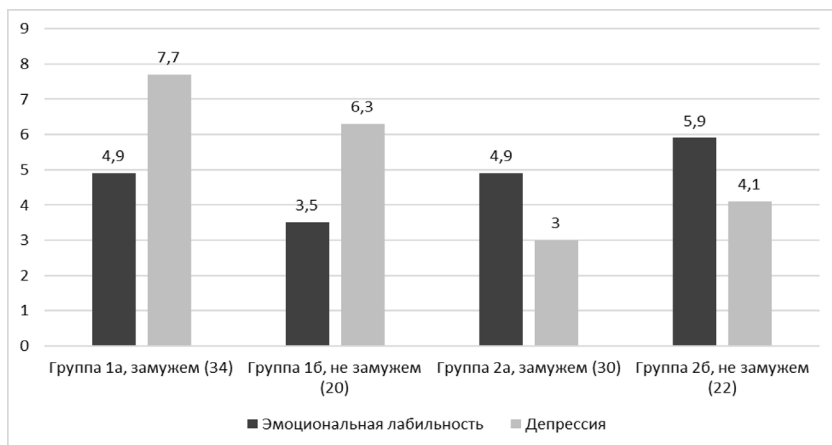


Рис. 1. Сравнение уровня депрессии и эмоциональной устойчивости у экспериментальной и контрольной групп женщин в зависимости от семейного статуса

С помощью критерия U Манна-Уитни были обнаружены статистически значимые различия в показателях эмоциональной лабильности и депрес-

сивности. Так, самый высокий уровень депрессии – в группе замужних женщин, которые готовы сделать пластическую операцию. Самый низкий он среди замужних женщин из контрольной группы. При этом, самый высокий уровень эмоциональной лабильности (то есть склонность к перепадам эмоциональных состояний) среди незамужних женщин из контрольной группы, а самый низкий – среди незамужних в экспериментальной. Данные результаты могут быть интерпретированы таким образом, что пластическая операция у замужних женщин рассматривается как средство разрешения назревающего кризиса в межличностных отношениях или возможности его избежать. Тогда как для незамужних женщин, это в большей степени попытка компенсировать подавляемые внутренние противоречия и самоутвердиться путем изменения своей внешности. Женщины из контрольной группы в целом позволяют себе быть более эмоционально свободными.

Корреляционный анализ показал следующие интересные данные. Так, как и предполагалось, структура связей в экспериментальной выборке женщин (табл. 7) отличается от таковой в контрольной (табл.8).

Таблица 7.

Корреляционные связи между показателями тревоги, депрессии и личностными особенностями женщин, решившихся на пластическую операцию

Параметр	Коррелирующие параметры	ро-Спирмена	Р - уровень значимости
Депрессивность (личностная)	Саморуководство	0,312	p<0,05
	Положительная оценка	-0,367	p<0,01
	Спонтанная агрессия	0,292	p<0,05
Депрессия (ситуационная)	Самоценность	0,282	p<0,05
Тревога	Общий фон настроения	0,425	p<0,01
	Сотрудничество	0,281	p<0,05

Более высокий уровень личностной депрессивности (FPI) в экспериментальной группе женщин опосредуется более высоким уровнем саморуководства и спонтанной агрессии и более низким уровнем положительной оценки собственных качеств. Иными словами, подавленность у этих женщин растет вместе с осознанием, что они не совершенны и что они сами должны быть источником собственной активности и результативности. Это состояние также сопровождается иррациональными проявлениями

агрессии. Ситуационная депрессия у этих женщин связана с чувством самоценности, которое отражает внимание и заботу о своем внутреннем мире (любви, духовности). Чем выше оценивает женщина себя, свой внутренний мир, тем сильнее проявления ситуационной депрессии. Возможно, что усиливает это состояние чувство непризнанности, непоцененности. В отношении тревоги мы видим, что рост ситуационной тревоги у женщин в экспериментальной группе сопровождается, как ни странно, повышенным фоном настроения и стремлением к сотрудничеству.

Таблица 8.

Корреляционные связи между показателями тревоги, депрессии и личностными особенностями женщин, не испытывающих потребность что-то менять во внешности

Параметр	Коррелирующие параметры	ро-Спирмена	P - уровень значимости
Депрессивность (личностная)	Невротичность	-0,515	p<0,01
	Общительность	-0,446	p<0,01
	Реактивная агрессия	0,328	p<0,05
	Открытость	0,302	p<0,05
Депрессия (ситуационная)	Самоценность	-0,373	p<0,01
	Недоверчивость	0,345	p<0,05
	Тревога	-0,340	p<0,05
	Внутренняя конфликтность	0,297	p<0,05
Тревога	Последовательность в достижении целей	-0,373	p<0,01
	Депрессия	-0,340	p<0,05
	Застенчивость	-0,300	p<0,05

Иной характер связей имеют те же параметры у женщин из контрольной группы. Так, личностная депрессивность обратно связана с невротичностью, общительностью и прямо – с реактивной агрессией и открытостью. Получается, что сниженный фон настроения и подавленность у этих женщин тем выше, тем ниже их стремление к контактам при одновременно растущей потребности в доверительных отношениях. При этом усиливается агрессия в ответ на какие-либо раздражающие факторы. То есть у этих женщин агрессия носит рациональный характер.

Ситуационная депрессия так же связана с самоценностью, но с обратным знаком, то есть рост подавленности сопровождается неудовлетворенностью женщиной степенью богатства и разнообразия своего внутреннего

мира. Это согласуется с ростом внутренней конфликтности, недоверчивости при снижении уровня тревоги.

Росту тревоги в контрольной группе женщин сопутствуют переживания жизненных неудач и демонстративный характер поведения (отрицательная связь с застенчивостью).

Таким образом, структура связей в группе женщин, решившихся на пластику, носит во-многом компенсаторный характер. Ощущение непризнанности, непонятости «замораживает» их внутреннюю боль. Необходимость быть «хозяйкой своей жизни» способствует росту подавленности. При этом в ситуации, когда ими ощущается полнота жизни и общения, растет иррациональная тревога скоротечности этого состояния. Мы можем предположить, что за этими тенденциями скрывается глубокая потребность в опеке, признании и эмоциональной близости.

Заключение

Проведенное исследование позволяет нам сделать следующие выводы. Женщины, которые приняли решение прибегнуть к пластической хирургии, отличаются комплексом черт, маскирующим страх быть отвергнутой в близком кругу и страх столкнуться «лицом к лицу» с самой собой. Причем, второй страх оказывается настолько сильным, что вместо того, чтобы обратиться к психологу и выйти на новый уровень в построении межличностных отношений и рефлексии, такие женщины предпочитают любым способом сохранить свое неизменное «Я», невзирая на все побочные эффекты и негативные последствия для здоровья пластических операций.

Мы обнаружили данные, которые дают основания говорить о своеобразном феномене «отвергнутой Татьяны» в отношении женщин, решающихся на пластику и пытающихся таким образом доказать, что они хотят и могут быть успешными, красивыми и любимыми. Этот феномен характеризуется комплексом черт: мощными защитными реакциями (замкнутость), большей ригидностью образа «Я», вытеснением эмоциональных иррациональных реакций в неосознаваемый пласт психики и внешним контролем эмоций, стремлением получить желаемый результат быстро и сейчас. Жизнь в таком состоянии требует большого психического и психологического напряжения. Кроме того, непринятие своей природной внешности, стремление трансформировать и видоизменять ее путем пластических операций, не может не вызывать отчужденность и отстраненность (тело воспринимается как конструкт в достижении желаемого). Путь работы над собой сложный и длительный, иногда более мучительный и

противоречивый, чем операционное вмешательство. А если человек считает, что его природная внешность не представляет интереса (ценности) в глазах окружающих, то в этом случае есть известный и быстрый способ – изменение своей внешности. Данный тезис согласуется с данными других исследований [13].

Мы предполагаем также, что решение о пластической хирургии может иметь, как минимум, два мотивационных побуждения. Первое – это стремление к достижениям (в большей степени движет женщинами, чья профессия зависит от соответствия стандартам красоты – танцовщицы, эстетическая медицина, модельный бизнес). Второе – это мотив страха отвержения, как оборотная сторона мотива аффилиации. Она характерна для женщин, в личной истории которых уже было отвержение, либо они опасаются столкнуться с этим опытом. Данные предположения планируются развить в следующих исследованиях.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами Этического комитета Санкт-Петербургского государственного университета с привлечением людей. Протокол № 115-02-7 от 19.10.2022 (Председатель Этического комитета СПбГУ С.А. Белов).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

Информация о конфликте интересов. У авторов статьи нет конфликта интересов.

Conclusion of the Ethics Committee. The study was conducted in accordance with the principles of the Ethical Committee of St. Petersburg State University in the field of research involving human subjects. Protocol № 115-02-7 dated 19.10.2022 (Chairman of the Ethical Committee of St. Petersburg State University S.A. Belov).

Informed Consent. Informed consent was obtained from all subjects participating in the study.

Information on conflict of interest. The authors of this article have no conflicts of interest.

Список литературы

1. Аникина В. В., Зотова Ю.А. Психиатрия в пластической хирургии // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016. Т. 6. № 5. С. 569.

2. Баранская Л. Т. Клинико-психологический анализ ценностно-смысловой направленности личности пациентов эстетической хирургии // Сибирский психологический журнал. 2008. № 29. С. 57–62.
3. Дементий Л. И., Варлашкина Е. А. Социально-психологический портрет пациенток пластической хирургии // Сибирский психологический журнал. 2010. № 36. С. 90–94.
4. Дружилов С. А. Становление профессионализма как процесс профессионального развития человека и личностное здоровье как его ресурс // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 10-1. С. 118–120.
5. Лабунская, В. А. «Сугубо женская тема» – внешний облик // Российский психологический журнал. 2016. Т. 13. Вып. 2. С. 234–245.
6. Лебедева А. А. Субъективное благополучие лиц с ограниченными возможностями здоровья: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. М., 2012. 26 с
7. Леонов А. Г., Баранская Л.Т., Блохина С.И. Эстетическая хирургия и психология: проблемы экологической валидности // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2005. № 2. С. 87–91.
8. Медведев В. Э. Дисморфический синдром в структуре психических расстройств у пациентов пластического хирурга и косметолога // Психическое здоровье. 2017. № 2 (129). С. 48–55.
9. Медведев В. Э. Психические расстройства с необоснованным недовольством собственной внешностью у пациентов пластического хирурга и косметолога // Психиатрия и психофармакотерапия им. П. Б. Ганнушкина. 2016. № 6. С. 49–54.
10. Миракян К. Ф. Изучение гендерных и социально-психологических аспектов, определяющих зависимость от пластической хирургии // Региональный вестник. 2020. № 15 (54). С. 15–16.
11. Монусова Г. А. Субъективное благополучие и возраст: Россия в контексте международных сравнений // XII Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества: сб. тр. В 4 т. М.: Изд. дом ВШЭ, 2012. Т. 3. С. 98–109.
12. Осьминина, А. А. О современных исследованиях проблемы психологии внешнего облика человека // Вестник КГУ. 2019. № 1. С. 58–63.
13. Пермякова В. А. Красота как социальный конструкт: управление женским телом посредством пластической хирургии //Международный научно-исследовательский журнал. 2022. №. 10 (124). С. 50. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.78>
14. Петрова Н. Н., Калуцкий Н.В., Палантина О.М. Клиническая и психо-социальная характеристика пациентов пластической хирургии // Рос-

- сийский медицинский журнал. 2017. № 23 (6). С. 315–320. <https://doi.org/10.18821/0869-2106-2017-23-6-315-320>
15. Петрова Н. Н., Спесивцев Ю. А., Грибова О. М. Личностно-психологические и психопатологические особенности пациентов эстетической хирургии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2013. № 1. С. 94–103.
 16. Польская, Н. А. Взаимосвязь склонности к модификациям тела с копинг-стратегиями // Вопросы психологии. 2007. № 6. С. 43–53.
 17. Посохова С. Т., Соловьева С. Л. Настольная книга практического психолога. М.: АСТ: Хранитель, 2012. 671 с.
 18. Практикум по экспериментальной и практической психологии: Учеб. пособие / Л. И. Вансовская, В. К. Гайда, В. К. Гербачевский и др.; Под ред. А. А. Крылова. СПб: Издательство С.-Петербургского университета, 1997. 312 с.
 19. Смулевич А. Б. Депрессии в общей медицине: Руководство для врачей. М.: МИА, 2007. 252 с.
 20. Шамионов Р. М. Самосознание и субъективное благополучие личности // Проблемы социальной психологии личности. Саратов: СГУ им. Н. Г. Чернышевского, 2008. С. 36–41.
 21. Яценко Е. Ф. Самоактуализация и субъективное благополучие как социальнопсихологические проблемы профессионального образования: студенты и преподаватели университета // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Психология. 2012. № 31. С. 56–63.
 22. Cafri G., Yamamiya Y., Brannick M., Thompson J. K. The influence of socio-cultural factors on body image: A meta-analysis // Clinical Psychology: Science and Practice, 2005, vol. 12, pp. 421–433. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpi053>
 23. Carr A. D., Harris Ch. J. The Derriford Appearance Scale (DAS-59): A new scale to measure individual responses to living with problems of appearance // British Journal of Health Psychology, 2000, vol. 5, pp. 201–215. <https://doi.org/10.1348/135910700168865>
 24. Cook S. A., Rosser R., Salmon P. Is cosmetic surgery an effective psychotherapeutic intervention? A systematic review of the evidence // J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg., 2006, vol. 59 (11), pp. 1133–1151. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.03.047>
 25. Diener E. Factors predicting the subjective well-being of nations // J. of Personality and Social Psychology, 1995, vol. 69, pp. 851–864. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.69.5.851>
 26. Global Survey from ISAPS // The International Society of Aesthetic Plastic Surgery (ISAPS), 2020. URL: <https://www.isaps.org/wp-content/uploads/2020/12/ISAPS-Global-Survey-2019-Press-Release-English.pdf>

27. Sarwer, D. B. Brown G. K., Evans D. L. Cosmetic breast augmentation and suicide // *The American Journal of Psychiatry*, 2007, vol. 164, no. 7, pp. 1006–1013. <https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.7.1006>
28. Shilling, C. The rise of body studies and the embodiment of society: A review of the field // *Horizons in Humanities and Social Sciences: An International Refereed Journal*, 2016, vol. 2 (1), pp. 1–14. <https://doi.org/10.19089/hhss.v2i1.39>
29. The impact of adult attachment and parental rearing on subjective wellbeing in Chinese late adolescents, ed. A. Yang [et. al.] // *Social Behavior and Personality* [serial online], 2008, vol. 36(10), pp. 1365–1378. <https://doi.org/10.2224/sbp.2008.36.10.1365>
30. Thompson J. K., Heinberg L. J., Altabe M., Tantleff-Dunn S. *Exacting beauty: Theory, assessment, and treatment of body image disturbance*. Washington, DC: American Psychological Association, 1999. <https://doi.org/10.1037/10312-000>
31. Von Soest T., Kvaalem I. L., Roald H. E., Skolleborg K. C. The effects of cosmetic surgery on body image, self-esteem, and psychological problems // *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, 2009, vol. 62 (10), pp. 1238–1244. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2007.12.093>

References

1. Anikina V. V., Zotova Yu. A. *Psikhiatriya v plasticheskoy khirurgii* [Psychiatry in plastic surgery]. *Byulleten' meditsinskikh internet-konferentsiy* [Bulletin of Medical Internet Conferences], 2016, vol. 6, no. 5, p. 569.
2. Baranskaya L. T. *Kliniko-psikhologicheskiy analiz tsennostno-smyslovoy napravlenosti lichnosti patsientov esteticheskoy khirurgii* [Clinical and psychological analysis of value-sense orientation of personality of aesthetic surgery patients]. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal* [Siberian Journal of Psychology], 2008, no. 29, pp. 57–62.
3. Dementiy L. I., Varlashkina E. A. *Sotsial'no-psikhologicheskiy portret patsientok plasticheskoy khirurgii* [Socio-psychological portrait of plastic surgery patients]. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal* [Siberian Journal of Psychology], 2010, no. 36, pp. 90–94.
4. Druzhilov S. A. *Stanovlenie professionalizma kak protsess professional'nogo razvitiya cheloveka i lichnostnoe zdorov'e kak ego resurs* [Professionalization as a process of professional human development and a personal health as its resource]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experiential Education], 2013, no. 10-1, pp. 118–120.
5. Labunskaya V. A. «Sugubo zhenskaya tema» – vneshniy oblik [“A strictly feminine subject” - appearance]. *Rossiyskiy psikhologicheskiy zhurnal* [Russian Journal of Psychology], 2016, vol. 13, no. 2, pp. 234–245.

6. Lebedeva A. A. *Subektivnoe blagopoluchie lits s ogranichennymi vozmozhnostyami zdorov'ya* [Subjective well-being of persons with disabilities]. M., 2012, 26 p.
7. Leonov A. G., Baranskaya L.T., Blokhina S.I. Esteticheskaya khirurgiya i psikhologiya: problemy ekologicheskoy validnosti [Aesthetic surgery and psychology: problems of ecological validity]. *Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki* [Bulletin of the Ural Medical Academic Science], 2005, no. 2, pp. 87–91.
8. Medvedev V. E. Dismorficheskiy sindrom v strukture psikhicheskikh rasstroystv u patsientov plasticheskogo khirurga i kosmetologa [The dysmorphic syndrome in the structure of mental disorders in patients of plastic surgeon and cosmetologist]. *Psikhicheskoe zdorov'e* [Mental health], 2017, no. 2 (129), pp. 48–55.
9. Medvedev V. E. Psikhicheskie rasstroystva s neobosnovannym nedovol'stvom sobstvennoy vneshnost'yu u patsientov plasticheskogo khirurga i kosmetologa [Mental disorders with unreasonable dissatisfaction with one's own appearance in plastic surgeon and cosmetic patients]. *Psikhiatriya i psikhofarmakoterapiya im. P. B. Gannushkina* [Psychiatry and psychopharmacotherapy n.a. P. B. Gannushkin], 2016, no. 6, pp. 49–54.
10. Mirakyan K. F. Izuchenie gendernykh i sotsial'no-psikhologicheskikh aspektov, opredelyayushchikh zavisimost' ot plasticheskoy khirurgii [Study of gender and socio-psychological aspects determining dependence on plastic surgery]. *Regional'nyy vestnik* [Regional Bulletin], 2020, no. 15 (54), pp. 15–16.
11. Monusova G. A. Subektivnoe blagopoluchie i vozrast: Rossiya v kontekste mezhdunarodnykh sravneniy [Subjective well-being and age: Russia in the context of international comparisons]. *XII Mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva* [International scientific conference on the problems of economic and social development]. M. : Izd. dom VShE, 2012, vol. 3, pp. 98–109.
12. Os'minina A. A. O sovremennykh issledovaniyakh problemy psikhologii vneshnego oblika cheloveka [On the modern researches of the problem of psychology of human appearance]. *Vestnik KGU* [Bulletin of the Kostroma State University], 2019, no. 1, pp. 58–63.
13. Permyakova V. A. Krasota kak sotsial'nyy konstrukt: upravlenie zhenskimi telami posredstvom plasticheskoy khirurgii [Beauty as a social construct: managing women's bodies through plastic surgery]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2022, no. 10 (124), p. 50. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.78>
14. Petrova N. N., Kalutskiy N.V., Palantina O.M. Klinicheskaya i psikhosotsial'naya kharakteristika patsientov plasticheskoy khirurgii [Clinical and psy-

- chosocial characteristics of plastic surgery patients]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal], 2017, no. 23 (6), pp. 315–320. <https://doi.org/10.18821/0869-2106-2017-23-6-315-320>
15. Petrova N. N., Spesivtsev Yu. A., Gribova O. M. Lichnostno-psikhologicheskie i psikhopatologicheskie osobennosti patsientov esteticheskoy khirurgii [Personal-psychological and psychopathological characteristics of aesthetic surgery patients]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Meditsina* [Bulletin of St. Petersburg State University. Medicine], 2013, no. 1, pp. 94–103.
 16. Pol'skaya, N. A. Vzaimosvyaz' sklonnosti k modifikatsiyam tela s koping-strategiyami [Relationship of propensity to body modifications with coping strategies]. *Voprosy psikhologii*, 2007, no. 6, pp. 43–53.
 17. Posokhova S. T., Solov'eva S.L. *Nastol'naya kniga prakticheskogo psikhologa* [Handbook of a Practical Psychologist]. M.: AST: Khramitel', 2012, 671 p.
 18. *Praktikum po eksperimental'noy i prakticheskoy psikhologii: Ucheb. Posobie* [Workbook on Experimental and Practical Psychology] / L. I. Vansovskaya, V. K. Gayda, V. K. Gerbachevskiy et al.; ed. A. A. Krylov. SPb: SPbSU Publ., 1997, 312 p.
 19. Smulevich A. B. *Depressii v obshchey meditsine: Rukovodstvo dlya vrachey* [Depression in general medicine: A guide for clinicians]. M.: MIA, 2007, 252 p.
 20. Shamionov R. M. Samosoznanie i sub"ektivnoe blagopoluchie lichnosti [Self-awareness and subjective well-being of the individual]. *Problemy sotsial'noy psikhologii lichnosti* [Problems of social psychology of personality]. Saratov: SGU im. N. G. Chernyshevskogo, 2008, pp. 36–41.
 21. Yashchenko E. F. Samoaktualizatsiya i sub"ektivnoe blagopoluchie kak sotsial'nopsikhologicheskie problemy professional'nogo obrazovaniya: studenty i prepodavateli universiteta [Self-actualization and subjective well-being as socio-psychological problems of professional education: university students and teachers]. *Vestnik YuUrGU* [Bulletin of the South Ural State University]. Ser. Psikhologiya, 2012, no. 31, pp. 56–63.
 22. Cafri G. Yamamiya Y., Brannick M., Thompson J. K. The influence of socio-cultural factors on body image: A meta-analysis. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 2005, vol. 12, pp. 421–433. <https://doi.org/10.1093/clipsy.bpi053>
 23. Carr A. D., Harris Ch. J. The Derriford Appearance Scale (DAS-59): A new scale to measure individual responses to living with problems of appearance. *British Journal of Health Psychology*, 2000, vol. 5, pp. 201–215. <https://doi.org/10.1348/135910700168865>
 24. Cook S. A., Rosser R., Salmon P. Is cosmetic surgery an effective psychotherapeutic intervention? A systematic review of the evidence. *J. Plast. Recon-*

- str. Aesthet. Surg.*, 2006, vol. 59 (11), pp. 1133–1151. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2006.03.047>
25. Diener E. Factors predicting the subjective well-being of nations. *J. of Personality and Social Psychology*, 1995, vol. 69, pp. 851–864. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.69.5.851>
26. Global Survey from ISAPS. *The International Society of Aesthetic Plastic Surgery (ISAPS)*, 2020. URL: <https://www.isaps.org/wp-content/uploads/2020/12/ISAPS-Global-Survey-2019-Press-Release-English.pdf>
27. Sarwer, D. B. Brown G. K., Evans D. L. Cosmetic breast augmentation and suicide. *The American Journal of Psychiatry*, 2007, vol. 164, no. 7, pp. 1006–1013. <https://doi.org/10.1176/ajp.2007.164.7.1006>
28. Shilling, C. The rise of body studies and the embodiment of society: A review of the field. *Horizons in Humanities and Social Sciences: An International Refereed Journal*, 2016, vol. 2 (1), pp. 1–14. <https://doi.org/10.19089/hhss.v2i1.39>
29. The impact of adult attachment and parental rearing on subjective wellbeing in Chinese late adolescents, ed. A. Yang [et. al.]. *Social Behavior and Personality* [serial online], 2008, vol. 36(10), pp. 1365–1378. <https://doi.org/10.2224/sbp.2008.36.10.1365>
30. Thompson, J. K., Heinberg L. J., Altabe M., Tantleff-Dunn S. *Exacting beauty: Theory, assessment, and treatment of body image disturbance*. Washington, DC: American Psychological Association, 1999. <https://doi.org/10.1037/10312-000>
31. Von Soest T., Kvale I. L., Roald H. E., Skolleborg K. C. The effects of cosmetic surgery on body image, self-esteem, and psychological problems. *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.*, 2009, vol. 62 (10), pp. 1238–1244. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2007.12.093>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гуриева Светлана Дзахотовна, доктор психологических наук, профессор, профессор, заведующий кафедрой социальной психологии
Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7/9, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
gurievassv@gmail.com

Кеплат Диана Валерьевна, магистр психологии
Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7/9, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Юмкина Екатерина Анатольевна, кандидат психологических наук,
старший преподаватель кафедры социальной психологии
Санкт-Петербургский государственный университет
Университетская наб., 7/9, г. Санкт-Петербург, Российская Фе-
дерация
ekaterinayum@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana D. Gurieva, Doctor of Psychology, Professor, Professor, Head of the
Department of Social Psychology
St. Petersburg State University
7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, Russian Federation
gurievasv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4305-432X>
SPIN-code: 7849-2577
Scopus AuthorID: 15768862700
ResearcherID: N-7093-2014

Diana V. Keplat, Master of Psychology
St. Petersburg State University
7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, Russian Federation

Ekaterina A. Yumkina, Candidate of Psychological Sciences, Senior Lecturer
at the Department of Social Psychology
St. Petersburg State University
7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, Russian Federation
ekaterinayum@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4539-7235>
SPIN-code: 1528-0964
Scopus AuthorID: 57200223893
ResearcherID: N-2220-2015

Поступила 29.02.2024

После рецензирования 02.04.2024

Принята 10.04.2024

Received 29.02.2024

Revised 02.04.2024

Accepted 10.04.2024

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-876

УДК 338.432



Научная статья

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ
ПРИНЯТИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПЧЕЛОВОДСТВЕ**

*В.В. Кузьменко, А.М. Трошков,
И.П. Кузьменко, И.И. Глотова*

Обоснование. Пчеловодство в настоящее время относится к группе отраслей сельского хозяйства, которые в наименьшей степени оснащены информационными технологиями. Это является одной из главных причин высокой доли применения ручного труда в организации получения меда и сопутствующих ему видов продукции, недостаточной продуктивности пчелосемей, низкой эффективности производства в целом.

