

ISSN 2658-6649

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

www.discover-journal.ru



Volume 16, Number 3
2024

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 16, Number 3
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, № 3, 2024 / Vol. 16, No 3, 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 РГАТУ Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева (Рязань, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Калягин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, 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 (Мггиши, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Пронина Галина Иозеповна, 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

дарственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Board Members

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-849

УДК 615.256.3



Обзорная статья

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ПРОТИВОЗАЧАТОЧНОЙ ВАГИНАЛЬНОЙ
ПЛЕНКИ ZB-06**

**Ю.А. Кучеренко, Д.С. Борисенко, А.Е. Борисенко,
Ю.А. Авдеева, А.С. Кордыш**

При большой частоте незапланированных беременностей во многих странах существует острая необходимость в более доступных и эффективных противозачаточных средствах. В последние годы учеными всего мира активно разрабатываются новые методы барьерной контрацепции. Данный метод очень прост и удобен в связи с тем, что у него нет системного влияния, минимизированы побочные явления, и женщина может использовать его тогда, когда ей это необходимо. Для того, чтобы заполнить пробел в данной нише, учеными была разработана вагинальная противозачаточная пленка ZB-06, содержащая человеческое противозачаточное антитело (ЧПА) HC4-N.

Цель работы. Изучить литературные источники по применению противозачаточных средств с акцентом на применение вагинальной пленки ZB-06.

Материалы и методы. Для анализа литературы использовались материалы ресурсов PubMed и PubMed Central национальной медицинской библиотеки США, Google Scholar, Elsevier Clinical Key и Elsevier Science Direct. Для анализа научной литературы был использован качественный метод, основанный на контент-анализе, а именно определение единиц анализа - заголовки, аннотации и ключевые слова статей; подсчет частоты и процентного распределения единиц анализа по категориям анализа, используя программу Excel; интерпретация и обобщение результатов анализа.

Результаты. В данном обзоре представлены обобщенные результаты исследований противозачаточных методов с акцентом на новую противоза-

чаточную пленку ZB-06. Данный метод контрацепции обеспечивает эффективные уровни антиспермальных антител слизистой оболочки в течение как минимум 3 часов после использования.

Заключение. Противозачаточная вагинальная пленка ZB-06 – это инновационная, негормональная, местно применяемая вагинальная пленка (содержащая ЧПА HC4-N), которая в 1 фазе исследования показала высокий уровень эффективности и соответствовала требованиям безопасности, предъявляемым к средствам контрацепции.

Ключевые слова: контрацепция; противозачаточное антитело; посткоитальный тест; подвижные сперматозоиды

Для цитирования. Кучеренко Ю.А., Борисенко Д.С., Борисенко А.Е., Авдеева Ю.А., Кордыш А.С. Перспективы применения противозачаточной вагинальной пленки ZB-06 // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 11-24. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-849

Scientific Review

PROSPECTS FOR THE USE OF CONTRACEPTIVE VAGINAL PATCH ZB-06