Цель работы. Разработка методик расчета показателей, учитывающих влияние внешних факторов на результаты функционирования пасек для обоснования структуры и содержания программной платформы автоматизированного рабочего места специалиста сельского хозяйства, позволяющей прогнозировать объемы получаемой продукции пчеловодства в зависимости от характера рельефа и погодных условий территории.

Материалы и методы. В качестве исходного массива материалов исследования принята совокупность природных характеристик рельефа местности и погодных условий, которые влияют на показатели перемещения пчел в процессах мониторинга окружающей среды и осуществления медосбора. Для обоснования структуры и создания программной платформы автоматизированного рабочего места специалиста пчеловодческого хозяйства применялись методы математического моделирования и алгоритмизации.

Результаты. Разработанная программная платформа апробирована в нескольких сельскохозяйственных организациях Ставропольского края.

Заключение. Полученные количественные характеристики повышения производства меда и воска подтвердили целесообразность ее применения, адаптации к условиям конкретной территории и совершенствования, а также последующего обучения специалистов практическим навыкам работы с программным обеспечением пчеловодческих хозяйств.

Ключевые слова: информационная поддержка; пчеловодческие хозяйства; эффективность управления; оптимальное расположение пасеки

Для цитирования. Кузьменко В.В., Трошков А.М., Кузьменко И.П., Глотова И.И. Разработка программной платформы принятия рациональных управленческих решений в промышленном пчеловодстве // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 465-482. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-876

Original article

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PLATFORM FOR MAKING RATIONAL MANAGEMENT DECISIONS IN INDUSTRIAL BEEKEEPING

*V.V. Kuzmenko, A.M. Troshkov,
I.P. Kuzmenko, I.I. Glotova*

Background. Beekeeping is one of the agricultural sectors where digital technology is not widely utilized. This results in high proportion of manual labor used in production of honey and related products, low productivity of bee colonies and decline in production efficiency in general.

Purpose. To create a methodology leveraging software platforms to help automate and optimize agricultural workplaces. This will bring substantial information and visibility to agricultural specialists/workers which will allow them to predict inventory and other outputs from beekeeping farms and infrastructure. The methodology includes the calculation of indicators, which considers the influence of external factors on the apiaries' performance depending on the terrain and weather conditions.

Materials and methods. The developed methods were derived by making calculations based off environmental variables such as terrain and weather conditions. It

is these variables that affect the movement and migration of bees. During the process of environmental monitoring, honey collection and production were observed and noted as the initial array of research materials. The software platform was designed and optimized leveraging methods of mathematical and data modeling, along with various algorithms were used.

Results. *The new software solution was successfully tested and validated in several agricultural organizations of Stavropolsky region.*

Conclusion. *The obtained quantitative characteristics such as increase of the higher-quality honey and decrease in production costs confirmed the usefulness of applying the newly created technological solution, which will further provide support and propel the beekeeping industry to a higher level of development and advancement.*

Keywords: *information support; beekeeping farms; management efficiency; optimal location of the apiary*

For citation. *Kuzmenko V.V., Troshkov A.M., Kuzmenko I.P., Glotova I.I. Development of a Software Platform for Making Rational Management Decisions in Industrial Beekeeping. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 465-482. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-876*

Введение

Эффективное воспроизводство на отраслевом уровне предполагает безусловную целесообразность активного внедрения инноваций во все сферы экономики. Это относится и к агропромышленному комплексу (АПК) [10; 18], который, к сожалению, в настоящее время несколько уступает другим отраслям в части использования технических нововведений, в том числе инструментов информатизации. В расширении применения цифровых технологий и соответствующих им технических средств заложены резервы значительного повышения продуктивности сельскохозяйственных животных [10], урожайности сельскохозяйственных культур [15; 17], совершенствования работы оборудования обслуживающих и перерабатывающих предприятий, улучшения условий и производительности труда работников, повышения эффективности взаимодействия предприятий АПК с внешними контрагентами [16].

Одной из наименее оснащенных в настоящее время цифровыми инструментами является отрасль пчеловодства, функционирование которой преимущественно определяется природными факторами. Интуиция и опыт обслуживающих пасеки работников также играют немаловажную роль в формировании количественных и качественных показателей продуктивности. За счет применения автоматизированных информационных

технологий можно повысить результативность принятия рациональных управленческих решений, значительно улучшить воспроизводственные возможности пчелосемей, существенно увеличить объемы производства меда и сопутствующей ему продукции [3; 9; 14].

Цель работы

Целью исследования является обоснование структуры и разработка алгоритма расчета показателей, характеризующих результаты функционирования пчеловодческой пасеки как базового элемента отрасли промышленного пчеловодства. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- формализация параметров ландшафта местности, влияющих на условия медосбора и определяющих перспективы его успешной реализации;
- выделение совокупности характеристик неоднородного рельефа местности, которые необходимо учитывать в расчетах показателей функционирования пасеки;
- обоснование методики расчета показателей, учитывающих влияние внешних факторов на результаты функционирования пасеки;
- обоснование структуры и содержания программной платформы автоматизированного рабочего места специалиста сельского хозяйства, позволяющей прогнозировать объемы получаемой продукции пчеловодства в зависимости от характера рельефа и погодных условий территории размещения пасеки.

Материалы и методы исследования.

В качестве исходного массива материалов исследования принимается совокупность природных характеристик рельефа местности и погодных условий, которые влияют на показатели перемещения пчел в процессах мониторинга окружающей среды и осуществления медосбора [2; 11]. Для анализа и описания рельефных особенностей занимаемых территорий, определения размеров ландшафтных препятствий в направлениях движения пчел применялись методы наблюдения, сравнения, картографический, статистический, геоинформационный и другие [5]. Изучение закономерностей пространственного расположения объектов и графические изображения их взаимосвязей были проведены с помощью способов построения изолиний и псевдоизолиний, линейных знаков, локализованных диаграмм, сравнения, точечного. В процессах определения характера влияния погодных условий и ландшафтных особенностей местности на летные ха-

рактики пчел-разведчиков и движение рабочих пчел к медоносам применялись векторный анализ и математическое моделирование [8; 13].

Результаты исследования и их обсуждение

Картографические и географические особенности сельских территорий свидетельствуют о наличии значительного количества ландшафтных препятствий для осуществления медоносного мониторинга растительности. Как правило, рельеф местности не является однородным: низменности чередуются с возвышенностями, причем имеют совершенно разные формы и размеры занимаемой площади. В общем случае рельеф местности следует рассматривать как чередование возвышенных участков с более низко расположенными, и наоборот. Графически это можно выразить сложной циклической линией (рисунок 1).

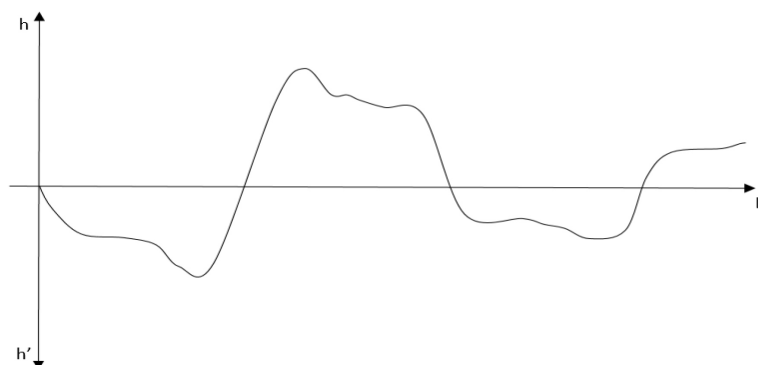


Рис. 1. Графическое представление неоднородного рельефа местности

Таким образом, наличие возвышенных и низко расположенных участков вносит коррективы в расчеты времени и расстояния при осуществлении пчелами-разведчиками мониторинга местности и последующей передачи информации о «координатах» (направлении) движения рабочих пчел к медоносам [7; 12]. В этой связи необходима математическая интерпретация указанных выше территориальных особенностей ландшафта (рисунок 2).

Согласно данным рисунка 2 можно ввести следующие обозначения характеристик рельефа местности:

h_1, h_2 — размеры возвышенности, характеризуемые вектором

L_{1-n} — длина равнины, характеризуемая вектором

$h_{1-n'}$ — размеры низменности, характеризуемые вектором

Табличные значения K_u и K_d будут приниматься в расчет при определении расстояния L перемещения пчел-разведчиков в процессе поиска медоносной растительности. Это можно сделать, воспользовавшись картой местности, и тогда измеренное расстояние следует умножить на взятый по модулю коэффициент подъема или спуска $|K_u|$:

$$L = \begin{cases} L_1 * |K_u| \\ L_1 * |K_d| \end{cases} \tag{4}$$

Таким образом, введение коэффициентов K_u и K_d повышает точность определения суммарного расстояния перемещения пчел-разведчиков в процессе мониторинга местности и поиска растений-медоносов. При использовании зависимости (3) необходимо результат умножать на сумму коэффициентов K_u и K_d :

$$L_{(k)} = [l_1 + l_2 + \dots l_n + (\sum_i n)_1] * (K_u + K_d). \tag{5}$$

При отсутствии возвышенностей K_u приравнивается к нулю, а при отсутствии низменностей K_d становится равным нулю. В реальных условиях, как правило, рельеф местности является неоднородным, поэтому в полетах пчел-разведчиков наблюдаются чередующиеся спуски и подъемы [9].

Учитывая все вышеизложенное, при выполнении расчетов по формуле (5) удобно составить специальную таблицу (табл. 2), пользование которой существенно повысит точность полученных итоговых данных.

Таблица 2.
Последовательность расчета расстояний перемещения пчел-разведчиков
в условиях неоднородного рельефа местности

№	Количество подъемов	Угол подъема	Расчет $L_{l_{(K)}}$	Количество спусков	Угол спуска	$K_u + K_d$
1	N_u (...)	$\uparrow \angle 10^0$	$L_{\angle 10^0} =$	N_d (...)	$\downarrow \angle 10^0 =$	$\sum_1 =$
		$\uparrow \angle 30^0$	$L_{\angle 30^0} =$		$\downarrow \angle 15^0 =$	$\sum_2 =$
		$\uparrow \angle 70^0$	$L_{\angle 70^0} =$		$\downarrow \angle 25^0 =$	$\sum_3 =$
		$\uparrow \angle \pi^0$	$L_{\angle \pi^0} =$		$\downarrow \angle c^0 =$	$\sum_4 =$
2	$L_{l_{(K)}} =$					

Определение параметров времени также удобно производить в табличной форме. Здесь следует учитывать время на перемещение пчел-разведчиков по участкам подъемов, спусков и равнинных отрезков местности.

Используя количественные данные таблиц, можно разработать программные инструменты цифровой поддержки принятия управленческих решений специалистами пчеловодческих хозяйств. Соответствующие автоматизированные рабочие места (АРМ) помогут существенно снизить трудозатраты на перемещение пасек с целью поиска подходящей медоносной растительности и повысить уровень эффективности производства в целом. Руководители и специалисты сельхозпредприятий получают возможность прогнозирования и планирования хозяйственной деятельности, оценки перспектив достижения высокой продуктивности пчелосемей.

Специально разработанная программная платформа поможет существенно сократить затраты времени на проведение анализа структуры посевов сельскохозяйственных культур с позиций реализации их медоносного потенциала. Она значительно улучшит оперативность принятия оптимальных управленческих решений по размещению пасек, гарантирующему высокие сборы меда без изменения их местоположения в течение всего сезона.

Расширение сферы использования информационных технологий в сельском хозяйстве, совершенствование методик проведения анализа состояния биологических объектов и обработки полученных массивов данных существенно влияют на перспективы цифровизации АПК, которая улучшает управляемость технологическими процессами в отрасли, способствует повышению эффективности работы специалистов, занимающихся растениеводством, животноводством, переработкой продукции. В пчеловодстве инструменты цифровизации еще недостаточно активно используются, но также имеют значительные перспективы развития.

Эффективность управления технологическими процессами в пчеловодстве зависит от многих факторов, в том числе: рационального позиционирования пасек соответственно размещению сельскохозяйственных культур, относящихся к категории медоносов; учета ландшафтных особенностей территории; характера «розы ветров» относительно основных траекторий полета пчел. В метеорологии и климатологии роза ветров характеризует режим ветра в данной местности, определенный по результатам многолетних наблюдений. Длины лучей (векторов), расходящихся из общего центра диаграммы в разных направлениях, пропорциональны повторяемости ветров. Роза ветров определяется совокупностью случайных факторов, но позволяет по длине ориентированных в вершины многоугольника векторов выявить направление господствующего или преобладающего ветра. Эту характеристику территории целесообразно учитывать в процессе планирования размещения пасеки и выбора предпочтительной пространственной ориентации ульев.

С помощью розы ветров можно прогнозировать ряд характеристик состояния погоды в месте размещения пчеловодческой пасеки, как систему взаимосвязанных случайных сигналов. В формализованном представлении это могут быть векторные величины:

- изменение погодных условий $\vec{S}$;
- направления господствующих ветров $\vec{M}$;
- суммы атмосферных осадков $\vec{N}$.

Анализ справочной литературы в области ведения практического пчеловодства показывает, что интенсивность летно-опылительной деятельности (ЛОД) существенно зависит от ветровых потоков: направление и скорость ветра может привести к снижению ЛОД, активности пчел и даже стать причиной их потери. Сильный ветер может задержать оплодотворение матки из-за отсутствия благоприятных условий для ее спаривания, так как этот процесс осуществляется при скорости ветра $V_w \leq 18$ км/ч (5 м/с). Кроме того, сильный ветер отрицательно влияет на выход нового роя, снижая летные качества матки. Еще в 1946 году Х.Н. Абрикосов показал, что если в пчеловодстве не учитывать направления господствующих ветров, то расплод в среднем уменьшается на 33%, а количество собранного меда – на 60% [1]. Это свидетельствует о существенной зависимости производственных результатов пчеловодства от погодных факторов, в частности, от преобладающей скорости ветра в местах размещения пасек.

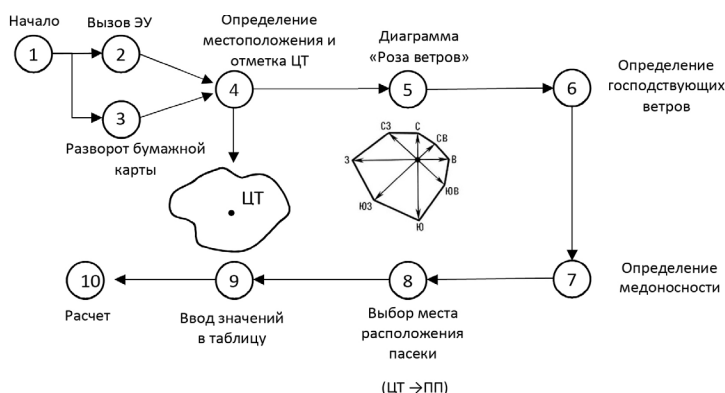


Рис. 3. Алгоритм построения модели системы поддержки принятия решений по выбору места расположения пасеки

С целью проектирования системы поддержки принятия решений в структуре АРМ пчеловода необходимо иметь математическую интерпре-

тацию диаграммы «роза ветров». Она может быть классической, числовой или комбинированной. Последняя является более предпочтительной, так как учитывает одновременно качественные и количественные характеристики, позволяет использовать показатели с разными единицами измерения. В этом случае необходимый для построения модели системы поддержки принятия решений алгоритм можно представить в виде рисунка 3.

Для проведения расчетов на заключительном этапе реализации представленного алгоритма необходимо ввести значения в специальную таблицу (шаг 9). При этом следует учитывать некоторые полученные эмпирическим путем значения скорости (V_1, V_2), а также дальности (S_D, S'_D) полета пчелы:

1. $V_1 \approx 30$ км/ч (наибольшая 40-60 км/ч при вылете из улья);
2. $V_2 \approx 13-22$ км/ч (наибольшая 25 км/ч с нектаром в улей);
3. $S_D = 4-5$ км (на открытой местности);
4. $S'_D = 11$ км (на местности со сложным рельефом).

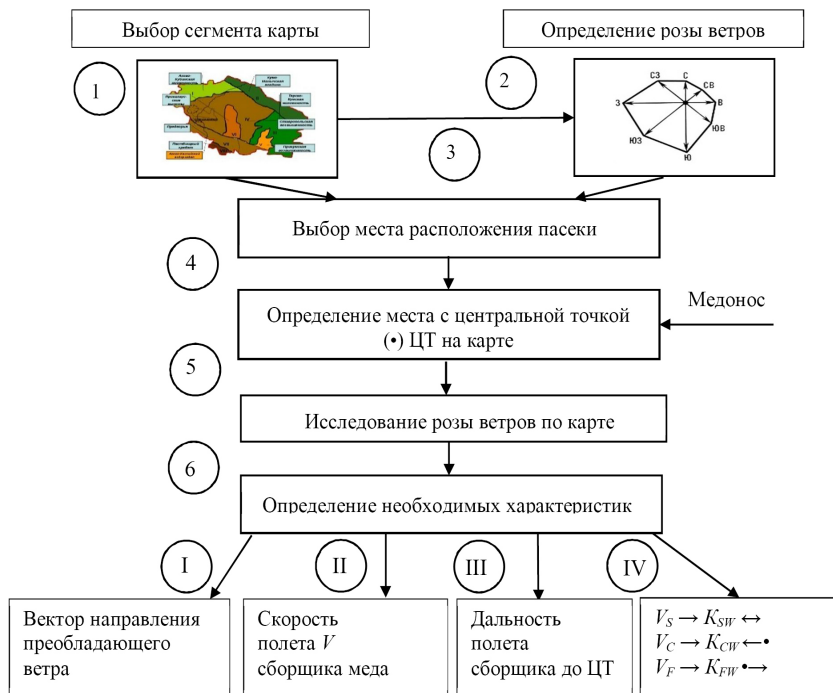


Рис. 4. Алгоритм проектирования программной платформы расчета показателей

Влияние бокового (*S*), встречного (*C*) и попутного (*F*) ветра на характеристики полета пчелы следует учитывать с помощью поправочных коэффициентов, фиксирующих снижающий или увеличивающий скорость эффект, а также соответствующие радиусы мониторинга местности и медосбора:

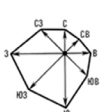
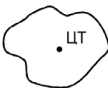
- 1. $V_S \rightarrow V_{SW} \rightarrow K_{SW} \leftrightarrow$ (снижает влево-вправо);
- 2. $V_C \rightarrow V_{CW} \rightarrow K_{CW} \leftarrow \bullet$ прямо (снижает прямо);
- 3. $V_F \rightarrow V_{FW} \rightarrow K_{FW} \bullet \rightarrow$ попутно (увеличивает попутно).

Для создания реализуемой с помощью АРМ специалиста программной платформы расчета показателей, учитывающих территориальные характеристики ветровых потоков, разработан алгоритм цифрового проектирования (рисунок 4).

С использованием шести основных блоков этого алгоритма возможно рассчитать прогнозные показатели работы пасеки, что необходимо для выбора наилучшего места ее расположения и ориентации ульев. Исходные, промежуточные и итоговые данные целесообразно представить в виде специальной таблицы (табл. 3).

Таблица 3.

Данные оптимального выбора места расположения пасеки

№	Сегмент карты	Роза ветров	Положение центральной точки (ЦТ)	Расстояние до ЦТ	Коэффициенты	Скорость
1					$K_{SW} \leftrightarrow$ $K_{CW} \leftarrow \bullet$ $K_{FW} \bullet \rightarrow$	V_w (ветра) $V_1, V_2, \dots, V_n$ (сборщика меда)
	Количественные характеристики розы ветров		Размещение пасеки и ориентация ульев		Время доставки	Вес и объем
2	С, Ю, В, З, СВ, СЗ, ЮВ, ЮЗ		СВ, СЗ, ЮВ, ЮЗ 		$t_{delivery}$ (время доставки) t_{delay} (время задержки)	P G

В рамках реализации известных, а также вышеуказанных методологических и методических положений цифровизации промышленного пчеловодства была разработана специальная программная платформа Worker.bee, апробация которой проведена на базе сельскохозяйственных организаций, в том числе крестьянских (фермерских) хозяйств Новоалексан-

дровского района Ставропольского края. При выборе рациональных мест размещения пасек ООО «САИДА», КФХ Митрофанова И.А., КФХ Калугиной В.А. пользовались информационной платформой Worker.bee, а СПК Колхоз «Родина», КФХ Колесникова Д.А., КФХ Зайцева С.И. применяли традиционные инструменты ведения производства. Медосбор осуществлялся пчелами различного численного и видового составов [4], среди которых доминировали особи двух пород: «Карпатская» и «Серая горная кавказская». Сравнительный анализ результативных показателей в натуральном выражении в расчете на одну пчелосемью проводился в период с 2021 по 2023 годы в совокупности двух основных видов пчеловодческой продукции: меда и воска. Сбор прополиса осуществлялся только двумя пасаками, поэтому при проведении эксперимента нами не учитывался (табл. 4).

Таблица 4.

Эффективность использования платформы Worker.bee в производстве продукции пчеловодства

Показатели	Размещение пасек с применением Worker.bee	Традиционный выбор мест размещений пасек
Сила пчелиных семей карпатской породы при весенней ревизии 2023 г., улочек	6,91	6,98
Сила пчелиных семей породы «Серая горная кавказская» при весенней ревизии 2023 г., улочек	7, 14	7, 02
Среднегодовая медопродуктивность пчелосемьи карпатской породы, кг	70,45	58,26
Среднегодовая медопродуктивность пчелосемьи породы «Серая горная кавказская», кг	78,84	61,51
Получено воска в расчете на 1 пчелосемью карпатской породы, кг/год	2,27	1, 82
Получено воска в расчете на 1 пчелосемью породы «Серая горная кавказская», кг/год	2, 13	1,59

Сила пчелиных семей при весенней ревизии имела примерно равные значения в обеих группах хозяйств, что позволяет сделать вывод о наличии одинаковых стартовых условий организации производства. Существенные различия проявились в результативных показателях получения продукции. Так, использование платформы Worker.bee привело к повышению удельной медопродуктивности пчелиной семьи карпатской породы в 1,21 раза, по сравнению с данными контрольной группы. Также в 1,25 раза увели-

чился удельный показатель получения воска. Пасеки с пчелами породы «Серая горная кавказская» получили меда в 1,28 раза больше, используя разработанную информационную платформу. По воску превышение над контрольной группой оказалось еще более значимым – в 1,34 раза.

Заключение

Предложенные цифровые инструменты поддержки принятия рациональных управленческих решений специалистами сельского хозяйства, занимающимися пчеловодством, позволяют автоматизировать технологические процессы оптимизации размещения и обслуживания пасек. Разработанный алгоритм проектирования программной платформы расчета показателей предусматривает полный комплекс соответствующих операций – от выбора сегмента местности с потенциально медоносной растительностью до определения прогнозных значений объемов получаемой продукции. Соответствующая программная платформа должна быть адаптирована к конкретному региону, учитывать его почвенно-климатические и пространственные особенности. Необходимым условием ее успешного применения является наличие у принимающих управленческие решения специалистов практических навыков работы с программным обеспечением технологических процессов агропромышленного комплекса. Практическое применение предложенного алгоритма и соответствующих ему методических рекомендаций будет способствовать выводу отрасли промышленного пчеловодства на более высокий уровень развития, что выразится в производстве максимального количества качественной продукции меда и сопутствующих продуктов при низких ресурсных затратах.

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

Информация о спонсорстве. Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации программы академического лидерства ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ «Приоритет – 2030».

Список литературы

1. Абрикосов Х.Н. Техника американского пчеловодства. М: ОГИЗ, 1946. 119 с.
2. Аветисян Г. А. Пчеловодство. М: Колос, 1982. 295 с.
3. Вавилова Д. С., Найденышева Е. А., Шашкова И. Г. Цифровые технологии в пчеловодстве // Цифровая экономика: новые вызовы в повышении финансовой грамотности населения: материалы студенческой науч-

- но-практической конференции. Рязань: Рязанский государственный агро-технологический университет им. П.А. Костычева, 2020. С. 22-24.
4. Девяткин А.М., Маркова И.А. Видовой состав и численность одиночных пчёл – опылителей семенной люцерны в Краснодарском крае // Труды Кубанского ГАУ. Выпуск 1(58). Краснодар. 2016. С. 99-107.
 5. Михайлов А. С. Производительность пчелиной семьи и некоторые качества пчел, доступные измерению // Опытная пасека. 1927, № 10. С. 314-317.
 6. Пат. № 2694888 Российская Федерация, МПК G 01 S 13/66. Устройство для автоматического сопровождения объекта слежения/ Герасимов В.П., Сапожников В.И., Ковалев В.Д., Трошков А.М.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ. №2018141481; заявл. 26.11.2018; опубл. 18.07.2019, Бюл. №20. 6с.
 7. Свидетельство № 2015611123. Мониторинг и классификация медоносных растений и садово-ягодных культур: программа для ЭВМ / А.М. Трошков, В.П. Герасимов, В.И. Сапожников; правообладатель ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет (RU). Заявл. 24.11.2014; опубл. 20.02.2015, 1,1 Мб.
 8. Свидетельство №2014610701. Электронное учебное пособие по дисциплине «Информационные технологии в пчеловодстве»: программа для ЭВМ / А.М. Трошков, В.И. Сапожников, В.В. Дальвадянец, Д.С. Фитисов; правообладатель ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет (RU). Заявл. 19.11.2013; опубл. 20.02.2014. 243 Мб.
 9. Современные проблемы пчеловодства и пути их решения / С. Антимиров, О. Верещака, А. Маннапов, О. Антимирова // Пчеловодство. 2016. № 4. С. 9-11.
 10. Стельмашонков Е. В. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив / Е. В. Стельмашонков, В. Л. Стельмашонков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13, № 2. С. 336-365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365>
 11. Теоретическая модель определения направления полета пчел для мониторинга медоносности с/х культур и управления процессом передачи информации в пчелосемью / А.М. Трошков, В.П. Герасимов, В.И. Сапожников, О.Н. Кусакина // Вестник АПК Ставрополя». 2014. № 3(15). С. 45–51.
 12. Трошков А.М., Жук А.П. Концепция цифровизации автоматизированной системы управления биологическим организмом пчелосемьи// Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования: монография. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 182-201.

13. Трошков А.М. Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений пчеловода. / А.М. Трошков, И.П. Кузьменко // Вестник АПК Ставрополя. 2013. №4 (12). С. 146-151.
14. Чупахина О. К. Проблемы современного пчеловодства России/ О.К. Чупахина, Т.С. Беспалова // Пчеловодство. 2020. № 3. С. 3-4.
15. Dovganeva Yu. A. The ecosystem of vertical farms: A conceptual framework / Yu. A. Dovganeva, Yu. V. Katrashova, T. V. Kirillova // Food Systems. 2023. Vol. 6, No. 4. P. 504-511. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-504-511>
16. Kotliarov I. D. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia // Russian Peasant Studies. 2022. Vol. 7, No. 4. P. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
17. Substantiation of the weed control system when placing grain production in microzones of the Central Chernozem region / I. V. Dudkin, N. V. Dolgoplova, D. I. Zhilyakov [et al.] // E3s web of conferences : VIII International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023), Krasnoyarsk, 29–31 марта 2023 года. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023. P. 02011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002011>
18. Trends of evolution of food security: digital transformation, social entrepreneurship and human dignity / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, E. V. Stelmashonok [et al.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 363-391. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391>

References

1. Abrikosov Kh.N. *Tekhnika amerikanskogo pchelovodstva*. [The technique of American beekeeping]. Moscow: OGIZ, 1946, 119 p.
2. Avetisyan G. A. *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. Moscow: Kolos, 1982, 295 p.
3. Vavilova D. S., Naydenysheva E. A., Shashkova I. G. Tsifrovye tekhnologii v pchelovodstve [Digital technologies in beekeeping]. *Tsifrovaya ekonomika: novye vyzovy v povyshenii finansovoy gramotnosti naseleniya: materialy studentcheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii Ryazan'*: Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskii universitet im. P.A. Kostycheva [Digital economy: new challenges in improving financial literacy of the population: materials of the student scientific-practical conference], 2020, pp. 22-24.
4. Devyatkin A.M., Markova I.A. Vidovoy sostav i chislennost' odinochnykh pchel – opyliteley semennoy lyutserny v Krasnodarskom krae [Species composition and number of single pollinating bees of seed alfalfa in the Krasnodar Territory]. *Trudy Kubanskogo GAU*, 2016, iss. 1(58), pp. 99-107.

5. Mikhaylov A. S. Proizvoditel'nost' pchelinyo sem'i i nekotorye kachestva pchel, dostupnye izmereniyu [The productivity of the bee family and some of the qualities of bees that can be measured]. *Opytnaya paseka*, 1927, no. 10, pp. 314-317.
6. Pat. No. 2694888 Russian Federation, IPC G 01 S 13/66. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo soprovozhdeniya ob'ekta slezheniya [Device for automatic tracking of a tracking object]. V.P. Gerasimov, V.I. Sapozhnikov, V.D. Kovalev, A.M. Troshkov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, No. 2018141481. Appl. 26.11.2018. Publ. 18.07.2019. Bul. No. 20. 6 p.
7. Certificate No. 2015611123. Monitoring i klassifikatsiya medonosnykh rasteniy i sadovo-yagodnykh kul'tur: programma dlya EVM [Monitoring and classification of honey plants and horticultural crops: computer program]. A.M. Troshkov, V.P. Gerasimov, V.I. Sapozhnikov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University, Appl. 24.11.2014; Publ. 20.02.2015, 1,1 Mb.
8. Certificate No. №2014610701. Elektronnoe uchebnoe posobie po distsipline «Informatsionnye tekhnologii v pchelovodstve»: programma dlya EVM [Electronic textbook for the discipline "Information technologies in beekeeping": computer program]. A.M. Troshkov, V.I. Sapozhnikov, V.V. Dal'vadyants, D.S. Fitsov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian University. Appl. 19.11.2013. Publ. 20.02.2014. 243 Mb.
9. Antimirov S., Vereshchaka O., Mannapov A., Antimirova O. Sovremennyye problemy pchelovodstva i puti ikh resheniya [Modern problems of beekeeping and ways to solve them]. *Pchelovodstvo*, 2016, no. 4, pp. 9-11.
10. Stelmashonok, E. V., Stelmashonok, V. L. Digital transformation of the agro-industrial complex: analysis of prospects / E. V. Stelmashonok, V. L. Stelmashonok. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 336-365. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365>
11. Troshkov A.M., Gerasimov V.P., Sapozhnikov V.I., Kusakina O.N. Teoreticheskaya model' opredeleniya napravleniya poleta pchel dlya monitoringa medonosnosti s/kh kul'tur i upravleniya protsessom peredachi informatsii v pchelosem'yu [A theoretical model for determining the direction of flight of bees for monitoring the honey yield of agricultural crops and controlling the process of transmitting information to the bee family]. *Agricultural bulletin of Stavropol region*, 2014, no. 3(15), pp. 45–51.
12. Troshkov A.M., Zhuk A.P. Kontseptsiya tsifrovizatsii avtomatizirovannoy sistemy upravleniya biologicheskimi organizmami pchelosem'ya [The concept of digitalization of the management system of biological organisms of the bee family].

- lization of an automated control system for the biological organism of a bee colony]. *Fundamental'nye osnovy innovatsionnogo razvitiya nauki i obrazovaniya: monografiya* [Fundamental principles of innovative development of science and education: monograph]. Penza: Nauka i Prosveshchenie Publ., 2019, pp. 182-201.
13. Troshkov A.M., Kuz'menko I.P. Informatsionno-analiticheskaya sistema podderzhki prinyatiya resheniy pchelovoda [An information and analytical decision support system for a beekeeper]. *Agricultural bulletin of Stavropol region*, 2013, no. 4 (12), pp. 146-151.
14. Chupakhina O. K., Bespalova T.S. Problemy sovremennogo pchelovodstva Rossii [Problems of modern beekeeping in Russia]. *Pchelovodstvo*, 2020, no. 3. pp.
15. Dovganeva Yu. A. The ecosystem of vertical farms: A conceptual framework / Yu. A. Dovganeva, Yu. V. Katrashova, T. V. Kirillova. *Food Systems*, 2023, vol. 6, no. 4, pp. 504-511. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-504-511>
16. Kotliarov I. D. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia . *Russian Peasant Studies*, 2022, vol. 7, no. 4, pp. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
17. Substantiation of the weed control system when placing grain production in microzones of the Central Chernozem region / I. V. Dudkin, N. V. Dolgoplova, D. I. Zhilyakov [et al.]. *E3s web of conferences: VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023), Krasnoyarsk, March 29-31, 2023*. EDP Sciences: EDP Sciences, 2023, p. 02011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002011>
18. Trends of evolution of food security: digital transformation, social entrepreneurship and human dignity / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, E. V. Stelmashonok [et al.]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 363-391. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кузьменко Владимир Викторович, доктор экономических наук, профессор
ФГАОУ ВО Северо-Кавказский федеральный университет
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
kuzmenko.v.v@mail.ru

Трошков Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
troshkov1954@mail.ru

Кузьменко Ирина Петровна, кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Фе-
дерация
lkip11@mail.ru

Глотова Ирина Ивановна, кандидат экономических наук, доцент
ФГБОУ ВО Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Фе-
дерация
irin-glotova@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vladimir V. Kuzmenko, Doctor of Economics, Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
kuzmenko.v.v@mail.ru

Aleksandr M. Troshkov, Candidate of Technical Science, Associate Professor
Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky lane, Stavropol, 355017, Russian Federation
troshkov1954@mail.ru

Irina P. Kuzmenko, Candidate of Economic Science, Associate Professor
Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky lane, Stavropol, 355017, Russian Federation
lkip11@mail.ru

Irina I. Glotova, Candidate of Economic Science, Associate Professor
Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky lane, Stavropol, 355017, Russian Federation
irin-glotova@yandex.ru

Поступила 04.03.2024
После рецензирования 01.04.2024
Принята 05.04.2024

Received 04.03.2024
Revised 01.04.2024
Accepted 05.04.2024

ОПЫТ РЕГИОНОВ

EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1296

УДК 619:615.3:636.22/.28:618.19-002



Научная статья

НОВЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ
СУБКЛИНИЧЕСКОГО МАСТИТА У КОРОВ

*А.В. Варданян, Э.А. Никогосян, Л.Г. Григорян, К.А. Сукиасян,
В.В. Григорян, А.Р. Акобян, Ж.С. Мелконян*

Обоснование. В связи с широким распространением субклинического мастита коров среди молочного поголовья, и тем, что существующие многочисленные методы его лечения не всегда эффективны, актуальной проблемой ветеринарной медицины является разработка новых, усовершенствованных и эффективных методов лечения этого заболевания.

Цель. Целью исследований является разработка нового метода лечения субклинического мастита коров с использованием антибиотиков широкого спектра действия и иммуностимулирующих препаратов

Материал и методы. С целью обнаружения скрытого мастита среди исследуемого поголовья животных методом подсчета соматических клеток в молоке использовали калифорнийский мастит-тест. Были проведены микробиологические исследования молока у больных скрытым маститом коров с целью определения видового состава патогенной микрофлоры, а также определения чувствительности микрофлоры молока к разным антибиотикам.

По принципу аналогов были созданы две группы животных по 10 голов в каждой. Контрольную группу животных лечили препаратами мастисан и бициллин-3. Опытной группе назначили препарат АСД-2, марфлоксин, мастицеф, раствор димексида. До начала и в течение лечения исследовали морфологические и биохимические показатели крови больных животных.

Результаты. Нормализация морфологических и биохимических показателей крови в опытной группе началась уже со 2-ого дня лечения и к 6-ому дню

завершилась, в то время как аналогичные показатели контрольной группы возвращались к норме более медленно.

Заключение. Своевременная диагностика субклинического мастита позволяет эффективно лечить его, предотвращая развитие клинически выраженного мастита.

Применение антибактериальных препаратов совместно с иммуностимулирующими средствами повышает эффективность лечения субклинического мастита. Лечение субклинического мастита с применением марфлоксина, мастицефа, АСД-2 и димексиды позволяет сократить длительность его лечения на 2-3 дня.

Ключевые слова: субклинический мастит; калифорнийский тест; корова; гематологические показатели крови; биохимические показатели крови; микроорганизмы

Для цитирования. Варданян А.В., Никогосян Э.А., Григорян Л.Г., Сукиасян К.А., Григорян В.В., Акобян А.Р., Мелконян Ж.С. Новый метод лечения субклинического мастита у коров // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 483-502. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1296

Original article

NEW METHOD FOR TREATING THE SUBCLINICAL MASTITIS IN COWS

*A.V. Vardanyan, E.A. Nikoghosyan, L.G. Grigoryan, K.A. Sukiasyan,
V.V. Grigoryan, A.R. Hakobyan, Zh.S. Melkonyan*

Background. Given the prevalence of subclinical mastitis in dairy livestock as well as the numerous available methods for treatment which are not always effective, it is an urgent problem for Veterinary Medicine to develop a new, improved and effective method for treatment of this disease.

Purpose. The purpose of this research is to develop a new method for treatment of subclinical mastitis in cows by using the broad-spectrum antibiotics and immunostimulating agents.

Material and methods. We used the California mastitis test to perform the somatic cell count for identification of latent mastitis in the livestock under examination. We carry out microbiological study of the milk taken from affected cows in order to determine the composition of pathogenic microflora species as well as the sensitivity of milk microflora to various antibiotic drugs.

Based on the analogues, we formed two groups, each of 10 animals. The control group of animals was treated with Mastisan and with Bicillin-3. The experimental group was treated with ASD-2, Marfloxin, Masticef, and Dimexide. Before and during treatment, we examined morphological and biochemical parameters of blood of sick animals.

Results. *In the experimental group, recovery of morphological and biochemical parameters of blood started on the 2nd day of treatment already, and it completed by the 6th day. By that day, all biochemical parameters of blood were within the normal limits; while in the control group the same parameters recovered more slowly.*

Conclusion. *Timely diagnosis of subclinical mastitis enables its effective treatment and prevents development of overt mastitis.*

The use of antibacterial drugs with immunostimulating agents increases the effectiveness of treatment of subclinical mastitis. Treatment of subclinical mastitis by using Marfloxin, Masticef, ASD-2 and Dimexide can reduce the duration of treatment by 2-3 days.

Keywords: *Subclinical mastitis; California test; cow; hematological parameters; biochemical parameters; microorganisms*

For citation. *Vardanyan A.V., Nikoghosyan E.A., Grigoryan L.G., Sukiasyan K.A., Grigoryan V.V., Hakobyan A.R., Melkonyan Zh.S. New Method for Treating the Subclinical Mastitis in Cows. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 483-502. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-1296*

Введение

В результате перевода животноводства на промышленную основу, автоматизации производственных процессов возникает ряд проблем, негативно сказывающихся на физиологическом состоянии животных. В частности, у крупного рогатого скота возникают заболевания молочной железы, которые наносят значительный экономический ущерб [6-9; 25].

Почти во всех животноводческих хозяйствах молочного скотоводства остро стоит проблема увеличения поголовья, повышения уровня надоев, а также улучшения качества молока у коров. К сожалению, несмотря на проводимые в последние годы активные меры по лечению и профилактике воспаления молочной железы (мастит), в стаде все еще остается высокий процент заболеваемости животных с дисфункцией молочной железы. По данным многих исследователей заболевание коров маститом может охватывать до 50–60% от общего поголовья стада, у большей части лактирующих коров диагностируется его скрытая (субклиническая) форма, которая встречается гораздо чаще, чем клиническая и достигает до 97% [12; 14-16;

25]. Субклиническая форма мастита может сохраняться в течение 1–2 лактаций при отсутствии своевременного и эффективного лечения. Во всех странах с интенсивным молочным скотоводством Мастит представляет собой хозяйственно-экономическую проблему, поскольку это заболевание, приводит к значительным потерям молока за счет снижения молочной продуктивности, уменьшения сроков хозяйственного использования коров, приводит к ранней выбраковке животных, ухудшает санитарно-технологическое качество молока и молочной продукции, повышает материальные затраты на диагностику, лечение и профилактику этого заболевания [1-5; 24; 26]. Маститы классифицируются по двум типам: инфекционного патогенеза и патогенеза, связанного с внешней средой. Возбудители инфекционного мастита размножаются внутри зараженных долей вымени и способствуют возникновению субклинического мастита, повышая тем самым количество соматических клеток в молоке пораженной четверти, в частности лейкоцитов (преимущественно нейтрофилов) и эпителиальных клеток [10-13; 22; 27].

Подавляющее большинство маститов, имеющих бактериальное происхождение, в 80,0 % случаев вызываются пятью видами бактерий (*Escherichia coli*, *Streptococcus uberis*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus dysgalactiae* и *Streptococcus agalactiae*), которые попадают в молочную железу через кровь, лимфу и молоко и вызывают серозное или катаральное воспаление вымени у коров [17-21].

Развитию мастита способствуют действие высокой и низкой температуры, отсутствие подстилки, сквозняки, солнечные ожоги, недостаточная вентиляция помещения, скученное содержание животных; высокая влажность воздуха, сырые помещения, несоблюдение параметров микроклимата скотного двора, некачественное покрытие полов стойла, отсутствие твердых покрытий на выгульных площадках, колебания температуры в помещениях в течение суток, особенно в весенний и осенний период, разница температуры в доильном зале и коровнике, отсутствие или недостаточное количество подстилочных материалов в боксах для отдыха животных, раздражающее действие химических веществ, в том числе - щелочей, кислот, солей, лекарственных и дезинфицирующих средств; макро- и микротравмы паренхимы (раны, ушибы, царапины, трещины), нарушение технологии машинного доения коров и использование несовершенных доильных установок, совместное содержание здоровых и больных маститом коров, антисанитарные условия содержания коров, возбудители инфекций (туберкулез, ящур, оспа, актиномикоз, некробактериоз), которые

обуславливают поражение вымени, несоблюдение технологии доения, и невыполнение санитарно-гигиенических правил подготовки коров к доению [1-5; 22; 23]. Возбудители мастита проникают в молочную железу коровы тремя путями: галактогенным, гематогенным и лимфогенным.

Галактогенный путь в возникновении мастита является основным. Возникновению мастита данным путем через сосковый канал способствуют наибольшая микробная обсемененность кожи, сосков, нарушение функции соскового канала в результате многочисленных травм, неисправная работа доильной установки и доильного аппарата. В результате микроорганизмы из подсоскового пространства попадают в стерильную полость молочной цистерны коров. Гематогенный путь возникновения мастита бывает при наличии в половых и других органах воспалительных очагов (послеродовые эндометриты, задержание последа и т.д.), когда инфекционный агент заносится в молочную железу через кровь. Лимфогенный путь возникновения мастита имеет место при царапинах, ссадинах, трещинах и повреждениях поверхностных лимфатических сосудов, когда инфекционный агент заносится в молочную железу вместе с лимфой.

Цель исследования

Целью исследований является разработка нового метода лечения субклинического мастита с использованием антибиотиков широкого спектра действия и иммуностимулирующих препаратов, а так же изучение их влияния на морфологические и биохимические показатели крови больных субклиническим маститом коров и на качество молока.

Материал и методы исследования

Задачей наших исследований являлось выявление больных скрытым маститом животных в некоторых регионах Республики Армения, исследование биохимического и морфологического состава крови больных скрытым маститом животных, микробиологические исследования молока у больных скрытым маститом животных, с целью определения видового состава патогенной микрофлоры и ее чувствительности к антибиотикам, лечение больных скрытым маститом животных предложенным нами методом. Исследования проводились в пяти фермерских хозяйствах различных областей Республики Армения, где, с целью обнаружения скрытого мастита было исследовано 180 коров симментальской и кавказской бурой породы. У 60 голов был выявлен скрытый мастит. Обнаружение скрытого мастита было основано на подсчете количества соматических клеток в

молоке с помощью калифорнийского мастит-теста. Сущность метода заключается в том, что небольшое количество молока из каждой четверти вымени смешивается с равным количеством 3%-ного раствора лаурилсульфата натрия, который разрушает клеточную мембрану соматических клеток, присутствующих в пробе молока, ДНК в этих клетках реагирует с тестируемым реагентом. С целью проведения теста сдаивали несколько первых струек молока и выливали для утилизации, затем из каждой четверти вымени коровы сцеживали по две струйки молока в отдельные камеры планшета. Молоко из разных долей вымени смешивать нельзя. Необходимо всегда располагать планшет под коровой одинаково, например, ручкой по направлению к хвосту животного, для ориентирования каждой четверти, чтобы не путаться в какую ячейку с какой четверти вымени выдоить молоко. Лишнее молоко сливали до необходимого уровня и добавляли равный объем реактива, затем перемешивали содержимое с помощью вращательных движений в течение 1 минуты, и интерпретировали тест через 10 секунд. Согласно соответствующей методике по изменению цвета и консистенции смеси молока и калифорнийского теста подсчитывали количество соматических клеток.

С целью определения видового состава патогенной микрофлоры, а также определения чувствительности микрофлоры молока к разным антибиотикам были проведены микробиологические исследования молока у больных скрытым маститом коров. Материалом исследования служили первые порции молока из содержимого соскового канала коров. Пробы молока в количестве не менее 50 мл были помещены в стерильные пробирки, которые после маркировки были доставлены в лабораторию кафедры ветеринарии Национального аграрного университета Армении. Исследуемый материал разводили стерильным физиологическим раствором в соотношении 1:10 и по 0,5 мл высевали на чашки Петри с маннитол-солевым агаром, который является селективной питательной средой. Чашки Петри с питательной средой после посева выдерживали в термостате при температуре 37°C в течение 24 часов.

Были проведены исследования морфологического состава крови больных скрытым маститом коров до и после лечения (количество эритроцитов, лейкоцитов, содержание гемоглобина, скорость оседания эритроцитов). Подсчет количества эритроцитов и лейкоцитов проводился меланжерным способом с помощью камеры Горяева, определение содержания гемоглобина -с помощью гемоглобинометра Сали, определение скорости оседания эритроцитов -с использованием аппарата Панченкова.

Были осуществлены также исследования биохимического состава крови больных скрытым маститом животных до и после лечения (содержание общего белка, белковых фракций, глюкозы, креатинина, мочевины, общего и прямого билирубина, активность АСТ и АЛТ). Изучение содержания общего белка проводили с использованием рефрактометрического метода, определение белковых фракций- методом электрофореза сыворотки кров, содержание глюкозы в крови было определено с использованием метода ферментативной реакции глюкозы и глюкозооксидазы, определение мочевины - реакцией Неслера, креатинина - колориметрическим методом с использованием реакции Яффе, определение билирубина и его фракций в сыворотке крови - методом Клетгорна и Грофа. Активность аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы определяли колориметрическим методом Рейтмана-Френкеля.

По принципу аналогов были созданы две группы животных по 10 голов в каждой.

Контрольную группу животных лечили препаратом мастисан (комбинированный препарат, состоящий из сульфадимидина, бензилпенициллина и стрептомицина), который интрацестернально в количестве 15 мл вводили в пораженную долю вымени в течении 3-5 дней и препаратом бициллин-3 в дозе 10000 ЕД на 1 кг массы, который вводили внутримышечно, двукратно с перерывом 3 дня.

Опытной группе в течение 5-6 дней качестве иммуностимулирующего средства назначили препарат АСД-2, внутрь, 2 раза в день, предварительно растворив 30 мл препарата в 400 мл воды, в качестве антибактериального средства применили антибиотик широкого спектра действия группы фторхинолонов – марфлоксин в дозе 2 мг/кг (1мл на 50 кг массы) внутримышечно, 1 раз в сутки, интрацестернально назначили мастицеф, комбинированный антибиотик состоящий из гентамицина сульфата и цефалексина, вводили 10 г в пораженную четверть вымени в течении 3-5 дней, наружно для санации вымени назначили раствор димексида, в день 2 раза, в течение 3-5 дней.

Фармакологические свойства препаратов, предложенных нами для лечения субклинического мастита:

Марфлоксин

Марфлоксина 10%-ный раствор для инъекций - в качестве действующего вещества содержит 100 мг марбофлоксацина в 1 мл, а в качестве вспомогательных веществ: метакрезол, династрия эдетат, монотиоглицерол, глюконолактон, воду для инъекций.

Препарат представляет собой прозрачный зеленовато-желтый или коричневатого-желтый раствор. Марфлоксина 10%-ный раствор для инъекций выпускают расфасованным по 100 мл в герметически закрытые флаконы из темного стекла, закупоренные резиновыми пробками и обкатанные алюминиевыми колпачками. Марфлоксина 10%-ный раствор для инъекций относится к антибактериальным препаратам группы фторхинолонов.

Препарат обладает широким спектром бактерицидного действия, основанного на подавлении бактериальных ферментов ДНК-гиразы и топоизомеразы IV, участвующих в репликации ДНК микроорганизмов.

Марбофлоксацин, действующее вещество Марфлоксина 10%-ного раствора для инъекций, активен в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, в т.ч. *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*, *Serratia marcescens*, *Morganella morganii*, *Proteus spp.*, *Klebsiella spp.*, *Shigella spp.*, *Pasteurella spp.*, *Haemophilus spp.*, *Moraxella spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Brucella canis*, *Staphylococci*, *Streptococci*, а также *Mycoplasma spp.*

Назначают для лечения крупного рогатого скота при заболеваниях органов дыхания и маститах, вызванных чувствительными к марбофлоксацину штаммами микроорганизмов; для лечения свиней при респираторных заболеваниях бактериальной этиологии и синдроме ММА.

Мастицеф (Masticefum).

По внешнему виду препарат представляет собой слегка расслаивающуюся суспензию от белого до светло-желтого цвета.

В одном шприце (10,0 г) содержится 350,0 мг цефалексина, 35,0 мг гентамицина, вспомогательные вещества, основа до 10,0 г.

Препарат выпускают в одноразовых шприцах из полимерного материала с канюлей для интрацестерального введения номинальной массой 10 г.

Гентамицина сульфат, антибиотик из группы аминогликозидов, обладает широким спектром антимикробного действия, активен в отношении большинства грамотрицательных (*Escherichia coli*, *Enterobacter spp.*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus spp.*) и грамположительных микроорганизмов (*Corynebacterium spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus spp.*, *Listeria monocytogenes*). Антибиотик не действует на анаэробные бактерии, грибы, вирусы, простейших. Цефалексин относится к группе β -лактамовых антибиотиков. Механизм действия заключается в ингибировании биосинтеза клеточной стенки, нарушении проницаемости цитоплазматической мембраны. Спектр действия

схож с аминогликозидными антибиотиками. Антимикробные компоненты препарата обладают синергетическим действием.

Гентамицина сульфат и цефалексин не метаболизируются в организме и при интрацестернальном введении выводятся с молоком.

Препарат применяют крупному и мелкому рогатому скоту при клинических и субклинических формах мастита бактериальной этиологии.

Препарат АСД-2

Раствор для наружного, перорального, интравагинального и внутриматочного применения в виде жидкости от желтого до красновато-коричневого цвета, со специфическим запахом, хорошо смешивающейся с водой, с наличием хлопьевидного осадка от серого до черного цвета.

Препарат АСД фракция 2 содержит: низкомолекулярные органические соединения, включая низшие карбоновые кислоты, их амиды и аммонийные соли, холиновые эфиры карбоновых кислот, холин, первичные и вторичные амины, пептиды, а также неорганические азотистые соединения (соли аммония углекислого, аммония уксуснокислого) и воду. Иммуностимулирующий препарат, полученный путем сухой перегонки мясокостной муки.

Препарат обладает широким спектром биологической активности, повышает активность тканевых и пищеварительных ферментов, обладает антисептическим действием, стимулирует активность ретикулоэндотелиальной и эндокринной систем, нормализует трофику, ускоряет регенерацию поврежденных тканей, участвует в процессах фосфорилирования и синтеза белков, не обладает кумулятивным действием. Назначают сельскохозяйственным животным (в т.ч. - птице) и собакам с лечебной и профилактической целью: при болезнях ЖКТ, органов дыхания, мочеполовой системы, при поражениях кожных покровов, нарушениях обмена веществ, для стимуляции деятельности центральной и вегетативной нервной системы, повышения естественной резистентности у ослабленных и переболевших инфекционными и инвазионными болезнями животных.

Димексид

Концентрат для приготовления раствора для наружного применения 100 мл, содержит 99 г диметилсульфоксида.

Противовоспалительное средство для наружного применения. Механизм действия связан с инактивацией гидроксильных радикалов и улучшением метаболических процессов в очаге воспаления, снижением скорости проведения возбуждающих импульсов в периферических нейронах. Оказывает местноанестезирующее, местное противовоспалительное, анальгетическое

и противомикробное действие; обладает некоторой фибринолитической активностью. Проникает через кожу и другие биологические мембраны, повышает их проницаемость для лекарственных веществ.

Результаты

В таблице 1 отражены результаты гематологических исследований больных субклиническим маститом животных

Таблица 1.

Гематологические показатели больных субклиническим маститом животных до и после лечения, n=10

Показатели	До лечения	Во время лечения						Норма
		Контрольная группа			Опытная группа			
		2-ой день	4-ый день	6-ой день	2-ой день	4-ый день	6-ой день	
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$	3,0 $\pm$ 0,9	3,6 $\pm$ 0,6	4,0 $\pm$ 0,4	4,5 $\pm$ 0,4	3,8 $\pm$ 0,5	4,4 $\pm$ 0,3	6,1 $\pm$ 0,2	5-10
Гемоглобин, г/л	70 $\pm$ 1,3	72 $\pm$ 0,9	75 $\pm$ 0,7	78 $\pm$ 0,4	76 $\pm$ 0,7	80 $\pm$ 0,8	88 $\pm$ 0,3	80-150
СОЭ, мм/ч	20 $\pm$ 1,2	18 $\pm$ 0,9	15 $\pm$ 0,7	7 $\pm$ 0,5	15 $\pm$ 0,8	14 $\pm$ 0,6	6 $\pm$ 0,4	0,1-0,6
Лейкоциты, $\times 10^9/л$	18,5 $\pm$ 1,0	17,2 $\pm$ 0,9	15,4 $\pm$ 0,8	13,7 $\pm$ 0,5	15,2 $\pm$ 0,7	13,4 $\pm$ 0,6	11,6 $\pm$ 0,3	6-12

В таблице 2 отражены результаты биохимических показателей крови больных субклиническим маститом животных.

Таблица 2.

Биохимические показатели крови больных субклиническим маститом коров до и в течение лечения, n=10

Показатели	До лечения	Во время лечения						Норма
		Контрольная группа			Опытная группа			
		2-ой день	4-ый день	6-ой день	2-ой день	4-ый день	6-ой день	
Общий белок, г/л	60±2,97	62±2,00	68±1,8	75±1,2	67±1,8	75±1,5	84±1,3	79-89
Альбумины, г/л	25±2,79	28±2,21	33±1,9	37±1,7	31±2,0	34±1,7	42±1,4	40-60
Глобулины, г/л	54±1,37	51±1,0	49±0,7	43±0,4	49±0,7	45±0,5	39±0,3	25-41
Мочевина, ммоль/л	13±1,56	11±0,9	9±07	7,6±0,5	10±0,9	8±0,4	6±0,3	3,3-8,8

Билирубин прямой, мкмоль/л	8,1±2,34	7,9±2,1	6,8±1,9	6,3±1,2	7,2±0,7	6,3±0,5	5,8±0,3	0,0-5,5
Билирубин общий, мкмоль/л	11,2±3,02	10,8±2,9	9,4±2,5	9,0±1,9	11,0±1,7	9,3±1,0	8,6±0,6	0,0-8,5
Глюкоза мл-моль/л	1,4±1,4	1,6±1,2	1,9±0,5	2,2±0,4	1,8±0,9	2,6±0,5	2,9±0,3	2,2-3,9
Креатинин, мкмоль/л	200±1,54	193±1,4	182±0,9	173±0,7	180±0,5	172±0,5	165±0,3	55,8-162,4
АСТ, ед/мл	69±3,2	64±2,2	63±1,1	60±1,0	62±3,2	60,0±2,2	53±1,5	11-52
АЛТ, ед/мл	40±2,2	37±2,0	35±1,9	32±1,5	34±2,3	32±2,0	28±1,7	5-27

Обсуждение

Как видно из таблицы, у больных субклиническим маститом животных до начала лечения в крови значительно было снижено количество эритроцитов и гемоглобина. Эти показатели соответственно составили $3,0 \pm 0,9 \times 10^{12}/л$ и $75 \pm 1,3$ г/л. Количество лейкоцитов ($18,5 \pm 1,0 \times 10^9/л$) было повышено, что свидетельствует о мобилизации защитных сил организма на борьбы с инфекцией и СОЭ ($20 \pm 1,2$ мм/ч) ускорено. Нормализация гематологических показателей в опытной группе началась уже со 2-ого дня лечения и к 6-ому дню завершилась. Все гематологические показатели находились в пределах нормы - количество эритроцитов составило $6,1 \pm 0,2 \times 10^{12}/л$, количество лейкоцитов находилось в пределах $10,6 \pm 0,3 \times 10^9/л$, содержание гемоглобина составило $88,8 \pm 0,3$ г/л, а показатель СОЭ был в пределах $6 \pm 0,4$ мм/ч, в то время как аналогичные показатели контрольной группы возвращались к норме медленнее.

Как видно из результатов исследований, до начала лечения у больных субклиническим маститом в крови было резко снижено содержание общего белка ($60 \pm 2,97$ г/л), альбуминов ($25 \pm 2,79$ г/л). Существенное снижение синтеза альбуминовой фракции в крови коров - неблагоприятный признак, свидетельствующий о том, что происходит снижение защитных компенсаторных сил организма. Содержание глюкозы ($1,4 \pm 1,4$ ммоль/л), содержание глобулинов ($54 \pm 1,37$ г/л), мочевины ($13 \pm 1,56$ ммоль/л), креатинина ($200 \pm 1,54$ мкмоль/л) было повышено. В результате патологического течения процесса развивается симптом, обусловленный сенсибилизацией организма и антигеном измененной железистой ткани молочной железы. Содержание билирубина общего ($11,2 \pm 3,02$ мкмоль/л), билирубина прямого ($8,1 \pm 2,34$ мкмоль/л) так же было повышено, а активность АСТ ($69 \pm 3,2$

ед/л) и АЛТ ($40 \pm 2,2$ ед/л) были выше нормы, что свидетельствует о наличии гепатопатии.

Нормализация биохимических показателей крови в опытной группе началась уже со 2-ого дня лечения и к 6-ому дню завершилась. Все биохимические показатели крови к этому дню находились в пределах нормы - содержание общего белка составляло $84 \pm 1,3$ г/л, глобулинов - $39 \pm 0,3$ г/л, альбуминов - $42 \pm 1,4$ г/л, глюкозы - $2,9 \pm 0,3$ ммоль/л, креатинина - $165 \pm 0,3$ мкмоль/л, мочевины - $6 \pm 0,3$ ммоль/л, общего билирубина - $8,6 \pm 0,6$ мкмоль/л, прямого билирубина - $5,8 \pm 0,3$ мкмоль/л, АСТ - $53 \pm 1,5$ ед/л, АЛТ - $28 \pm 1,7$ ед/л, в то время как аналогичные показатели контрольной группы возвращались к норме медленнее. В конце было проведено так же повторное исследование молока калифорнийским тестом.

В начале исследования при проведении маститного тест-контроля с молоком, у здоровых животных смесь молоко - маститный тест была однородной, без интенсивного окрашивания, нежно фиолетового цвета, с содержанием соматических клеток меньше 200000 в 1 мл. У больных же смесь молока с раствором теста была гелеобразной консистенции, интенсивной фиолетовой окраски, что свидетельствует о повышенном содержании соматических клеток от 800000 до 5000000 в 1 мл молока. В конце лечения был проведен повторных тест-контроль молока и была зафиксирована отрицательная реакция у животных опытной группы, а у животных контрольной группы тест дал слабоположительную реакцию смесь молоко-маститный тест была густой, но не гелеобразной, а содержание соматических клеток в молоке находилось в пределах 400000 до 1500000 в 1 мл.

В результате проведенных микробиологических исследований выявлено, что в пробах молока, полученных от коров, больных субклиническим маститом, на маннитол-солевом агаре преимущественно растут колонии стафилококков, стрептококков, клебсиелл, синегнойной палочки. Наилучший эффект при определении чувствительности микроорганизмов к антибиотикам дали марфлоксин и мастицеф. Зоны задержки роста соответственно составляли 1,5 и 1,2 см. Зоны задержки роста бициллина-3 и мастисана составили 0,9 и 0,8 см соответственно.

Заключение

Своевременная диагностика субклинического мастита позволяет эффективно лечить его, предотвращая развитие клинически выраженного мастита.

Применение антибактериальных препаратов совместно с иммуностимулирующими средствами повышает эффективность лечения субкли-

нического мастита. Лечение субклинического мастита с применением марфлоксина, мастицефа, АСД-2 и раствора димексида позволяет сократить длительность его лечения на 2-3 дня.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

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.

Verdict of ethics committee. This research is carried out in compliance with the principles of the Declaration of Helsinki of the World Medical Association.

Conflict of interest. All authors of this article do not have conflict of interest.

Sponsorship statement. This work is performed in accordance with the decree of the Government of the Republic of Armenia on base funding of scientific topics in Armenia.

Список литературы

1. Абакаров А.М. Субклинический мастит // Всероссийская научная и учебно-метод. конф. по акушерству, гинекологии и биотехнике размножения животных. Материалы конф. Воронеж, 1994. С. 186.
2. Абдессемед Д., Авдеенко В.С., Авдеенко А.В., Новикова С.В., Сазонов А.А. Диагностика и терапия субклинического мастита у лактирующих коров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2014. № 3. С. 3–6.
3. Абдрахманов Т.Ж. Разработка способов диагностики, терапии, профилактики послеродового гнойно-катарального эндометрита и субклинического мастита у коров: дис. ... д-ра вет. наук. Астана, 2002. 300 с.
4. Авдеенко В.С. Рекомендации по диагностики, терапии и профилактики мастита у коров. Саратов, 2009. 71 с.
5. Авдеенко В.С. Новый подход к патогенезу и лечению заболеваний молочных желез у животных // Современные проблемы ветеринарного акушерства и биотехнологии воспроизведения животных: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня рождения Г.А. Черемисова и 50-летию созд. Воронежской школы вет. акушер. Воронеж: Истоки, 2012. С. 28–31.

6. Акназаров Б. К., Джангазиев М.М., Ибраимов О.С. Профилактика маститов и послеродовых заболеваний матки у коров // Современные проблемы ветеринарного обеспечения репродуктивного здоровья животных: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения проф. В.А. Акатова. Воронеж: Истоки, 2009. С. 38–41.
7. Андреева А.В., Доценко О.С. Диагностика и лечение субклинического мастита у коров // Современные тенденции инновационного развития ветеринарной медицины, зоотехнии и биологии: материалы Всеросс. науч. практ. конф. с международным участием. Уфа, 2017. С. 6-9.
8. Багманов М.А. Акушерско-гинекологическая патология коров (диагностика, комплексная терапия, профилактика): монография. Ульяновск, ГСХА, 2005. 207 с.
9. Баймышева Д.Ш., Коростелева Л.А., Котенков С.В. Факторы, обуславливающие возникновение маститов // Зоотехния. 2007. № 8. С. 22-24.
10. Белкин Б.Л., Черепяхина Л.А, Попкова Т.В Мастит коров: Учебное пособие. Изд-во Орел ГАУ, 2011. С. 88.
11. Белкин Б.Л., Комаров В.Ю., Попкова Т.В, Скребенева Е.Н., Малахова Н.Ж. Профилактика мастита коров – залог повышения качества молока: учебное пособие. Орел: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2015. С. 60.
12. Бойко А.В., Волкова М.Н. Маститы – комплексный подход к лечению и профилактике // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2005. № 7. С. 41-42.
13. Брылин А.П., Бойко А.В. Программа по борьбе с маститами и улучшению качества молока // Ветеринария. 2006. № 5. С. 9–11.
14. Васильев В.В. Профилактика мастита у коров // Ветеринария. 2004. №11. С. 37-38.
15. Гончаров В.П., Карпов В.А., Якимчук И.Л. Профилактика и лечение маститов у животных. М.: Россельхозиздат, 1987. 208 с.
16. Горлов И.Ф., Юрина О.С., Сложенкина М.И. Комплексное лечение коров при маститах // Ветеринария. 2008. № 2. С. 37-39.
17. Исайкина Е.Ю. Морфологические показатели крови коров, больных субклиническим маститом в сухостойный период и после отела // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и биологии. Материалы междунар. науч.- практич. конф. Оренбург, 2003. С. 261.
18. Карташова В.М., Ивашура А.И. Маститы коров. М.: Агропромиздат, 1988. 256 с.
19. Карташова О.Л., Киргизова С.Б., Комарова Н.К., Исайкина Е.Ю. Диагностика и лечение скрытых форм мастита у коров // Квантовая терапия в ветеринарии: сб. тр. по ветеринарии. М.: МИЛТАПКП ГИТ, 2003. С. 172-173.

20. Кононенко К.Н. Лечебно-профилактические мероприятия при маститах коров. // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. 2021. № 1. С. 39-42.
21. Кононенко К.Н., Зубенко А.А., Фетисов Л.Н., Андрос Н.О., Святогорова А.Е. Изучение микробного пейзажа содержимого секрета молочной железы при маститах у коров // Ветеринария Северного Кавказа. 2021. № 2. С. 32-37.
22. Конопельцев И.Г., Шулятьев В.Н. Воспаление вымени у коров. Санкт-Петербург: СПбГАВМ, 2010. 355 с.
23. Ларионов, Г.А., Семенов В.Г., Щипцова Н.В. Влияние обработки вымени на уменьшение микробной обсемененности и количества соматических клеток в молоке коров // Молочнохозяйственный вестник. 2019. № 4 (36). С. 67-78.
24. Лаушкина Н.Н., Скребнев С.А., Скребнева К.С. Методы диагностики субклинического мастита коров в лактационный период в условиях молочно-го комплекса // Вестник аграрной науки. 2020. № 6 (87). С. 61. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.61>
25. Магомедов А.С., Алиев А.Ю. Экономический ущерб от субклинического мастита коров // Горное сельское хозяйство. 2018. № 2. С. 102-107. <https://doi.org/10.25691/GSH.2018.2.021>
26. Beaudeau F., Fourichon C. Risk of clinical mastitis in dairy herds with a high proportion of low individual milk somatic cell counts // Preventive Veterinary Medicine. 2002. Vol. 53. P. 43–54. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(01\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(01)00275-6)
27. De Meerschman F., Lemarchand F. Longitudinal analysis of milk somatic cell counts: a case study // European Buiatrics forum. Marseille, 2013. P. 77.
28. Gonzalez R.N., Jasper D.E, Kronlund N.C. Clinical mastitis in two California dairy herds participating in contagious mastitis control programs // Journal of Dairy Science. 1990. Vol. 73. P. 648–655. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(90\)78716-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(90)78716-4)

References

1. Abakarov A.M. Subclinical mastitis. *All-Russian scientific and educational-methodological conf. on obstetrics, gynecology and biotechnics of animal reproduction*. Materials of the conf. Voronezh, 1994, p. 186.
2. Abdessemed D., Avdeenko V.S., Avdeenko A.V., Novikova S.V., Sazonov A.A. Diagnosis and therapy of subclinical mastitis in lactating cows. *Bulletin of Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov*, 2014, no. 3, pp. 3-6.
3. Abdrakhmanov T.J. *Development of diagnostic methods, therapy, prevention of postpartum purulent-catarrhal endometritis and subclinical mastitis in cows*. Astana, 2002, 300 p.

4. Avdeenko V.S. *Recommendations on diagnostics, therapy and prevention of mastitis in cows*. Saratov, 2009, 71 p.
5. Avdeenko V.S. New approach to the pathogenesis and treatment of mammary gland diseases in animals. *Modern problems of veterinary obstetrics and biotechnology of animal reproduction: Proceedings of the International scientific and practical conference, dedicated to the 85th anniversary of the birth of G.A. Cheremisov and the 50th anniversary of the creation of the Voronezh school of veterinary obstetrics*. Voronezh: Istoki, 2012, pp. 28-31.
6. Aknazarov B.K., Dzhangaziev M.M., Ibraimov O.S. Prevention of mastitis and postpartum uterine diseases in cows. *Modern problems of veterinary support of reproductive health of animals: Proceedings of the International scientific and practical conference, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Prof. V.A. Akatov*. Voronezh: Istoki, 2009, pp. 38-41.
7. Andreeva A.V., Dotsenko O.S. Diagnosis and treatment of subclinical mastitis in cows. *Modern trends of innovative development of veterinary medicine, zoo-technics and biology: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*. Ufa, 2017, pp. 6-9.
8. Bagmanov M.A. *Obstetrical and gynecological pathology of cows (diagnosis, complex therapy, prevention)*: monograph. Ulyanovsk, State Agricultural Academy, 2005, 207 p.
9. Baimysheva D.Sh., Korosteleva L.A., Kotenkov S.V. Factors causing the occurrence of mastitis. *Zootechnia*, 2007, no. 8, pp. 22-24.
10. Belkin B.L., Cherepakhina L.A., Popkova T.V. *Mastitis of cows*. Izd-e Orel GAU, 2011, pp. 88.
11. Belkin B.L., Komarov V.Yu., Popkova T.V., Skrebeneva E.N., Malakhova N.J. *Prevention of cow mastitis - the key to improving milk quality*. Orel: Orel GAU, 2015, p. 60.
12. Boyko A.V., Volkova M.N. Mastitis - a comprehensive approach to treatment and prevention. *Veterinary of farm animals*, 2005, no. 7, pp. 41-42.
13. Brylin A.P., Boyko A.V. Program to combat mastitis and improve milk quality. *Veterinary*, 2006, no. 5, pp. 9-11.
14. Vasiliev V.V. Prevention of mastitis in cows. *Veterinary*, 2004, no. 11, pp. 37-38.
15. Goncharov V.P., Karpov V.A., Yakimchuk I.L. *Prevention and treatment of mastitis in animals*. Moscow: Rosselkhozizdat, 1987, 208 p.
16. Gorlov I.F., Yurina O.S., Slozhenkina M.I. Complex treatment of cows with mastitis. *Veterinary*, 2008, no. 2, pp. 37-39.
17. Isaikina E.Y. Morphologic parameters of blood of cows with subclinical mastitis in the dry period and after calving. *Actual problems of veterinary medicine*

- and biology. Materials of the international scientific-practical conf.* Orenburg, 2003, p. 261.
18. Kartashova V.M., Ivashura A.I. *Mastitis of cows*. Moscow: Agropromizdat, 1988, 256 p.
 19. Kartashova O.L., Kirgizova S.B., Komarova N.K., Isaikina E.Yu. Diagnosis and treatment of hidden forms of mastitis in cows. *Quantum therapy in veterinary medicine: collection of works on veterinary medicine*. M.: MILTAPKP GIT, 2003, pp. 172-173.
 20. Kononenko K.N. Therapeutic and prophylactic measures at mastitis of cows. *Laws of development of regional agro-food systems*, 2021, no. 1, pp. 39-42.
 21. Kononenko K.N., Zubenko A.A., Fetisov L.N., Andros N.O., Svyatogorova A.E. Study of the microbial landscape of the contents of the mammary gland secretion at mastitis in cows. *Veterinary North Caucasus*, 2021, no. 2, pp. 32-37.
 22. Konopeltsev I.G., Shulyatiev V.N. *Udder inflammation in cows*. St. Petersburg: SPbGAVM, 2010, 355 p.
 23. Larionov, G.A., Semyonov V.G., Shchiptsova N.V. Effect of udder treatment on reducing microbial contamination and the number of somatic cells in the milk of cows. *Molochnokhozyaystvennyi vestnik*, 2019, no. 4 (36), pp. 67-78.
 24. Laushkina N.N., Skrebnev S.A., Skrebneva K.S. Methods of diagnosis of sub-clinical mastitis of cows in the lactation period in the conditions of the dairy complex. *Bulletin of Agrarian Science*, 2020, no. 6 (87), p. 61. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.61>
 25. Magomedov A.S., Aliev A.Y. Economic damage from subclinical mastitis of cows. *Mountain Agriculture*, 2018, no. 2, pp. 102-107. <https://doi.org/10.25691/GSH.2018.2.021>
 26. Beaudeau F., Fourichon C. Risk of clinical mastitis in dairy herds with a high proportion of low individual milk somatic cell counts. *Preventive Veterinary Medicine*, 2002, vol. 53, pp. 43-54. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(01\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(01)00275-6)
 27. De Meerschman F., Lemarchand F. Longitudinal analysis of milk somatic cell counts: a case study. *European Buiatrics forum*. Marseille, 2013, p. 77.
 28. Gonzalez R.N., Jasper D.E, Kronlund N.C. Clinical mastitis in two California dairy herds participating in contagious mastitis control programs. *Journal of Dairy Science*, 1990, vol. 73, pp. 648–655. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(90\)78716-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(90)78716-4)

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации. Л.Г. Григорян помимо соавторства в статье координирует переписку с редакцией журнала.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally to the preparation of this article for publication.

L.G. Grigoryan, in addition to co-authoring the article, coordinates correspondence with the editors of the journal.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Варданян Альберт Виравович, 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
albert.vardanyan.52@mail.ru*

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*

Григорян Лиана Айковна, 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*

Сукиасян Карине Абериковна, канд. вет. наук, доцент, заведующий кафедрой ветеринарии

*Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
karinesukiasyan58@gmail.com*

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*

Акобян Ануш Рафиковна, канд. вет. наук, доцент

*Исследовательский центр ветеринарии и ветеринарно-санитарной
экспертизы Национального аграрного университета Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
akobian.anush@yandex.ru*

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

Albert V. Vardanyan, 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
albert.vardanyan.52@mail.ru*

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*

Liana H. 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>*

Karine A. Sukiasyan, Researcher

*National Agrarian University of Armenia
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
karinesukiasyan58@gmail.com*

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>

Anush R. Hakobyan, 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
akobian.anush@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7781-3045>

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

Поступила 05.03.2024

После рецензирования 20.04.2024

Принята 25.04.2024

Received 05.03.2024

Revised 20.04.2024

Accepted 25.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-912

УДК 330.15:332.13



Научная статья

ФАКТОРЫ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ПРИРОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АСИММЕТРИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ЮГА РОССИИ

*Н.В. Медяник, М. Харпутлу, А.Б. Тлисов,
Н.Н. Киселева, М.А. Мамбетов*

Обоснование. Важность исследования пространственной природохозяйственной асимметрии определяет не только перспективы размещения «природозависимых» видов деятельности, но и необходимость сбалансированного пространственного развития регионов страны с учетом неравномерности аллокации экосистемных благ.

Цель. Обоснование критического влияния фактора пространства на природохозяйственные параметры развития регионов Юга России.

Методы. В основу исследования положены системная методология и пространственный подход, конституирующие Юг России как мезоуровневое природохозяйственное образование в границах сопредельных субъектов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

Результаты. Сложная орография местности, пестрота климатических факторов и разнообразие ландшафтных характеристик на Юге России формируют естественные предпосылки для высокой фрагментарности и мозаичности природохозяйственного пространства. Так, разница в обеспеченности экосистемными благами между южными регионами составляет по доле особо охраняемых природных территорий 18,1 раза, густоте речной сети 23 раза, количеству месторождений и проявлений полезных ископаемых 56,9 раз, обеспеченности водными ресурсами и сельхозземлями 111,2 и 162,1 раза, соответственно, лесистости территории 183,5 раза, плотности водотоков 329,4 раза. Равно причинами высокой природохозяйственной межрегиональной асимметрии служат секторальная специализация и архитектура экономической активности, концентрирующаяся в наиболее развитых субъектах Юга РФ, как Краснодарский и Ставропольский края, Волгоградская и Ростовская области, на долю которых приходится 71,1% выбросов и 79,0%

сбросов загрязняющих веществ, 75,9% отходов производства и потребления, 50,3% забора, 66,6% использования и 50,0% потерь воды, 80,4% производства и 69,5% потребления электроэнергии, 60,6% сельхозугодий, 81,9% пашни.

Выводы. Главными факторами высокой фрагментарности, межрегиональной асимметрии природохозяйственного пространства Юга России выступают мозаичность ландшафтных характеристик, влияющая на пространственное распределение и типологический полиморфизм экосистемных благ, а также отраслевая специфика хозяйства и экспликация экономического ландшафта на южных рубежах страны, определяющие параметры регионального природопользования.

Ключевые слова: природопользование; природохозяйственное пространство; межрегиональная асимметрия; экосистемные блага; регионы Юга России

Для цитирования. Медяник Н.В., Харпутлу М., Тлисов А.Б., Киселева Н.Н., Мамбетов М.А. Факторы межрегиональной природохозяйственной асимметрии в пространстве Юга России // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №5. С. 503-524. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-912

Original article

FACTORS OF INTERREGIONAL ENVIRONMENTAL ASYMMETRY IN THE SOUTH OF RUSSIA

N.V. Medyanik, M. Harputlu, A.B. Tlisov,
N.N. Kiseleva, M.A. Mambetov

Background. The importance of studying spatial environmental asymmetry determines not only the prospects for the placement of “nature-dependent” activities, but also the need for balanced spatial development of the country’s regions, taking into account the uneven allocation of ecosystem benefits.

Goal. Substantiation of the critical influence of the space factor on the environmental parameters of the development of the regions of Southern Russia.

Methods. The study is based on a systematic methodology and a spatial approach that constitute the South of Russia as a meso-level environmental management formation within the borders of adjacent subjects of the Southern and North Caucasian Federal Districts.

Results. The complex orography of the terrain, the diversity of climatic factors and the variety of landscape characteristics in the South of Russia form the natural prerequisites for a high fragmentation and mosaic of the natural space. Thus, the difference in the provision

of ecosystem goods between the southern regions is 18.1 times in the share of protected areas, 23 times in the density of the river network, 56.9 times in the number of deposits and mineral manifestations, 111.2 and 162.1 times in the availability of water resources and agricultural land, respectively, 183.5 times in the forested area, 329.4 times in the density of watercourses. Equally, the reasons for the high environmental interregional asymmetry are sectoral specialization and the architectonics of economic activity, concentrated in the most developed regions of the South of the Russian Federation, such as Krasnodar and Stavropol Territories, Volgograd and Rostov regions, which account for 71.1% of emissions and 79.0% of discharges of pollutants, 75.9% of production and consumption waste, 50.3% of sampling, 66.6% use and 50.0% of water losses, 80.4% of production and 69.5% of electricity consumption, 60.6% of farmland, 81.9% of arable land.

Conclusions. *The main factors of high fragmentation, interregional asymmetry of the natural resource space of the South of Russia are the mosaic of landscape characteristics that affect the spatial distribution and typological polymorphism of ecosystem goods, as well as the industry specifics of the economy and the explication of the economic landscape on the southern borders of the country, which determine the parameters of regional nature management.*

Keywords: *nature management; nature management space; interregional asymmetry; ecosystem benefits; regions of Southern Russia*

For citation. *Medyanik N.V., Harputlu M., Tlisov A.B., Kiseleva N.N., Mambe-tov M.A. Factors of Interregional Environmental Asymmetry in the South of Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 503-524. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-912*

Введение

Важность исследования пространственной природохозяйственной асимметрии, как демонстрирует ряд работ [15; 18; 19; 20; 22], определяет не только перспективы размещения «природозависимых» видов деятельности, но и необходимость сбалансированного пространственного развития с учетом неравномерности аллокации экосистемных благ.

В статье пространство Юга России корреспондирует с границами соседствующих субъектов РФ в составе Южного и Северо-Кавказского федерального округов, расположенных между Азово-Черноморской и Каспийской акваториями на южных рубежах Европейской части страны. К их числу относятся Республики Адыгея, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкария (КБР), Калмыкия, Карачаево-Черкесия (КЧР), Северная Осетия – Алания (РСО-Алания), Чеченская, области Астраханская, Волгоградская и Ростовская, Краснодарский и Ставропольский края.

Для Юга России как мезоуровневого конгломерата региональных экономик и сопряженных естественными процессами локализованных в его границах экологических систем фактор пространства в природохозяйственной деятельности имеет определяющее значение. Это тем более очевидно для территории, составляющей 3,6% площади страны, на которой сосредоточены сложные природные комплексы Кавказского хребта, Азово-Черноморского и Каспийского бассейнов, Волго-Донской речной системы, евразийских степных ландшафтов.

В их рамках уникальные и разнообразные экосистемные блага, качественные и количественные параметры которых пространственно детерминированы, выступают ключевыми факторами производства для южнороссийской экономики, а природопользование – важной частью производительной деятельности и жизнеобеспечения домохозяйств, особенно в традиционных сообществах [3].

С одной стороны, современная аллокация естественных факторов и условий в пространстве Юга имеет высокую мозаичность, оказывая значимое воздействие не только на параметры природопользования, равно существенно определяя пространственно-отраслевую структуру хозяйства и расселения. С другой стороны, пространственные диспропорции в природопользовании являются следствием специализации регионального хозяйства, а также экспликации экономического ландшафта на южных рубежах страны.

Эмпирически верифицируем данный тезис на материалах южных регионов страны.

Цель исследования заключается в обосновании критического влияния фактора пространства на природохозяйственные параметры развития регионов Юга России

Материалы и методы исследования

В основу исследования положены системная методология и пространственный подход, конституирующие Юг России как мезоуровневое природохозяйственное образование в границах сопредельных субъектах РФ Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Доказательной базой исследования послужили информация из государственных докладов о состоянии окружающей среды в субъектах Юга РФ, а также статистические данные Федеральной службы государственной статистики России и базы ЕМИСС.

Результаты исследования и их обсуждение

Значительные расчленённость рельефа и колебания высот, большая пестрота климатических факторов и разнообразие ландшафтных харак-

теристик: от умеренно-засушливых, засушливых, сухих степей и полупустыни в равнинно-предгорной части до зоны лесостепи и нивального пояса в горах Северного Кавказа, формируют естественные предпосылки для высокой фрагментарности и мозаичности природохозяйственного пространства Юга России.

Так, в орографическом отношении Юг РФ делится на три зоны: равнинную (степную), являющуюся продолжением Восточно-Европейской равнины и расположенную к северу от рек Кубань и Терек с вычленением на юго-востоке Прикаспийской низменности (-28 м); предгорную, локализованную южнее названных бассейнов неширокой полосой с юга-востока на северо-запад; горную, плавно повышающуюся в направлении к Кавказскому хребту и переходящую в систему горных отрогов с наивысшей точкой г. Эльбрус (5642 м).

Югу России, расположенному в двух (из четырех) климатических поясах с тремя типами климата, также свойственно климатическое разнообразие. Так, в пределах умеренного пояса (семи типов климата) тестируется степной тип климата с резкими чертами засушливости и неустойчивости увлажнения, жарким летом и морозными зимами, сильными ветрами, а также полупустынный (Нижнее Поволжье) - сухой, резко континентальный с частыми ветрами и неустойчивой зимне-весенней погодой, сопровождающейся оттепелью и гололедицей. В пределах субтропического пояса для Юга РФ характерен средиземноморский тип климата (Черноморское побережье Кавказа) с жарким и сухим летом, теплой и влажной зимой (табл. 1).

Таблица 1.

Количественные параметры обеспеченности экосистемными благами субъектов Юга РФ [1; 4-11]

Регионы – субъекты РФ	Гористость территории, %	Климатические характеристики*	Месторождения и проявления полезных ископаемых, ед	Обеспеченность земельными ресурсами, га/чел		Обеспеченность водными ресурсами, тыс.м³		Лесистость территории, %	Биологические, охраняемые виды, ед.	Обеспеченность рекреационными ресурсами % ООПТ в общей площади
				сельхоз-земли	паш-ня	ед. площади, км²	душу населения, чел.			
Республика Адыгея	38,0	1 ГТК/1 МСТ	115	0,77	0,50	1807,7	31,2	36,7	439	14,9
Республика Калмыкия	0,0	1КП, 2ТК	180	23,59	3,06	14,7	3,9	0,2	353	15,9
Республика Крым	20,0	1КП, 3ТК 2 ГТК	299	0,95	0,62	38,3	4,3	10,7	784	8,7

Краснодарский край	26,8	2КП, 2ТК 3 ГТК	822	0,83	0,65	304,6	4,2	20,1	1031	11,1
Астраханская область	0,0	1КП, 2 ТК	208	3,29	0,28	4851,0	233,6	1,8	319	10,3
Волгоградская область	0,0	1 КП, 1 ТК	541	3,58	2,37	2290,5	101,6	4,2	340	8,9
Ростовская область	0,0	1КП, 1 ТК	1138	2,05	1,41	258,4	6,2	2,4	490	2,3
Город Севастополь	-	2КП, 2ТК 1 ГТК	17	0,05	0,05	-	-	34,3	375	29,0
Республика Дагестан	48,0	1КП, 1ТК 4 ГТК	234	1,06	0,15	407,6	6,8	7,3	382	13,6
Республика Ингушетия	44,0	3 ТКГ	20	0,38	0,16	472,2	3,6	21,7	39	19,1
Чеченская Республика		3 ГТК	102	0,65	0,20	743,6	8,3	20,0	314	7,1
Кабардино-Балкарская Республика	71,0	3 ГТК	134	0,80	0,32	600,0	8,7	15,4	223	27,0
Карачаево-Черкесская Республика	98,0	3 ГТК	120	1,43	0,31	426,6	13,0	30,0	274	21,8
Республика Северная Осетия – Алания	88,0	3 ГТК	59	0,58	0,28	1000,0	11,4	24,4	230	20,1
Ставропольский край	1,9	1 КП, 1 ТК	312	2,08	1,41	90,6	2,1	1,6	512	1,6
Юг России		2КП, 3ТК 4 ГТК	4301	1,73	0,88	275,2	26,2	9,7		9,9
Российская Федерация	53,0	4КП, 9ТК4 ГТК		1,53	0,80	248,8	29,1	46,4	1089	14,0

* - типы климата (ТК), климатические пояса (КП), горные типы климата (ГТК);

Кроме того, в пространстве Юга России, на ограниченной территории Большого Кавказа, встречаются горнолесной, горностепной, горно-пустынный и горно-тундровый типы горного климата с более сухим разреженным воздухом, высокой солнечной радиацией, температурной инверсией, горно-долинными ветрами и фенами, климатообразующим значением склоновой экспозиции, устойчивой снеговой границей, возрастающей при движении с запада на восток по мере уменьшения осадков от 2700 - 2900 до 3500 - 3650 м.

Причем подобная мозаичность проявляется и в пределах самих южных регионов. Например, в границах Кабардино-Балкарии на площади 12,5 тыс. км², или 0,7% территории РФ с учетом увлажнения и орографических условий выделяются 3 зоны, как равнинная (степная) засушливая 33,0%; предгорная с недостаточным увлажнением – 16,0 %; горная с достаточным увлажнением – 51,0% [7].

Орографическая мозаика и климатическая пестрота формируют средовой базис для различных видов хозяйствования и жизнедеятельности, а также существенным образом влияют на пространственное распределение и типологическое разнообразие большинства экосистемных благ в южном поясе страны.

Так, если на равнине пространственная структура Юга характеризуется как равномерно-узловая, обусловленная относительно однородным расположением ареалов хозяйственной активности в границах урбанизированных локалитетов, то в пределах предгорно-равнинной части как линейно-узловая, приуроченная к долинам рек и транспортным магистралям, а также очаговая в условиях горной местности.

Равным образом, несмотря на богатство и разнообразие экосистемных благ, в границах Юга России обнаруживается существенная (для столь малой и компактной территории) неравномерность в обеспеченности ими южных субъектов РФ (табл.1).

Так, неравномерность в размещение минеральных ресурсов обусловлены сложным строением недренного пространства южной ПХС, сформированного в предгорной/горной зоне на стыке тектонических структур - Северо-Кавказского краевого массива и Предкавказского передового прогиба (фрагменты Альпийско-Гималайского горного пояса), имеющего двухъярусное строение из кристаллического фундамента амфиболит-гнейсового метаморфического происхождения периода протерозоя и нижнего палеозоя, а также гетерогенного осадочного чехла из вулканогенно-осадочных пород триасово-неогенового возраста, в степной зоне – Русской платформы – Воронежской антеклизы и Прикаспийской синеклизы, а также погребенной части Донбасса – края Скифской плиты.

С учётом этого аллокация типов месторождений и проявлений полезных ископаемых как в южном контуре, так и субъектов РФ имеет пространственные закономерности, обусловленные тектоническим строением, орографическими характеристиками местности и геологическими процессами. В результате в пространстве юга аллокация рудных минеральных ресурсов наблюдается в 70,2% случаев в горных областях, а 81,7% топливно-энергетические приурочены к равнинным территориям [1].

Орографические характеристики местности вместе с климатическими условиями определяют неравномерное размещение почвенно-земельных ресурсов, а в условиях высокогорий порождают исторически давнюю проблему малоземелья. Так (табл.1), Республики Ингушетия и СО-Алания демонстрируют самую низкую, соответственно, 0,38 и 0,58 га/чел обеспеченность сельхозземлями, что меньше в 4,6-2,6 раза, чем в среднем на Юге РФ, или в 62,1-40,7 раза, чем в наиболее обеспеченной подобными угодьями Республике Калмыкия. При этом самые высокие среднедушевые показатели пахотных земель от 0,65 (Краснодарский край) до 3,06 га/чел (Республика Калмыкия) закономерно наблюдаются в равнинных степных регионах Юга, а среднедушевая обеспеченность пашней которого 0,88 га выше на 0,08 га, чем в РФ.

Между тем с учетом традиционной аграрной профилизации земельные ресурсы выступают критически важным фактором производства для южных регионов, на долю которых в общероссийских показателях приходится 12,7% сельскохозяйственных земель, 20,6% сельхозугодий, 19,7% пашни, 53,8% орошаемого контура [4]. В структуре земельного фонда Юга доля сельхозугодий достигает 79,0%, имея в Республике Калмыкия и Ставропольском крае наибольшие значения 92,6 / 92,3%, а наименьшее - 41,9 / 42,8%, в малоземельных Республиках Ингушетия и Адыгея [4].

В структуре аграрных земель от 77,1 (Республика Дагестан) до 99,6 % (Краснодарский край), а на Юге РФ в целом 94,2% приходится на сельхозугодья, 51,9% которых занято пашней и 43,9% - пастбищами. Именно эти категории сельхозугодий позволяют условно разделить южные регионы на три группы: первая (Волгоградская и Ростовская области, Краснодарский и Ставропольский края, Республика Адыгея) - с преобладанием в структуре сельхозугодий от 66,8 до 84,7% пашни; вторая (Республика Калмыкия, Дагестан, Карачаево-Черкессия, Чеченская и Астраханская область) с наибольшей долей от 53,2 до 84,6% пастбищ и третья группа регионов (Республики Ингушетия, Кабардино-Балкария, РСО-Алания), где наблюдается паритет между названными категориями земель [6].

Территориальная структура сельскохозяйственных земель и собственно угодий в южном контуре указывает на лидерство Волгоградской и Ростовской областей, на которые приходится 38 и 39%, соответственно, подобных категорий земель, а вместе с Республикой Калмыкией и Ставропольским краем доля достигает 66%. Этим же регионам принадлежит первенство в структуре пашенного фонда Юга РФ, 52% которого приходится на Ростовскую и Волгоградскую области, а вместе со Ставропольским и

Краснодарским краями - 87%. В территориальной структуре южнороссийских пастбищ наибольший вес 28% приходится на Республику Калмыкию, а половина орошаемых земель находится в Ставропольском, Краснодарском краях и Республике Дагестан, подтверждая, как будет показано ниже, высокую водоемкость этих регионов [6].

Кроме того, на Юге РФ традиционно высока эродированность земель, прежде всего в субъектах СКФО, где 27,5 и 31,6% в общей площади обследованных земель составляют угодья, подверженные ветровой и водной эрозии, соответственно [6]. При этом в наибольшей степени деструктивные процессы проявляются в регионах с традиционным пастбищным животноводством, где нерегламентированный выпас порождает площадной характер деградации земель, как в Республиках Карачаево-Черкессии и Кабардино-Балкария, а в долгосрочной перспективе проблему опустынивания, как в Республиках Дагестан и Калмыкия.

Со всей очевидностью подобные проблемы, являя пролонгированный во времени характер, представляют собой следствие не только экстенсивного землепользования в южных регионах страны в условиях командной экономики. Не в меньшей степени их причины носят рыночный конъюнктурный характер, когда стагнация животноводства и экспортно-зерновые приоритеты страны привели к сокращению в структуре посевов площади кормовых культур и, прежде всего, зернобобовых и многолетних трав, являющихся, среди прочего, незаменимыми почвоулучшителями, при росте доли зерновых и технических пропашных, характеризующихся высоким выносом питательных веществ. С другой стороны, важным негативным фактором стала скоротечная и не во всем продуманная приватизация земельных долей, приведшая к дроблению и мелкоконтурности сельхозугодий, порождая трудности в их обработке, соблюдении агротехнических приемов и научно-обоснованных севооборотов, а также сокращении количества вносимых на поля органических удобрений [16]. Так, во всех южных регионах (исключая Ставропольский и Краснодарский края), традиционных аграрных центрах страны за обозримый период с 2005 года количество вносимых удобрений на 1 гектар посевов ниже среднероссийских показателей [13]. Как результат, в общей площади обследованных в 2021 году пахотных земель в ЮФО и СКФО доля угодий с низким содержанием органических веществ составила, 68,2 и 50,2%, соответственно, указывая на масштабные процессы дегумификации в земельной сфере на юге страны [6].

Существенная пространственная неравномерность в границах Юга России наблюдается в локализации особо охраняемых природных терри-

торий (ООПТ), доля которых в границах горных, мало затронутых хозяйственной детальностью субъектов Юга, входящих по этому показателю в первую десятку национального рейтинга, составляет от 14,9 (Республика Адыгея) до 27,0 % (Кабардино-Балкарская Республика), превышая в среднем почти в 2 раза долю ООПТ в РФ (14,0%), и на порядок, их долю в старо- и экстенсивно освоенных субъектах, как Ставропольский край и Ростовская область, где этот показатель составляет 1,6 и 2,3%, соответственно. Подобное распределение ООПТ формирует в южных регионах страны привлекательные для развития экологического туризма дестинации [2]. Примером этого, по данным портала <https://naturerussia.travel/oopt/>, служат 104 экологических маршрута, обустроенных в государственных заповедниках и национальных парках на юге страны.

Юг России, расположенный преимущественно в границах степных, полупустынных и пустынных лесных районов европейской части РФ, а также Северо-Кавказского горного района, характеризуется весьма скромными в масштабах страны лесохозяйственными параметрами, на долю которого приходится 0,58% лесопокрытой площади и 0,97% запаса древесины [11]. Высокая степень лесистости, равно как и в распределении ООПТ свойственна горным регионам: от 7,3 (Республика Дагестан) до 36,7% (Республика Адыгея), в то время как этот показатель в равнинных степных субъектах, как Ставропольский край, Астраханская, Ростовская и Волгоградская области составляет соответственно 1,6, 1,8, 2,4 и 4,2%, а в полупустынной Республике Калмыкия доля покрытых лесом земель наряду с указанными выше субъектами РФ является самой низкой в стране, составляя 0,2% [11].

Аномально высокая неравномерность проявляется в обеспеченности южных субъектов водными ресурсами: с одной стороны, многоводные республики Северного Кавказа, Астраханская и Волгоградская области, локализованные в бассейнах рек Волги, Терека, Кубани, а с другой – Республики Калмыкия, Дагестан, Крым, Ставропольский край и Ростовская область с засушливым климатом и расположенные на бессточных водораздела. Так, среднегодовая обеспеченность Республики Калмыкия собственными водными ресурсами составляет 6,3% от потребности [8], в Крыму тестируются самые низкие в РФ ресурсы речного стока 1 км³/год [11], а в Донском бассейне (Ростовская область), сток равнинных рек в засушливые годы может сокращаться в 6 - 12 раз [13].

В целом в размещении речного стока (табл. 1) между южными регионами тестируется аномальная дифференциация, составляющая по плотно-

сти водотоков 329,4 раза, обеспеченности водными ресурсами 108,6 раза, густоте речной сети 23 раза.

Равно высокая асимметрия тестируется в аллокации подземных вод, средний модуль прогнозных ресурсов которых, например, в Республиках Северная Осетия-Алания, Кабардино-Балкария, Чеченская в 8,5 – 13,0 раза превышает средний уровень в РФ, в то время как в Республиках Калмыкия и Дагестан, Ставропольском крае, наоборот, этот показатель в 2,5 – 34,9 раза, равно как водообеспеченность в 15-20 раз ниже среднероссийских значений [5].

Вместе с тем южные регионы демонстрируют успешные практики нивелирования естественно обусловленной пространственной водохозяйственной асимметрии, прибегая к меж- и внутрибассейновой переброске речного стока, например, по Большому Ставропольскому, Невинномысскому и Право-Егорлыкскому каналам, Сарпинской и Верхне-Сальской оросительно-обводнительным трактам, Терско-Кумскому и Кумо-Манычскому каналам.

Отмеченная межрегиональная асимметрия в обеспеченности экосистемными благами на Юге страны транслируется в количественных параметрах их использования.

Так, несмотря на естественно обусловленную вододефицитность на Юге России приходится 34,2%, или 18613,1 млн. м³ в общероссийском водозаборе из природных источников. В объеме южного водозабора традиционными лидерами являются Краснодарский край и Республика Дагестан, занявшие в 2020 году по этому показателю 2 и 3 места в национальном рейтинге, и доля каждого составила 19,1%, а вместе с Ростовской областью и Ставропольским краем – 64,5% [10]. Равным образом на указанные субъекты РФ приходилось 79,3%, или 11304 млн куб.м (2021 год) объема потребления свежей воды на Юге России. При этом Ставропольский край возглавил в 2021 году рейтинг самых водоёмких регионов страны, а Краснодарский край, Республика Дагестан и Ростовская область удерживали 3,5 и 6 позиции, соответственно [11].

Кроме этого, в условиях отмеченной водного дефицита на Юге РФ тестируются значительные потери воды в процессе транспортировки, составившие в 2020 году 71,1% от общероссийского объема. Причем отмечаемая проблема весьма остра как в относительно водоемких регионах, за счет поливного земледелия, как Ставропольский и Краснодарский края, Ростовская область и Республика Дагестан, доля которых в южнороссийских потерях составляет 69,4%, так и в остальных субъектах Юга, где водная логистика

по земляным оросительным системам и обводнительным коммуникациям, приводит к кратным по отношению к объемам ее использования потерям воды, например, в КЧР и СО-Алания, соответственно в 6 и 2 раза [10, 12]. Это объясняется водным донорством указанных регионов, в которых 96,3 и 87,7% объема водозабора, соответственно, направляется за их пределы.

При этом в ряде южных регионов таких, как Республики Крым, СО-Алания, Ингушетия, город Севастополь в структуре водопользования существенную долю, 59,3, 49,4, 23,2 и 43,2%, соответственно, занимают подземные источники [10]. Однако следует иметь в виду, что на Юге России в целом отмечается слабая естественная обеспеченность ресурсами питьевых подземных вод из-за распространения соленосных пород в условиях аридного климата и низкой водообильности водоносных горизонтов. Кроме того, вододефицитность усугубляется долговременной и чрезмерной эксплуатацией подземных источников вследствие образования депрессионных воронок, например, в РСО-Алания на Редантском скважинном водозаборе Орджоникидзевского месторождения пресных подземных вод [12].

Между тем, не меньшая межрегиональная асимметрия проявляется в количественных параметрах природохозяйственной деятельности, являющейся следствием поляризации экономической активности на южных рубежах страны.

Так, количественные параметры потребления, генерации и потерь электроэнергии указывают на явное лидерство Волгоградской и Ростовской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, на долю которых в структуре производства и потребления электроэнергии приходится соответственно 80,4 и 69,5%, свидетельствуя, об энергетической отсталости остальных субъектов. Кроме того, в южном контуре тестируются существенные сетевые потери электроэнергии, превышающие от 1,1 (Ставропольский край) до 4,4 (Республика Дагестан) раз общероссийский уровень 8,6%, и составляющие в СФКО в целом 23,2%, а в Республиках Дагестана, Ингушетия и Чеченская – 38,3 и 35,7% соответственно от объема потребленной электроэнергии [14]. Подобная ситуация, в первую очередь, обусловлена коммерческими причинами, высоким уровнем износом электросетевого хозяйства и частыми аварийными режимами работы электрических сетей. Проблема еще более усугубляется в условиях сельской местности, где энергосетевое хозяйство преимущественно представлено линиями электропередач и трансформаторными подстанциями среднего и низкого напряжения (6 – 110 кВ), обладающими самыми высокими показателями потерь.

Между тем Юг РФ в условиях ограниченности собственной топливной базы изобилует ресурсами для многовекторной альтернативной энергогенерации. Например, наибольшим потенциалом для развития солнечной энергетики обладают Черноморское и Каспийское побережья (более 5,5 кВтч/м² в сутки), республики Калмыкия, Дагестан, Астраханская область, северная и северо-восточная части Ставропольского края, южная и юго-западная части Краснодарского края (5,0-5,5 кВтч/м² в сутки). Предгорья Кавказа являются одним из трех крупных регионов РФ, где сосредоточены основные ресурсы теплоэнергетических вод Азово-Кубанского, Терско-Кумского, Терско-Сунженского и Восточно-Дагестанского артезианских бассейнов. В подобной ситуации развитие малой и «зеленой» энергетики для большинства южнороссийских регионов является безальтернативным путем преодоления энергетической отсталости, с одной стороны, а с другой –, создает условия для автономной когенерации, зона обслуживания которой локализована в границах отдельных энергопотребляющих объектов, что может быть востребовано в условиях малоэтажной городской застройки, сельской местности, отдаленных горных и селитебно разреженных территорий, пр. [17].

В структуре выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников доля Юга составляет 6,8% в общероссийской эмиссии, а внутри макрорегиона явное лидерство демонстрирует Краснодарский край, вес которого составляет 37,1%, а вкупе с Ростовской, Волгоградской, Астраханской областями и Ставропольским краем оценивается на уровне 81,7% [11]. Подобная пространственная асимметрия демонстрирует, с одной стороны, индустриальную ориентацию отмеченных выше южнороссийских субъектов, а с другой –, очерчивает контуры экономических активностей на юге страны.

Косвенно на это может указывать доля выбросов от передвижных источников в ряде субъектов таких, как Республики Ингушетия, Кабардино-Балкария, Чеченская, Дагестан, Калмыкия, составившая от 93,1 до 82,1%, соответственно, или более, чем в три раза выше среднего в стране уровня, среди прочего, свидетельствуя об отсутствии развитой промышленности, являющейся, как правило, стационарным источником эмиссии загрязнителей [10].

На Юг приходится 15,1% от количества вывезенных твердых коммунальных отходов в РФ. При этом 45,3% всех южнороссийских коммунальных отходов фиксируется в Краснодарском крае и Ростовской области, доля которых вместе с Волгоградской областью, Республикой Крым, Став-

ропольским краем и Республикой Дагестан составляет 76,9% коммунальных отходов в этой части страны [10].

Подобная межрегиональная асимметрия указывает на критическую важность формирования системы обращения с отходами, прежде всего, в национальных субъектах, путем привлечения к участию малых предприятий и индивидуальных предпринимателей либо в рамках контрагентских отношений с региональными операторами, либо приемлемых по цене широкоформатных франшиз с крупными компаниями в области сбора, сортировки и переработки твердых коммунальных и промышленных отходов, логистики вторичного сырья, как ООО «Рециклен», «Эко Система» и пр. К слову сказать, инициированные в последние годы в южных регионах широкомасштабные проекты по созданию территориальных схем обращения с отходами следовало бы трансформировать в южнороссийской мегапроект «Рециклинговой экономики, или экономики замкнутого цикла», начало которому могли бы положить отходоперерабатывающие рециклинговые кластеры, специализирующиеся на переработке различных видов отходов, в том числе сельскохозяйственных [21].

Для регионов ЮФО и СКФО традиционно острой диагностируется проблематика загрязненности водных бассейнов, в которые поступает 55,2% (2021 год) общероссийского сброса загрязненных стоков. Причем 70,3% сточных вод имеет инорегиональное происхождение [9, 12]. Территориальная структура водоотведения в границах Юга РФ указывает на лидерство Краснодарского края, доля которого в южнороссийских сбросах составила 41,1%, а вместе с Республикой Дагестан, Ростовской областью и Ставропольским краем 86,0% [9, 12]. При этом традиционное лидерство, 44,7% в общем объеме загрязненных стоков на Юге РФ, демонстрирует Краснодарский край, поставляя основной массив сбросов в виде коллекторно-дренажных стоков с рисовых чеков и мелиорируемых участков [5].

В ряде южнороссийских субъектов (таких, как Республики Карачаево-Черкесия, Крым, Калмыкия, Кабардино-Балкария, город Севастополь, Волгоградская область) в общем объеме сбросов в поверхностные водоемы отмечается аномально высокая доля загрязненных стоков - от 97,4 до 71,5%, превышающая в 2 и более раза среднее значение в РФ (34,1%) [9, 12].

Как следствие, в южном контуре страны тестируется высокий уровень загрязнения речного бассейна. Например, в водоемах хозяйственно-питьевого назначения доля проб, не отвечающих санитарно-химическим требованиям, в Калмыкии составляет 83,3%, микробиологическим в г. Севастополе - 53,3%. Наиболее высокий уровень загрязненности рекреаци-

онных водоемов отмечается в Республиках Карачаево-Черкессии – по микробиологическим показателям – 53,0%, в Калмыкии – санитарно-химическим – 51,7% [5].

Выводы

Таким образом, пространственные параметры природохозяйственной деятельности на Юге России детерминированы эмерджентным влиянием многочисленных, но прежде всего, социально-экономических и экосистемных факторов, определяющих сложную территориально-отраслевую структуру, высокую межрегиональную природохозяйственную асимметрию.

Пространственная мозаичность ландшафтных характеристик и отраслевая специфика региональной экономики – главные факторы высокой фрагментарности природохозяйственного пространства Юга России. Значительные расчленённость рельефа и колебания высот, большая пестрота климатических факторов и разнообразие ландшафтных характеристик на Юге России существенным образом влияют на пространственное распределение и типологическое разнообразие экосистемных благ, формируя естественные предпосылки для высокой фрагментарности и мозаичности природохозяйственного пространства. Исторически сложившаяся отраслевая структура, территориальная организация хозяйства и расселения, и поныне демонстрирующие традиционно высокую зависимость от пространственно-локализационных природно-ресурсных условий и факторов, также оказывают детерминирующее воздействие на пространственные параметры природопользования на юге страны.

В заключение хотелось бы указать, что отмеченные на Юге РФ типологический полиморфизм (экосистемное разнообразие), сложная пространственная мозаичность экосистемных благ обуславливают многообразие их ресурсных и средообразующих (жизнеобеспечивающих) функций, или мультиполезность, формируя ресурсную основу, материальный базис для развития диверсифицированного регионального хозяйства, прежде всего, профилирующих горнорудных и аграрных производств, рекреации, производительной и жизнедеятельности домохозяйств, особенно в традиционных сообществах, с одной стороны, а с другой – порождая необходимость совместных природохозяйственных практик и экологически ориентированных управленческих решений.

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

Список литературы

1. База данных месторождений и проявлений полезных ископаемых ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд». URL: <https://rfgf.ru/gkm/> (дата обращения: 16.12.2023)
2. Вишняков Н.В., Зеленская О.Ю. Мониторинг туристско-рекреационной деятельности особо охраняемых природных территорий как эффективный индикатор прогнозируемого развития туристских территорий // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13, № 4. С. 119-128. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-119-128>
3. Герасименко Т.И. Главные факторы трансформации региональной и этнической идентичности // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 3. С. 144-154. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-144-154>
4. Государственный (национальный) доклад «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2021 году». М.: Росреестр, 2022. 206 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году». М.: НИА-Природа, 2022. 510 с.
6. Доклад «О состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения РФ в 2021 году». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 356 с.
7. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2021 году». Нальчик: Министерство природных ресурсов и экологии КБР, 2022. 215 с.
8. Доклад об экологической ситуации на территории Республики Калмыкия в 2021 году. Элиста: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Калмыкия, 2022. 90 с.
9. Объем сброса загрязненных сточных вод по бассейнам отдельных рек и морей URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_vod3.xls (дата обращения: 18.12.2023)
10. Основные показатели охраны окружающей среды 2021. Статистический бюллетень. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.docx (дата обращения: 15.12.2023)
11. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
12. Шебзухова Т.А., Вартумян А.А., Штапова И.С., Медяник Н.В., Жуковская Н.П. Современное состояние и проблемы развития водохозяйственной сферы в регионах Юга России. Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12, № 1. С. 62-72. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-62-72>
13. Экологический вестник Дона: «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2021 году». Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области, 2022. 394 с.

14. Электробаланс и потребление электроэнергии в Российской Федерации с 2005-2021 гг. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2021.xlsx (дата обращения: 15.12.2023)
15. Baklanov P., Romanov M., Tkachenko G. Natural Resource Zoning of the Far Eastern Macro-region of Russia // *Geography And Natural Resources*. 2020. Vol. 41. P. 116-122. <https://doi.org/10.1134/S1875372820020031>
16. Khlystun V., Stolyarov V. Thirty years of land transformation in Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Series «International Symposium Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects». 2020. Vol. 579. P. 012126. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012126>
17. Kovtun D., Tovmasyan N., Nazarov A. Trends and conditions for the development of green energy in the Russian Federation // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 270. P. 01040. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127001040>
18. Kurbatova M., Kagan E., Levin S., Kislitsyn D. Development of Russian resource-type regions: geography vs. institutions? // *Journal of Siberian Federal University. Series: Humanities & Social Sciences*. 2021. Vol. 12. No. 14. P. 1808-1819. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0860>
19. Miklós L., Diviaková A., Izakovičová Z. Procedures of Designing the Territorial System of Ecological Stability // *Ecological Networks and Territorial Systems of Ecological Stability*. Springer, Cham, 2019. P. 43-118. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94018-2_4
20. Petukhova E., Rudenko L., Mottaeva A., Ivashchenko A., Isaeva E. Structure of environmental factors in the regional development assessment // *E3S Web of Conferences*. International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2023). 2023. Vol. 460. P. 8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346009030>
21. Prodanova N., Savin A., Kosnikov S., Sorgutov I. Conceptual approaches to the development of the agricultural sector in terms of the closed-cycle economy // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Vol. 13(3). P. 321-331. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-321-331>
22. Semyachkov A., Gao R. Differentiation of resource regions of Russia in terms of balanced environmental management // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 301. P. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130101002>

References

1. Russian Federal Geological Fund. *Baza dannykh mestorozhdenii i proyavlenii poleznykh iskopaemykh* [Database of deposits and manifestations of minerals]. 2023. <https://rfgf.ru/gkm/> (accessed 16.12.2023)

2. Vishnyakov N.V., Zelenskaya O.Y. Monitoring of the tourist-recreational activity of specially protected natural territories as an effective indicator of predicted development of tourist territories. *South of Russia: ecology, development*, 2018, vol. 13, no. 4, pp. 119-128. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-4-119-128>
3. Gerasimenko T.I. Main factors in the transformation of regional and ethnic identity. *South of Russia: ecology, development*, 2020, vol. 15, no. 3, pp. 144-154. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-3-144-154>
4. Federal Service of State Registration Cadastre and Cartography. *Gosudarstvennyi (natsional'nyi) доклад «O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi Federatsii v 2021 godu»*. [State (national) report “On the state and use of land in the Russian Federation in 2021”]. Moscow, 2022, 206 p.
5. Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation. *Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoj Federatsii v 2020godu»* [The report About a state and use of water resources of the Russian Federation in 2020]. Moscow, NIA-Priroda, 2022, 510 p.
6. Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-industrial complex. *Doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya Rossiiskoi Federatsii v 2021 godu»* [Report “On the state and use of agricultural lands of the Russian Federation in 2021”]. Moscow, 2022, 356 p.
7. Ministry of natural resources and ecology of the Kabardino-Balkarian Republic. *Doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy v Kabardino-Balkarskoi Respublike v 2021 godu»* [The report About state and protection of the environment in the Kabardino-Balkar Republic in 2021]. Nalchik, 2022, 215 p.
8. Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Kalmykia. *Doklad ob ehkologicheskoy situatsii na territorii Respubliki Kalmykiya* [The report on an ecological situation in the territory of the Republic of Kalmykia]. Elista, 2022, 90 p.
9. Federal State Statistics Service. *Obem sbrosa zagryaznennykh stochnykh vod po basseinam otdel'nykh rek i morei* [The volume of discharge of polluted wastewater in the basins of individual rivers and seas]. 2022. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_vod3.xls (accessed 18.12.2023)
10. Federal State Statistics Service. *Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchei sredy 2021. Statisticheskii byulleten*. [Statistical bulletin «Key indicators of environmental protection 2021»]. 2022. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/oxr_bul_2021.docx (accessed 15.12.2023)
11. Federal State Statistics Service. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli. 2022: Stat. sb.* [Statistical collection “Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022”]. Moscow, 2022, 1122 p.

12. Shebzukhova T.A., Vartumyan A.A., Shtapova I.S., Medyanik N.V., Zhukovskaya N.P. Current state and problems of development of the water management in the South of Russia. *South of Russia: ecology, development*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 62-72. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-62-72>
13. Ministry of natural resources and environment of the Rostov region. *Ekologicheskij vestnik Dona: «O sostoyanii okruzhayushchej sredy i prirodnih resursov Rostovskoj oblasti v 2021godu»* [Ecological bulletin of Don About state of environment and natural resources of the Rostov region in 2021]. Rostov on Don, LLC MS, 2022, 394 p.
14. Federal State Statistics Service. *Elektrobalans i potreblenie elektroenergii v Rossijskoi Federatsii c 2005-2021gg.* [Electric balance and electricity consumption in the Russian Federation from 2005-2021]. 2021. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/elbalans_2021.xlsx (accessed 15.12.2023)
15. Baklanov P., Romanov M., Tkachenko G. Natural Resource Zoning of the Far Eastern Macro-region of Russia. *Geography and Natural Resources*, 2020, vol. 41, pp. 116-122. <https://doi.org/10.1134/S1875372820020031>
16. Khlystun V., Stolyarov V. Thirty years of land transformation in Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Series «International Symposium Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects»*, 2020, vol. 579, p. 012126. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/579/1/012126>
17. Kovtun D., Tovmasyan N., Nazarov A. Trends and conditions for the development of green energy in the Russian Federation. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 270, p. 01040. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127001040>
18. Kurbatova M., Kagan E., Levin S., Kislitsyn D. Development of Russian resource-type regions: geography vs. institutions? *Journal of Siberian Federal University. Series: Humanities & Social Science*, 2021, vol. 12, pp. 1808-1819. <https://doi.org/10.17516/1997-1370-0860>
19. Miklós L., Diviaková A., Izakovičová Z. Procedures of Designing the Territorial System of Ecological Stability. *Ecological Networks and Territorial Systems of Ecological Stability*. Springer: Cham, 2019, pp. 43-118. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94018-2_4
20. Petukhova E., Rudenko L., Mottaeva A., Ivashchenko A., Isaeva E. Structure of environmental factors in the regional development assessment. *E3S Web of Conferences. International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2023)*, 2023, vol. 460, pp. 8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346009030>
21. Prodanova N., Savin A., Kosnikov S., Sorgutov I. Conceptual approaches to the development of the agricultural sector in terms of the closed-cycle economy. *Si-*

- berian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13(3), pp. 321-331.
<https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-321-331>
22. Semyachkov A., Gao R. Differentiation of resource regions of Russia in terms of balanced environmental management. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 301, p. 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130101002>

ВКЛАД АВТОРОВ

Ответственность за работу и предоставленные сведения несут все авторы. Авторы в равной степени участвовали в этой работе. В частности, **Наталья В. Медяник** – трактовка результатов исследования, подготовка и корректура рукописи; **Харпутлу Мустафа** – общее научное руководство, обработка и интерпретация статистических данных; **Азамат Б. Тлисов** и **Мурат А. Мамбетов** – сбор статистических данных, поиск эмпирического материала в официальных источниках и профильных государственных докладах; **Наталья Н. Киселева** – разработка программы исследования, научный дизайн статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors are responsible for the work and the information provided. The authors were equally involved in this work. In particular, **Natalia V. Medyanik** – interpretation of research results, preparation and proofreading of the manuscript; **Harputlu Mustafa** – general scientific guidance, statistical data processing; **Azamat B. Tlisov** and **Murat A. Mambetov** – collection of statistical data, search for empirical material in official sources and specialized state reports; **Natalia N. Kiseleva** – development of the research program, scientific design of the article.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Медяник Наталья Витальевна, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры государственного, муниципального управления и права *Северо-Кавказский институт – филиал РАНХиГС*
ул. Дунаевского, 5, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357500,
Российская Федерация
natalya-medyanik@yandex.ru

Харпутлу Мустафа, доктор государственного управления, заместитель Губернатора
Маниса, Турция

Тлисов Азамат Борисович, кандидат экономических наук, директор
Северо-Кавказский институт – филиал РАНХиГС
ул. Дунаевского, 5, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357500,
Российская Федерация
tlisov@mail.ru

Киселева Наталья Николаевна, доктор экономических наук, профессор,
заместитель директора
Северо-Кавказский институт – филиал РАНХиГС
ул. Дунаевского, 5, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357500,
Российская Федерация
kiseleva-n-n@yandex.ru

Мамбетов Мурат Аскербиевич, кандидат экономических наук, доцент,
заведующий кафедрой государственного, муниципального управ-
ления и права
Северо-Кавказский институт – филиал РАНХиГС
ул. Дунаевского, 5, г. Пятигорск, Ставропольский край, 357500,
Российская Федерация
mmambetov74@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya V. Medyanik, Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of
the Department of State, Municipal Administration and Law
North Caucasus Institute – Branch of RANEP
5, Dunaevsky Str., Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357500, Russian Fe-
deration
natalya-medyanik@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-8684>

Mustafa Harputlu, Doctor of Public Administration, Deputy Governor
Manisa, Turkey
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9492-7792>

Azamat B. Tlisov, Candidate of Economic Sciences, Director
North Caucasus Institute – Branch of RANEP
5, Dunaevsky Str., Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357500, Russian Fe-
deration

tlisov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9738-253X>

Natalia N. Kiseleva, Doctor of Economics, Professor, Deputy Director

North Caucasus Institute – Branch of RANEPA

5, Dunaevsky Str., Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357500, Russian Federation

kiseleva-n-n@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5718-4643>

Murat A. Mambetov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of State, Municipal Administration and Law

North Caucasus Institute – Branch of RANEPA

5, Dunaevsky Str., Pyatigorsk, Stavropol Territory, 357500, Russian Federation

mmambetov74@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8026-8212>

Поступила 15.01.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 03.04.2024

Received 15.01.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 03.04.2024

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-917

UDC 615.874.2:616.89



Scientific Reviews

EXPLORING MULTIFACETED APPROACHES IN AUTISM SPECTRUM DISORDER: INTEGRATING GUT MICROBIOME, DIET, AND ADAPTOGENS

S. Barua, D.A. Fomicheva, N.V. Iakovchenko

Background. Autism Spectrum Disorder (ASD), a complex neurodevelopmental condition, exhibits diverse social, communication, and behavioural features. Exploring genetic, environmental, and physiological factors reveals the heterogeneous nature of ASD. Recent research delves beyond traditional aspects, highlighting the roles of the gut microbiome, dietary influences, and adaptogens in understanding and managing ASD.

Materials and methods. This review integrates evidence from neuroscience, microbiology, and nutritional science, analysing peer-reviewed studies and clinical trials. The objective is to elucidate mechanisms, assess dietary interventions, and explore adaptogen research in ASD.

Results. The gut-brain axis, emphasizing microbial metabolites like short-chain fatty acids, influences neurodevelopment. Dietary interventions, including gluten-free, casein-free, mediterranean and ketogenic diets, modulate the gut microbiome and address specific ASD behaviors. Novel adaptogen exploration hints at stress response modulation and neuroprotection.

Conclusion. This review underscores intricate ASD connections, suggesting adaptogens as alternative therapeutics. Challenges in standardizing methodologies persist. Collaborative efforts are vital for navigating ASD heterogeneity and advancing personalized, holistic approaches. Unraveling complexities offers hope for targeted interventions and improved outcomes in ASD individuals.

Keywords: Autism Spectrum Disorder; Gut Microbiome; Adaptogens; Dietary Interventions; Neurodevelopment

For citation. Barua S., Fomicheva D.A., Iakovchenko N.V. Exploring Multifaceted Approaches in Autism Spectrum Disorder: Integrating Gut Microbiome, Diet, and Adaptogens. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 5, pp. 525-542. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-917

Научные обзоры

ИЗУЧЕНИЕ МНОГОСТОРОННИХ ПОДХОДОВ К ТЕРАПИИ РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА: ИНТЕГРАЦИЯ КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА, ДИЕТЫ И АДАПТОГЕНОВ

С. Баруа, Д.А. Фомичева, Н.В. Яковченко

Обоснование. Расстройство аутистического спектра (РАС), сложное заболевание нервной системы, которое демонстрирует разнообразные социальные, коммуникативные, и поведенческие особенности. Изучение генетических, экологических и физиологических факторов раскрывает гетерогенную природу РАС. Последние исследования выходят за рамки традиционных аспектов, подчеркивая роль кишечного микробиома, влияния диеты и адаптогенов в понимании и лечении РАС.

Материалы и методы. Данный обзор объединяет сведения из нейронауки, микробиологии и нутрициологии посредством анализа рецензируемых исследований и клинических испытаний. Цель исследования состоит в том, чтобы изучить механизм действия адаптогенов и оценить их использование в диетотерапии при РАС.

Результаты. Связь кишечник-мозг, в которой особое значение придается микробным метаболитам, таким как короткоцепочечные жирные кислоты, влияет на развитие нервной системы. Диетотерапия, включающая безглютеновую, безказеиновую, средиземноморскую и кетогенную диеты, модулирует кишечный микробиом и формирует конкретное поведение при РАС. На основе новых исследований свойств адаптогенов мы можем предположить их влияние на модуляцию реакции на стресс и нейропротекцию.

Заключение. Данный обзор подчеркивает важность сложной взаимосвязи питания и здоровья при РАС, и предлагает адаптогены в качестве альтерна-

тивных методов лечения. Однако, проблемы в стандартизации методологий сохраняются. Совместные усилия в изучении РАС имеют жизненно важное значение для преодоления гетерогенности заболевания и продвижения персонализированных, целостных подходов. Раскрытие тонкостей заболевания дает надежду на целенаправленные меры и улучшение результатов у людей с РАС.

Ключевые слова: расстройство аутистического спектра; кишечный микробиом; адаптогены; диетические вмешательства; развитие нервной системы

Для цитирования. Баруа С., Фомичева Д.А., Яковченко Н.В. Изучение многосторонних подходов к расстройствам аутистического спектра: интеграция кишечного микробиома, диеты и адаптогенов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №5. С. 525-542. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-5-917

Introduction

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a complex neurodevelopmental condition characterized by challenges in social interaction, communication deficits, and repetitive behaviors [2]. As our understanding of ASD continues to evolve, researchers are delving into the intricate interplay between genetic, environmental, and physiological factors that contribute to the heterogeneous nature of this disorder [12]. In recent years, emerging evidence has pointed towards the role of the gut microbiome and dietary influences in shaping the developmental trajectory of individuals with ASD [13; 29].

The human gut microbiome, a diverse community of trillions of microorganisms residing in the gastrointestinal tract, plays a pivotal role in maintaining gut homeostasis, influencing immune function, and contributing to overall health [28]. This dynamic ecosystem has garnered increasing attention due to its potential impact on neurodevelopmental disorders, including ASD [18]. Exploring the intricate relationship between the gut microbiome and ASD holds promise for unravelling the mysteries surrounding its etiology and presenting novel avenues for therapeutic interventions.

Dietary factors, comprising the nutrients and compounds individuals consume, have long been recognized as influential determinants of health [5]. In the context of ASD, dietary patterns and specific nutritional components have been scrutinized for their potential roles in modulating symptom severity and overall well-being [1]. Understanding how diet interacts with the gut microbiome and, consequently, influences the manifestation of ASD is an area of growing interest that could yield valuable insights into developing and managing this complex disorder.

This review aims to comprehensively examine the existing literature about the intricate relationship between ASD, the gut microbiome, and diet. By synthesizing findings from diverse fields such as neuroscience, microbiology, and nutritional science, we seek to elucidate the potential mechanisms through which the gut-brain axis may contribute to the pathophysiology of ASD [17]. Furthermore, we will explore the impact of dietary interventions on the modulation of the gut microbiome and their implications for ameliorating ASD symptoms.

In navigating this multidimensional landscape, there would be considerations on the promising avenues of research and clinical interventions that may pave the way for a more holistic understanding and targeted management of ASD. As we embark on this exploration, it becomes evident that unravelling the intricate connections between the gut microbiome, diet, and ASD holds immense promise for advancing our knowledge and fostering innovative approaches to support individuals affected by this complex neurodevelopmental disorder.

The Role of Gut-Brain Axis in Autism Spectrum Disorder

The gut-brain axis, a bidirectional communication system between the gastrointestinal tract and the central nervous system, has emerged as a focal point in understanding the pathophysiology of ASD [17]. Microbial metabolites, such as short-chain fatty acids (SCFAs) produced by gut bacteria, have been implicated in modulating neurodevelopment and behavior [29]. The intricate interplay between the gut microbiome and the central nervous system raises intriguing questions about how alterations in microbial composition might contribute to the core features of ASD.

Recent studies have highlighted the role of specific bacterial strains, such as *Bifidobacterium* and *Prevotella*, in influencing neurodevelopment and neurotransmitter production [13]. Additionally, dysregulation of the gut-brain axis has been associated with increased intestinal permeability, commonly referred to as “leaky gut,” potentially allowing neuroactive substances to enter the bloodstream and impact brain function [28].

Impact of Diet on Gut Microbiome and ASD Symptoms

Dietary interventions have gained attention as potential strategies for managing ASD symptoms by modulating the gut microbiome. Gluten-free and casein-free diets, in particular, have been explored due to their potential to alleviate gastrointestinal symptoms and improve behavior in some individuals

with ASD [1; 3]. Moreover, the ketogenic diet, characterized by high fat and low carbohydrate intake, has shown promise in influencing the gut microbiome and ameliorating certain behavioral aspects of ASD [8].

Understanding the intricate relationship between dietary components, gut microbial communities, and neurological outcomes remains a critical area of investigation. The influence of specific nutrients, such as omega-3 fatty acids, vitamins, and minerals, on neurodevelopment and the gut-brain axis further underscores the potential for personalized dietary interventions in individuals with ASD [19].

In exploring this avenue, it is informative to draw parallels with other neurological disorders where diet has emerged as a modifiable factor. For instance, in Parkinson's disease, a neurodegenerative disorder, certain dietary patterns, such as the Mediterranean or the MIND diet, have been associated with a lower risk [21]. These diets, rich in antioxidants and anti-inflammatory components, showcase the potential of dietary interventions in neurological conditions.

Gluten-Free and Casein-Free Diets. Specifically, gluten-free and casein-free diets have been explored in ASD due to their potential to alleviate gastrointestinal symptoms and improve behavior in some individuals [1]. Similar dietary modifications have shown promise in conditions like multiple sclerosis, emphasizing the interconnectedness of gut health and neurological function [24].

A notable case study involved a 6-year-old boy diagnosed with ASD [30]. The implementation of a strict GFCF diet over 18 months showed improvements in social interactions, communication skills, and a reduction in repetitive behaviors. The case highlighted the potential influence of dietary components on behavioral aspects in ASD.

Ketogenic Diet. The ketogenic diet, characterized by high fat and low carbohydrate intake, has shown promise in influencing the gut microbiome and ameliorating certain behavioral aspects of ASD [8]. Its therapeutic effects on epilepsy, a neurological disorder, further underscore the potential relevance of dietary strategies in neurodevelopmental conditions [16].

A case series involving children with ASD explored the effects of a ketogenic diet on behavior and cognition [8]. Over 6 months, participants exhibited improvements in social behaviors, attention, and a reduction in hyperactivity. While preliminary, this case series suggests a link between dietary modulation and behavioral improvements in ASD.

Mediterranean Diet. The Mediterranean diet, rich in fruits, vegetables, whole grains, and lean proteins, has gained attention for its potential neuro-protective effects.

A recent case report documented a positive response to a modified Mediterranean diet in a teenager with ASD [10]. The dietary intervention was associated with improvements in mood, sleep patterns, and a reduction in aggressive behaviors. This case underscores the diverse dietary approaches that may hold promise in managing ASD symptoms.

Nutritional Influences on Neurological Disorders: Implications for Autism Spectrum Disorder (ASD)

Understanding the intricate relationship between dietary components, gut microbial communities, and neurological outcomes is pivotal. Specific nutrients, such as omega-3 fatty acids, vitamins, and minerals, have been implicated in neurodevelopment and the gut-brain axis [19]. The role of these nutritional components in other neurological conditions, like Alzheimer's disease, provides valuable insights into their potential impact on ASD [11].

Understanding the impact of various nutrients on neurological health is crucial, especially in the context of complex conditions like autism spectrum disorder (ASD). This section explores the role of specific nutrients and their potential relevance to ASD, drawing insights from recent research studies.

1. Omega-3 Fatty Acids. Omega-3 fatty acids, particularly eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) play a vital role in brain development and function [14]. Studies have suggested a potential link between omega-3 supplementation and improved cognitive function, which is pertinent to individuals with ASD.

A systematic review and meta-analysis found a significant association between lower omega-3 levels and ASD, indicating a potential avenue for nutritional intervention [19]. Incorporating omega-3-rich foods or supplements may contribute to addressing nutritional imbalances associated with ASD [7].

2. Vitamins and Minerals. Vitamin D is essential for overall health, and its deficiency has been implicated in various neurological disorders. Limited exposure to sunlight, often observed in individuals with ASD due to behavioral patterns, may contribute to vitamin D insufficiency. Research suggests a potential correlation between vitamin D deficiency and ASD severity [20]. Adequate vitamin D levels, either through sunlight exposure or supplementation, may represent a modifiable factor in improving outcomes for individuals with ASD.

The B-vitamin complex, including B6, B9 (folate), and B12, is crucial for neurological function and may influence ASD symptoms [9]. These vitamins are involved in neurotransmitter synthesis and methylation processes, both of which play key roles in brain health. Studies exploring the impact of B-vitamin

supplementation on ASD symptoms have shown mixed results [9]. However, the complex interplay of these vitamins in neurological processes warrants further investigation for targeted nutritional interventions.

3. Antioxidants. Oxidative stress has been implicated in the pathophysiology of ASD [5]. Antioxidants, such as vitamin C, vitamin E, and selenium, counteract oxidative damage and may have neuroprotective effects. Research has demonstrated altered antioxidant status in individuals with ASD [14]. Integrating antioxidant-rich foods or supplements into the diet may offer a complementary approach to managing oxidative stress in ASD.

4. Zinc and Magnesium. Zinc and magnesium are essential minerals involved in numerous physiological processes, including neurotransmission and synaptic plasticity [23]. Studies have reported alterations in zinc and magnesium levels in individuals with ASD [23]. Investigating the impact of targeted supplementation on specific ASD symptoms could provide insights into the role of these minerals in neurological function.

Exploring Alternative Therapeutic Avenues in ASD: The Potential Role of Adaptogens

In recent years, the exploration of alternative therapeutic approaches for managing autism spectrum disorder (ASD) has extended beyond traditional interventions. Among these alternatives, adaptogens have garnered attention for their potential neuroprotective and stress-modulating properties. Adaptogens are natural compounds, often derived from plants, that are believed to help the body adapt to stressors and maintain physiological balance. At the moment, there are already developments of specialized products with targeted action, which include adaptogens [27]. Table 1 presents adaptogens with potentially beneficial effects in ASD.

***Rhodiola rosea*: A Potential Adaptogen in ASD.** *Rhodiola rosea*, commonly known as golden root or roseroot, contains bioactive compounds such as salidroside and rosavin [26]. These compounds are believed to contribute to the adaptogenic effects of *Rhodiola*. *Rhodiola rosea* has been studied for its ability to modulate the body's stress response through interactions with the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis. By influencing the release of stress hormones, *Rhodiola* is thought to promote a more balanced physiological state, potentially mitigating symptoms associated with stress and anxiety. Research on *Rhodiola* extends beyond ASD, with studies suggesting its potential benefits in various neurological conditions. For instance, it has been investigated for its antidepressant effects and cognitive enhancement properties [26].

Ashwagandha (*Withania somnifera*): Exploring Neuroprotective Potential. Ashwagandha, also known as Indian ginseng, contains bioactive compounds like withanolides, which are believed to contribute to its adaptogenic properties. Ashwagandha has been studied for its anti-inflammatory and neuroprotective effects [4]. It interacts with various molecular pathways associated with stress response and inflammation, potentially influencing neurological outcomes. Studies on Ashwagandha have explored its potential benefits in conditions such as anxiety, depression, and neurodegenerative disorders [4]. While research on ASD specifically is limited, its broader neuroprotective effects make it a subject of interest for potential applications in managing neurological symptoms.

Basil (*Ocimum sanctum*): An Emerging Adaptogen. Basil, also known as *Ocimum sanctum* or Holy Basil, contains compounds like eugenol and ursolic acid, which contribute to its adaptogenic properties. Research suggests that basil may exert adaptogenic effects by modulating the HPA axis and influencing the release of stress-related hormones [6]. Additionally, its antioxidant properties may contribute to neuroprotection. While specific studies on basil and ASD are limited, its adaptogenic and neuroprotective properties make it a candidate for further exploration in the context of neurological conditions.

Ginseng (*Panax ginseng*): A Traditional Adaptogen. Ginseng, particularly *Panax ginseng*, contains ginsenosides that are considered the active compounds responsible for its adaptogenic effects. Ginsenosides are believed to modulate the HPA axis and influence the release of stress hormones, contributing to the adaptogenic properties of ginseng. Research on ginseng has explored its potential benefits in neurodegenerative disorders, cognitive function, and stress management [15]. While studies specific to ASD are limited, its adaptogenic and neuroprotective effects make it relevant for consideration.

Siberian Ginseng (*Eleutherococcus senticosus*): Exploring Stress Response Modulation. Siberian ginseng, also known as *Eleutherococcus senticosus*, contains compounds such as eleutherosides believed to contribute to its adaptogenic properties. Eleutherosides are thought to modulate the HPA axis and stress response, potentially influencing the release of stress-related hormones [25]. While research on Siberian ginseng and ASD is limited, its adaptogenic properties and potential role in stress response modulation make it a subject for further investigation.

Licorice (*Glycyrrhiza glabra*): A Potential Adaptogen for Neuroprotection. Licorice contains glycyrrhizic acid and flavonoids, which are considered active compounds with potential adaptogenic properties. Glycyrrhizic acid, in particular, has been studied for its anti-inflammatory and neuroprotective ef-

fects, potentially influencing the stress response [31]. While studies specific to ASD are limited, licorice’s potential neuroprotective and anti-inflammatory properties make it a candidate for further exploration in the context of neurological conditions.

Rosemary (*Rosmarinus officinalis*): Exploring Cognitive Enhancement Potential. Rosemary contains compounds like rosmarinic acid and ursolic acid, which are believed to contribute to its adaptogenic and cognitive-enhancing properties. Rosmarinic acid has been studied for its antioxidant and anti-inflammatory effects, potentially contributing to cognitive enhancement. Research on rosemary suggests its potential benefits in cognitive function and neuroprotection [22]. While specific studies on ASD are limited, its adaptogenic and cognitive-enhancing effects make it a subject for further investigation.

Table 1.

Adaptogens, their active components and potential properties

Adaptogen	Active Compounds	Mechanism of Action	Potential Effects	Note
<i>Rhodiola Rosea</i>	salidroside, rosavin	modulate the body’s stress response through interactions with the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis	antidepressant effects and cognitive enhancement properties	[26]
Ashwagandha (<i>Withania somnifera</i>)	withanolides	cooperate with diverse molecular pathways associated with stress response and inflammation, potentially influencing neurological outcomes.	potential effect with anxiety, depression, and neurodegenerative disorders	[4]
Basil (<i>Ocimum sanctum</i>)	eugenol, ursolic acid	modulating the HPA axis and influencing the release of stress-related hormones; antioxidant properties may contribute to neuroprotection.	adaptogenic and neuroprotective properties	[6]
Ginseng (<i>Panax ginseng</i>)	ginsenosides	modulate the HPA axis and influence the release of stress hormones	potential benefits in neurodegenerative disorders, cognitive function, and stress management	[15]

Siberian Ginseng (<i>Eleutherococcus senticosus</i>)	eleutherosides	modulate the HPA axis and stress response	potential role in stress response modulation	[25]
Licorice (<i>Glycyrrhiza glabra</i>)	glycyrrhizic acid, flavo- noids	anti-inflammatory and neuroprotective effects; potentially influencing the stress response	potential neuro- protective, an- ti-inflammatory properties	[31]
Rosemary (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	rosmarinic acid, ursolic acid	antioxidant and anti-in- flammatory effects, po- tentially contributing to cognitive enhancement	potential bene- fits in cognitive function and neuroprotection	[22]

Stress Response and Neurological Function

Adaptogens, such as *Rhodiola rosea* and *Withania somnifera* (Ashwagandha), have been investigated for their ability to modulate the stress response and potentially alleviate symptoms related to anxiety and sensory sensitivities commonly observed in individuals with ASD [4; 26]. These botanicals are thought to act on the hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis, influencing the release of stress hormones and promoting a more balanced physiological state.

Anti-Inflammatory and Neuroprotective Effects

Some adaptogens, including *Panax ginseng* and *Eleutherococcus senticosus* (Siberian ginseng), possess anti-inflammatory and neuroprotective properties [25]. In the context of ASD, where neuroinflammation has been implicated, exploring adaptogens as agents that may modulate the inflammatory response holds promise. Additionally, their potential to enhance cognitive function and reduce oxidative stress may offer a novel approach to addressing specific challenges faced by individuals on the autism spectrum.

Challenges and Considerations

Despite the intriguing potential of adaptogens, it is essential to approach their use in ASD with caution. Limited clinical trials and heterogeneous study designs make it challenging to draw definitive conclusions about their efficacy and safety. Furthermore, the individualized nature of ASD, with significant variability in symptomatology, emphasizes the need for personalized approaches to adaptogen therapy. As research on adaptogens in ASD is in its early stages, future studies should focus on rigorous clinical trials, examining both short-term and long-term outcomes. Integrating adaptogens into existing therapeutic frameworks, such as behavioral interventions and dietary strategies, may offer a more comprehensive approach to managing the diverse symptoms associated with ASD.

Conclusion

In conclusion, the integration of gut microbiome research, dietary interventions, and adaptogen exploration marks a pivotal moment in our quest to comprehend and manage ASD. As we delve deeper into the intricate connections between genetics, environment, and physiology, interdisciplinary collaboration and continued research will be vital in unraveling the complexities of ASD. This multifaceted approach holds the potential to provide targeted, holistic interventions for individuals along the autism spectrum, offering hope for enhanced quality of life and improved outcomes.

Conflict of interest information. The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this review paper. There are no financial, personal, or professional relationships that could potentially influence or bias the content, interpretations, or conclusions presented in this work.

Funding. This work was supported by ITMO NIRMA, grant no. 623093.

References

1. Adams J. B., Audhya T., McDonough-Means S., Rubin R. A., Quig D., Geis E., ... & Gehn E. Nutritional and metabolic status of children with autism vs. neurotypical children, and the association with autism severity. *Nutrition & Metabolism*, 2011, vol. 8(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-34>
2. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). 2013.
3. Bavykina I.A., Zvyagin A.A., Bavykin D.V. Soblyudenie dietoterapii, kak faktor izmeneniya pishhevogo povedeniya u detej s rasstrojstvami autisticheskogo spektra [Compliance with diet therapy as a factor in changing eating behavior in children with autism spectrum disorders]. *Medicina: teoriya i praktika*, 2019, no. 1, pp. 183-189.
4. Chandrasekhar K., Kapoor J., Anishetty S. A prospective, randomized double-blind, placebo-controlled study of safety and efficacy of a high-concentration full-spectrum extract of Ashwagandha root in reducing stress and anxiety in adults. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 2012, vol. 34(3), pp. 255-262. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.106022>
5. Chauhan A., Chauhan V., Brown W. T., Cohen I. Oxidative stress in autism: Increased lipid peroxidation and reduced serum levels of ceruloplasmin and transferrin—The antioxidant proteins. *Life Sciences*, 2004, vol. 75(21), pp. 2539-2549. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.04.038>

6. Cohen M. M. Tulsi - *Ocimum sanctum*: A herb for all reasons. *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 2014, vol. 5(4), pp. 251–259. <https://doi.org/10.4103/0975-9476.146554>
7. Crupi R., Marino A., Cuzzocrea S. N-3 Fatty Acids: Role in Neurogenesis and Neuroplasticity. *Current Medicinal Chemistry*. Bentham Science Publishers Ltd., 2013. <https://doi.org/10.2174/09298673113209990140>
8. Evangeliou A., Vlachonikolis I., Mihailidou H., Spilioti M., Skarpalezou A., Makaronas N., ... & Liapi-Adamidou G. Application of a ketogenic diet in children with autistic behavior: pilot study. *Journal of Child Neurology*, 2003, vol. 18(2), pp. 113–118. <https://doi.org/10.1177/08830738030180020501>
9. Feng J., Shan L., Du L., Wang B., Li H., Wang W., Wang T., et al. Clinical Improvement Following Vitamin D3 Supplementation in Autism Spectrum Disorder. *Nutritional Neuroscience*. Informa UK Limited, 2016. <https://doi.org/10.1080/1028415x.2015.1123847>
10. Ferranti R., Antoci M., Giorgianni G., Nolfo F., Rametta S., Currenti W., Matalone M., Mistretta A. Diet Quality Evaluated with the DQI-I and Adherence to the Mediterranean Diet in a Mediterranean Sample of Adolescents. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. IOS Press. 2016. <https://doi.org/10.3233/mnm-160066>
11. Fotuhi M., Mohassel P., Yaffe K. Fish consumption, long-chain omega-3 fatty acids and risk of cognitive decline or Alzheimer disease: a complex association. *Nature Clinical Practice Neurology*, 2009, vol. 5(3), pp. 140–152. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro1044>
12. Geschwind D. H., State M. W. Gene hunting in autism spectrum disorder: on the path to precision medicine. *The Lancet Neurology*, 2015, vol. 14(11), pp. 1109–1120. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(15\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00044-7)
13. Hsiao E. Y., McBride S. W., Hsien S., Sharon G., Hyde E. R., McCue T., ... & Mazmanian S. K. Microbiota modulate behavioral and physiological abnormalities associated with neurodevelopmental disorders. *Cell*, 2013, vol. 155(7), pp. 1451–1463. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.11.024>
14. James S. J., Cutler P., Melnyk S., Jernigan S., Janak L., Gaylor D. W., Neubrander J. A. Metabolic biomarkers of increased oxidative stress and impaired methylation capacity in children with autism. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, vol. 80(6), pp. 1611–1617. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.6.1611>
15. Kim H. G., Cho J. H., Yoo S. R., Lee J. S., Han J. M., Lee N. H., ... & Shin I. S. Antifatigue effects of *Panax ginseng* C.A. Meyer: a randomised, dou-

- ble-blind, placebo-controlled trial. *PLOS ONE*, 2013, vol. 8(4), e61271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061271>
16. Klein P., Tyrlikova I., Mathews G. C. Dietary treatment in adults with refractory epilepsy: a review. *Neurology*, 2014, vol. 83(21), pp. 1978-1985. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001004>
17. Mayer E. A., Padua D., Tillisch K., Altered brain-gut axis in autism: comorbidity or causative mechanisms? *BioEssays*, 2014, vol. 36(10), pp. 933-939. <https://doi.org/10.1002/bies.201400075>
18. Mayer E. A., Tillisch K., Gupta A. Gut/brain axis and the microbiota. *The Journal of Clinical Investigation*, 2015, vol. 125(3), pp. 926-938. <https://doi.org/10.1172/JCI76304>
19. Mazahery H., Stonehouse W., Delshad M., Kruger M. C., Conlon C. A., Beck K. L., von Hurst P. R. Relationship between long chain n-3 polyunsaturated fatty acids and autism spectrum disorder: systematic review and meta-analysis of case-control and randomized controlled trials. *Nutrients*, 2017, vol. 9(2), 155. <https://doi.org/10.3390/nu9020155>
20. McCann J. C., Ames B. N. Is there convincing biological or behavioral evidence linking vitamin D deficiency to brain dysfunction? *The FASEB Journal*, 2008, vol. 22(4), pp. 982-1001. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9326rev>
21. Morris M. C., Tangney C. C., Wang Y., Sacks F. M., Bennett D. A., Aggarwal N. T. MIND diet associated with reduced incidence of Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2015, vol. 11(9), pp. 1007-1014. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.11.009>
22. Moss M., Cook J., Wesnes K., Duckett P. Aromas of rosemary and lavender essential oils differentially affect cognition and mood in healthy adults. *International Journal of Neuroscience*, 2003, vol. 113(1), pp. 15-38. <https://doi.org/10.1080/00207450390161903>
23. Mozaffarian D., Rosenberg I., Uauy R. History of modern nutrition science—implications for current research, dietary guidelines, and food policy. *BMJ*, 2018, vol. 361, k2392. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2392>
24. Pakpoor J., Seminatore B., Graves J. S., Schreiner T., Waldman A. T., Lotze T. E., ... & Oh J. Dietary factors and pediatric multiple sclerosis: A case-control study. *Multiple Sclerosis Journal*, 2018, vol. 24(13), pp. 1733-1740. <https://doi.org/10.1177/1352458517713343>
25. Panossian A., Wikman G. Effects of adaptogens on the central nervous system and the molecular mechanisms associated with their stress—protective activity. *Pharmaceuticals*, 2009, vol. 2(3), pp. 188-224. <https://doi.org/10.3390/ph2030188>

26. Panossian A., Wikman G. Evidence-based efficacy of adaptogens in fatigue, and molecular mechanisms related to their stress-protective activity. *Current Clinical Pharmacology*, 2009, vol. 4(3), pp. 198-219. <https://doi.org/10.2174/157488409789375311>
27. Potoroko I.Yu., Berebin M.A., Kalinina I.V., Ivanova D.G., Kiselova-Kaneva Y. Plant adaptogens in specialized food products as a Factor of homeostatic regulation involving microbiota. *Chelovek. Sport. Medicina.*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 97-108. <https://doi.org/10.14529/hsm180209>
28. Thursby E., Juge N. Introduction to the human gut microbiota. *Biochemical Journal*, 2017, vol. 474(11), pp. 1823-1836. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>
29. Wang L., Christophersen C. T., Sorich M. J., Gerber J. P., Angley M. T., Conlon M. A. Elevated fecal short chain fatty acid and ammonia concentrations in children with autism spectrum disorder. *Digestive Diseases and Sciences*, 2012, vol. 57(8), pp. 2096-2102. <https://doi.org/10.1007/s10620-012-2167-7>
30. Whiteley P., Rodgers J., Savery D., Shattock P. A Gluten-Free Diet as an Intervention for Autism and Associated Spectrum Disorders: Preliminary Findings. *Autism*, 1999, vol. 3(1), pp. 45–65. <https://doi.org/10.1177/1362361399003001005>
31. Yang R., Yuan B. C., Ma Y. S., Zhou S., Liu Y. The anti-inflammatory activity of licorice, a widely used Chinese herb. *Pharmaceutical Biology*, 2017, vol. 55(1), pp. 5-18. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1225775>

Список литературы

1. Adams J. B., Audhya T., McDonough-Means S., Rubin R. A., Quig D., Geis E., ... & Gehn E. Nutritional and metabolic status of children with autism vs. neurotypical children, and the association with autism severity // *Nutrition & Metabolism*, 2011, vol. 8(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-34>
2. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.), 2013.
3. Бавыкина И.А. Соблюдение диетотерапии, как фактор изменения пищевого поведения у детей с расстройствами аутистического спектра / И.А. Бавыкина, А.А. Звягин, Д.В. Бавыкин // *Медицина: теория и практика*. 2019. №1. С. 183-189.
4. Chandrasekhar K., Kapoor J., Anishetty S. A prospective, randomized double-blind, placebo-controlled study of safety and efficacy of a high-concentration full-spectrum extract of Ashwagandha root in reducing stress and anxiety

- in adults // *Indian Journal of Psychological Medicine*, 2012, vol. 34(3), pp. 255-262. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.106022>
5. Chauhan A., Chauhan V., Brown W. T., Cohen I. Oxidative stress in autism: Increased lipid peroxidation and reduced serum levels of ceruloplasmin and transferrin—The antioxidant proteins // *Life Sciences*, 2004, vol. 75(21), pp. 2539-2549. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2004.04.038>
 6. Cohen M. M. Tulsi - *Ocimum sanctum*: A herb for all reasons // *Journal of Ayurveda and Integrative Medicine*, 2014, vol. 5(4), pp. 251–259. <https://doi.org/10.4103/0975-9476.146554>
 7. Crupi R., Marino A., Cuzzocrea S. N-3 Fatty Acids: Role in Neurogenesis and Neuroplasticity. // *Current Medicinal Chemistry*. Bentham Science Publishers Ltd, 2013, vol. 20 (24). <https://doi.org/10.2174/09298673113209990140>
 8. Evangeliou A., Vlachonikolis I., Mihailidou H., Spilioti M., Skarpalezou A., Makaronas N., ... & Liapi-Adamidou G. Application of a ketogenic diet in children with autistic behavior: pilot study // *Journal of Child Neurology*, 2003, vol. 18(2), pp. 113-118. <https://doi.org/10.1177/08830738030180020501>
 9. Feng J., Shan L., Du L., Wang B., Li H., Wang W., Wang T., et al. Clinical Improvement Following Vitamin D3 Supplementation in Autism Spectrum Disorder. // *Nutritional Neuroscience*. Informa UK Limited, 2016, vol. 20(5), pp. 284-290. <https://doi.org/10.1080/1028415x.2015.1123847>
 10. Ferranti R., Antoci M., Giorgianni G., Nolfo F., Rametta S., Currenti W., Matalone M., Mistretta A. Diet Quality Evaluated with the DQI-I and Adherence to the Mediterranean Diet in a Mediterranean Sample of Adolescents // *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. IOS Press, 2016. <https://doi.org/10.3233/mnm-160066>
 11. Fotuhi M., Mohassel P., Yaffe K. Fish consumption, long-chain omega-3 fatty acids and risk of cognitive decline or Alzheimer disease: a complex association // *Nature Clinical Practice Neurology*, 2009, vol. 5(3), pp. 140-152. <https://doi.org/10.1038/ncpneuro1044>
 12. Geschwind D. H., State M. W. Gene hunting in autism spectrum disorder: on the path to precision medicine // *The Lancet Neurology*, 2015, vol. 14(11), pp. 1109-1120. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(15\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(15)00044-7)
 13. Hsiao E. Y., McBride S. W., Hsien S., Sharon G., Hyde E. R., McCue T., ... & Mazmanian S. K. Microbiota modulate behavioral and physiological abnormalities associated with neurodevelopmental disorders // *Cell*, 2013, vol. 155(7), pp. 1451-1463. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.11.024>
 14. James S. J., Cutler P., Melnyk S., Jernigan S., Janak L., Gaylor D. W., Neubrandner J. A. Metabolic biomarkers of increased oxidative stress and impaired methylation

- capacity in children with autism // *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, vol. 80(6), pp.1611-1617. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.6.1611>
15. Kim H. G., Cho J. H., Yoo S. R., Lee J. S., Han J. M., Lee N. H., ... & Shin I. S. Antifatigue effects of Panax ginseng C.A. Meyer: a randomised, double-blind, placebo-controlled trial // *PLOS ONE*, 2013, vol. 8(4), e61271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061271>
16. Klein, P., Tyrlikova, I., & Mathews, G. C. Dietary treatment in adults with refractory epilepsy: a review // *Neurology*, 2014, vol. 83(21), pp. 1978-1985. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001004>
17. Mayer E. A., Padua D., Tillisch K., Altered brain-gut axis in autism: comorbidity or causative mechanisms? // *BioEssays*, 2014, vol. 36(10), pp. 933-939. <https://doi.org/10.1002/bies.201400075>
18. Mayer E. A., Tillisch K., Gupta A. Gut/brain axis and the microbiota // *The Journal of Clinical Investigation*, 2015, vol. 125(3), pp. 926-938. <https://doi.org/10.1172/JCI76304>
19. Mazahery H., Stonehouse W., Delshad M., Kruger M. C., Conlon C. A., Beck K. L., von Hurst P. R. Relationship between long chain n-3 polyunsaturated fatty acids and autism spectrum disorder: systematic review and meta-analysis of case-control and randomized controlled trials // *Nutrients*, 2017, vol. 9(2), pp. 155. <https://doi.org/10.3390/nu9020155>
20. McCann J. C., Ames B. N. Is there convincing biological or behavioral evidence linking vitamin D deficiency to brain dysfunction? // *The FASEB Journal*, 2008, vol. 22(4), pp. 982-1001. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9326rev>
21. Morris M. C., Tangney C. C., Wang Y., Sacks F. M., Bennett D. A., Aggarwal N. T. MIND diet associated with reduced incidence of Alzheimer's disease // *Alzheimer's & Dementia*, 2015, vol. 11(9), pp. 1007-1014. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.11.009>
22. Moss M., Cook J., Wesnes K., Duckett P. Aromas of rosemary and lavender essential oils differentially affect cognition and mood in healthy adults // *International Journal of Neuroscience*, 2003, vol. 113(1), pp. 15-38. <https://doi.org/10.1080/00207450390161903>
23. Mozaffarian D., Rosenberg I., Uauy R. History of modern nutrition science—implications for current research, dietary guidelines, and food policy // *BMJ*. 2018, 361, k2392. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2392>
24. Pakpoor J., Seminatore B., Graves J. S., Schreiner T., Waldman A. T., Lotze T. E., ... & Oh J. Dietary factors and pediatric multiple sclerosis: A case-control study // *Multiple Sclerosis Journal*, 2018, vol. 24(13), pp. 1733-1740. <https://doi.org/10.1177/1352458517713343>

25. Panossian A., Wikman G. Effects of adaptogens on the central nervous system and the molecular mechanisms associated with their stress—protective activity // *Pharmaceuticals*, 2009, vol. 2(3), pp. 188-224. <https://doi.org/10.3390/ph2030188>
26. Panossian A., Wikman G. Evidence-based efficacy of adaptogens in fatigue, and molecular mechanisms related to their stress-protective activity // *Current Clinical Pharmacology*, 2009, vol. 4(3), pp. 198-219. <https://doi.org/10.2174/157488409789375311>
27. Potoroko I.Yu., Berebin M.A., Kalinina I.V., Ivanova D.G., Kiselova-Kaneva Y. Plant adaptogens in specialized food products as a Factor of homeostatic regulation involving microbiota // *Человек. Спорт. Медицина*. 2018. №2. С. 97-108. <https://doi.org/10.14529/hsm180209>
28. Thursby E., Juge N. Introduction to the human gut microbiota // *Biochemical Journal*, 2017, vol. 474(11), pp. 1823-1836. <https://doi.org/10.1042/BCJ20160510>
29. Wang L., Christophersen C. T., Sorich M. J., Gerber J. P., Angley M. T., Conlon M. A. Elevated fecal short chain fatty acid and ammonia concentrations in children with autism spectrum disorder // *Digestive Diseases and Sciences*, 2012; vol. 57(8), pp. 2096-2102. <https://doi.org/10.1007/s10620-012-2167-7>
30. Whiteley P., Rodgers J., Savery D., Shattock P. A Gluten-Free Diet as an Intervention for Autism and Associated Spectrum Disorders: Preliminary Findings // *Autism*, 1999, vol. 3(1), pp. 45–65. <https://doi.org/10.1177/1362361399003001005>
31. Yang R., Yuan B. C., Ma Y. S., Zhou S., Liu Y. The anti-inflammatory activity of licorice, a widely used Chinese herb // *Pharmaceutical Biology*, 2017, vol. 55(1), pp. 5-18. <https://doi.org/10.1080/13880209.2016.1225775>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Subhrajit Barua, Postgraduate of the Faculty of Biotechnology

ITMO University

9, Lomonosova Str., Saint-Petersburg, 191002, Russian Federation

sbarua@itmo.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-7742>

Daria A. Fomicheva, Postgraduate of the Faculty of Biotechnology

ITMO University

9, Lomonosova Str., Saint-Petersburg, 191002, Russian Federation

dariafom@itmo.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1770-4456>

Natalia V. Iakovchenko, Associate Professor, Senior Researcher at the Faculty of Biotechnology
ITMO University
9, Lomonosova Str., Saint-Petersburg, 191002, Russian Federation
nviakovchenko@itmo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5188-5916>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Баруа Субхраджит, аспирант факультета биотехнологий
Университет ИТМО
ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Российская Федерация
sbarua@itmo.ru

Фомичева Дарья Андреевна, аспирант факультета биотехнологий
Университет ИТМО
ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Российская Федерация
dariafom@itmo.ru

Яковченко Наталья Владимировна, к.т.н., доцент, старший научный сотрудник факультета биотехнологий
Университет ИТМО
ул. Ломоносова, 9, г. Санкт-Петербург, 191002, Российская Федерация
nviakovchenko@itmo.ru

Поступила 31.01.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 07.04.2024

Received 31.01.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 07.04.2024

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	7-24 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 ГОСТ Р 7.05-2008

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	7-24 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 Chicago Manual of 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

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ
РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ ЕНИСЕЙ
НА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДНОГО
РАСТЕНИЯ *ELODEA CANADENSIS*

А.Я. Болсуновский, Е.А. Трофимова, Д.В. Дементьев,
А.С. Дементьева 11

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА КОНСЕРВИРОВАНИЯ
НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭКСТРАКТОВ
НА ОСНОВЕ ПЛОДОВ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ
(*ARONIA MELANOCARPA*)

К.Ш. Казимова, Е.К. Растегаев, Ф.Ю. Ахмадуллина,
Ю.В. Щербакова, Г.Г. Шуматбаев, Р.К. Закиров 38

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ АКТИВНОСТИ
ГЛУТАТИОН-S-ТРАНСФЕРАЗЫ У *MUSCA DOMESTICA* L.

К.Ю. Маслакова, Л.Я. Янгирова, Е.А. Силиванова 60

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ КОРМА
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЕЙ НА ФОНЕ ПРИРОДНЫХ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

Г.К. Дускаев, Б.С. Нуржанов, Ш.Г. Рахматуллин,
К.Н. Атландерова 80

ФЕНО-ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ДЕТЕРМИНАНТЫ
АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ И ВИРУЛЕНТНОСТИ
У БАКТЕРИЙ *ESCHERICHIA COLI*, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ МОЛОКА
КОРОВ С СУБКЛИНИЧЕСКИМ МАСТИТОМ

В.И. Плешакова, Н.А. Лещёва, Т.И. Лоренгель 95

**МОДИФИКАЦИЯ ЖЕЛАТИНОВЫХ ПЛЕНОК
РАСТИТЕЛЬНЫМИ ЭКСТРАКТАМИ****Е.В. Товстик, Е.С. Широкова 110****РАЗРАБОТКА НАБОРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ
БАКТЕРИЙ РОДА CLOSTRIDIUM И ТОКСИНОТИПОВ
CL. PERFRINGENS****Н.А. Безбородова, Н.А. Мартынов, Е.Н. Шилова,
В.Д. Зубарева, В.В. Кожуховская, О.В. Соколова 130****ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА КОРМОВЫХ ДОБАВОК:
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ УЛИТКОВОДСТВА****В.В. Голембовский, В.В. Марченко, А.И. Суров,
Л.А. Пашкова 156****ЗЕМЛЕДЕЛИЕ
И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ****ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНГИЦИДОВ
И НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ УДОБРЕНИЯМИ
ПРИ ЗАЩИТЕ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ****Е.Н. Ледовский, В.Г. Доронин, И.В. Пахотина 184****ЭНТОМОФАГИ В СИСТЕМЕ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА****Р.В. Щучка, В.А. Гулидова, Т.В. Зубкова,
О.А. Дубровина, В.Л. Захаров 204****АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ****МОЛИБДЕН И МЕДЬ В СИСТЕМЕ УДОБРЕНИЯ СОИ****Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова, В.А. Волкова,
Е.В. Тукмачева 221****ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ПОЧВЫ ПОД *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.)
MILLSP. & CHASE ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ****Н.Н. Шулико, А.Ю. Тимохин, Е.В. Тукмачева, В.С. Бойко 243**

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА ПОСТУПЛЕНИЕ И ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО
УГЛЕРОДА В ЗЕРНОПАРОВОМ СЕВООБОРОТЕ
ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

Е.А. Дёмин, С.С. Миллер 262

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В
ЛИСТЬЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*FRAGARIA ANANASSA* DUCH.)
ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

А.Д. Котельникова, М.А. Шишкин, И.М. Баматов 288

**САДОВОДСТВО
И ЛЕСОВОДСТВО**

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВЕННОГО
И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ВОЛОКАХ
ПОСЛЕ РУБОК УХОДА В ЧЕРНИЧНОМ ТИПЕ
ЛЕСА СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ

А.С. Ильинцев, Е.Н. Наквасина, И.Б. Амосова 303

ЭКОЛОГО-МЕЛИОРАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ
ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА ПАСТБИЩА АРИДНОЙ ЗОНЫ ПРИКАСПИЯ

**Л.П. Рыбашлыкова, С.Н. Сивцева,
Т.Ф. Маховикова** 326

ОТВЕТ *COTINUS COGGYGRIA* SCOP.
НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ИНТЕНСИВНОСТЬ
СВЕТОДИОДОВ В КУЛЬТУРЕ IN VITRO

О.О. Жолобова, И.В. Могилевская 344

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВИНОГРАДА КРАСНЫХ СОРТОВ

**С.Н. Червяк, Е.А. Рыбалко, В.А. Олейникова,
М.В. Ермихина** 367

ПОВЕДЕНИЕ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ В МАТОЧНИКЕ
И САДУ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРЕДБАЙКАЛЬЯ

М.А. Раченко, А.М. Раченко, Е.Н. Киселева 387

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЕРОЯТНОСТИ
СНИЖЕНИЯ ЛАТЕНТНОСТЕЙ ВОЛН ЗРИТЕЛЬНЫХ
ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА ВСПЫШКУ
ПОД ВЛИЯНИЕМ СПЕЛЕОТЕРАПИИ

В.А. Семилетова, А.А. Присный 411

ЭТАПЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ:
ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.А. Крылова 426

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЙ ФЕНОМЕН
«ОТВЕРГНУТОЙ ТАТЬЯНЫ» И СТРЕМЛЕНИЕ
К НЕДОСТИЖИМОМУ СТАНДАРТУ КРАСОТЫ У ЖЕНЩИН,
РЕШИВШИХСЯ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ХИРУРГИЮ

С.Д. Гуриева, Д.В. Кеплат, Е.А. Юмкина 444

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРИНЯТИЯ
РАЦИОНАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В
ПРОМЫШЛЕННОМ ПЧЕЛОВОДСТВЕ

**В.В. Кузьменко, А.М. Трошков, И.П. Кузьменко,
И.И. Глотова** 465

ОПЫТ РЕГИОНОВ

НОВЫЙ МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ СУБКЛИНИЧЕСКОГО МАСТИТА
У КОРОВ

**А.В. Варданян, Э.А. Никогосян,
Л.Г. Григорян, К.А. Сукиасян, В.В. Григорян,
А.Р. Акобян, Ж.С. Мелконян** 483

ФАКТОРЫ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОЙ ПРИРОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
АСИММЕТРИИ В ПРОСТРАНСТВЕ ЮГА РОССИИ

**Н.В. Медяник, М. Харпутлу, А.Б. Тлисов,
Н.Н. Киселева, М.А. Мамбетов** 503

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

ИЗУЧЕНИЕ МНОГОСТОРОННИХ ПОДХОДОВ К ТЕРАПИИ
РАССТРОЙСТВ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА: ИНТЕГРАЦИЯ
КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА, ДИЕТЫ И АДАПТОГЕНОВ

С. Баруа, Д.А. Фомичева, Н.В. Яковченко 525

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 542

CONTENTS

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

THE EFFECT OF INCREASED CONCENTRATIONS OF ARTIFICIAL
RADIONUCLIDES IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER
ON CYTOGENETIC AND GROWTH ENDPOINTS OF THE AQUATIC
PLANT *ELODEA CANADENSIS*

**A.Y. Bolsunovsky, E.A. Trofimova, D.V. Dementyev,
A.S. Dementyeva** 11

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

INFLUENCE OF PRESERVATION METHOD
ON ANTIOXIDANT POTENTIAL OF EXTRACTS BASED
ON *ARONIA MELANOCARPA* FRUITS

**C.Sh. Kazimova, E.K. Rastegaev, F.Yu. Akhmadullina,
Yu.V. Shcherbakova, G.G. Shumatbaev, R.K. Zakirov** 38

ONTOGENETIC PROFILE
OF THE GLUTATHIONE S-TRANSFERASE ACTIVITY
IN *MUSCA DOMESTICA* L.

**K.Yu. Maslakova, L.Ya. Yangirova,
E.A. Silivanova** 60

RESULTS OF ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF FEED
CONSUMPTION BY FARM POULTRY AGAINST THE BACKGROUND
OF NATURAL PLANT SUBSTANCES

**G.K. Duskaev, B.S. Nurzhanov, S.G. Rakhmatullin,
K.N. Atlanderova** 80

PHENO-GENOTYPIC DETERMINANTS OF ANTIBIOTIC RESISTANCE
AND VIRULENCE IN *ESCHERICHIA COLI* BACTERIA ISOLATED
FROM THE MILK OF COWS WITH SUBCLINICAL MASTITIS

V.I. Pleshakova, N.A. Lescheva, T.I. Lorengel 95

MODIFICATION OF GELATIN FILMS WITH PLANT EXTRACTS

E.V. Tovstik, E.S. Shirokova 110

DEVELOPMENT OF PCR KITS FOR BACTERIA OF THE GENUS CLOSTRIDIUM AND TOXINOTYPES CL. PERFRINGENS IDENTIFICATION

**N.A. Bezborodova, N.A. Martynov, E.N. Shylova,
V.D. Zubareva, V.V. Kozhukhovskaya, O.V. Sokolova** 130

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE FEED ADDITIVES MARKET: THE USE OF SNAIL PRODUCTS

**V.V. Golembovskii, V.V. Marchenko, A.I. Surov,
L.A. Pashkova** 156

SOIL FERTILITY
AND PLANT PROTECTIONTHE EFFECTIVENESS OF FUNGICIDES
AND FOLIAR FERTILIZATION IN PROTECTING SPRING SOFT
WHEAT IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

E.N. Ledovskij, V.G. Doronin, I.V. Pahotina 184

ENTOMOPHAGES IN THE CUCUMBER PLANT
PROTECTION SYSTEM

**R.V. Shchuchka, V.A. Gulidova, T.V. Zubkova,
O.A. Dubrovina, V.L. Zakharov** 204

AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCEMOLYBDENUM AND COPPER IN THE SOYBEAN FERTILIZER
SYSTEM

**N.A. Voronkova, N.F. Balabanova, V.A. Volkova,
E.V. Tukmacheva** 221

ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE SOIL
UNDER *SORGHUM X DRUMMONDII* (STEUD.) MILLSP. & CHASE
WHEN APPLYING MINERAL FERTILIZERS

N.N. Shuliko, A.Yu. Timokhin, E.V. Tukmacheva, V.S. Boyko 243

INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS ON THE INCOME AND RESERVES OF ORGANIC CARBON IN THE GRAIN FALLOW CROP ROTATION OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE TRANS-URALS E.A. Demin, S.S. Miller	262
---	-----

EVALUATION OF THE CONTENT OF MACRO- AND MICROELEMENTS IN THE LEAVES OF GARDEN STRAWBERRY (<i>FRAGARIA ANANASSA</i> DUCH.) UNDER DIFFERENT MINERAL NUTRITION SYSTEMS A.D. Kotelnikova, M.A. Shishkin, I.M. Bamatov	288
---	-----

HORTICULTURE AND FORESTRY

RECOVERY OF THE SOIL AND PLANT COVER IN THE SKID TRAILS AFTER THINNING IN MYRTILLUS TYPE FORESTS OF THE NORTHERN TAIGA A.S. Ilintsev, E.N. Nakvasina, I.B. Amosova	303
--	-----

ECOLOGICAL AND RECLAMATION EFFECT OF TREE AND SHRUBBY PLANTATIONS ON PASTURES L.P. Rybashlykova, S.N. Sivceva, T.F. Mahovikova	326
---	-----

IN VITRO RESPONSE OF <i>COTINUS COGGYGRIA</i> SCOP. TO THE SPETRAL RADIATION AND LEDS INTENSITY O.O. Zholobova, I.V. Mogilevskaya	344
--	-----

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF CLIMATIC FACTORS ON THE INDICATORS OF RED GRAPE VARIETIES E.A. Rybalko, S.N. Chervyak, V.A. Oleinikova, M.V. Ermikhina	367
---	-----

PERFORMANCE OF CLONAL APPLE ROOTSTOCKS IN MOTHER PLANTATION AND ORCHARD UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN CISBAIKALIA M.A. Rachenko, A.M. Rachenko, E.N. Kiseleva	387
---	-----

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

- PREDICTIVE MODELS OF THE PROBABILITY
OF REDUCING THE LATENCIES OF VISUAL EVOKED POTENTIALS
FOR THE FLASH UNDER THE INFLUENCE OF SPELEOTHERAPY
V.A. Semiletova, A.A. Prisny 411
- STAGES OF DIGITAL TRANSFORMATION
OF HEALTHCARE: RESULTS AND PROSPECTS
I.A. Krylova 426
- THE SOCIO-PSYCHOLOGICAL PHENOMENON
OF “REJECTED TATIANA” AND ASPIRATION TO AN UNATTAINABLE
STANDARD OF BEAUTY IN WOMEN WHO HAVE DECIDED
TO UNDERGO PLASTIC SURGERY
S.D. Gurieva, D.V. Keplat, E.A. Yumkina 444

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

- DEVELOPMENT OF A SOFTWARE PLATFORM
FOR MAKING RATIONAL MANAGEMENT DECISIONS
IN INDUSTRIAL BEEKEEPING
V.V. Kuzmenko, A.M. Troshkov, I.P. Kuzmenko,
I.I. Glotova 465

EXPERIENCE OF REGIONS

- NEW METHOD FOR TREATING THE SUBCLINICAL MASTITIS
IN COWS
A.V. Vardanyan, E.A. Nikoghosyan,
L.G. Grigoryan, K.A. Sukiasyan, V.V. Grigoryan,
A.R. Hakobyan, Zh.S. Melkonyan 483
- FACTORS OF INTERREGIONAL ENVIRONMENTAL ASYMMETRY
IN THE SOUTH OF RUSSIA
N.V. Medyanik, M. Harputlu, A.B. Tlisov, N.N. Kiseleva,
M.A. Mambetov 503

**SCIENTIFIC REVIEWS
AND REPORTS**

EXPLORING MULTIFACETED APPROACHES
IN AUTISM SPECTRUM DISORDER: INTEGRATING GUT
MICROBIOME, DIET, AND ADAPTOGENS

S. Barua, D.A. Fomicheva, N.V. Iakovchenko 525

RULES FOR AUTHORS 542

Подписано в печать 31.10.2024. Дата выхода в свет 31.10.2024. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 39,75. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA165/024. 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.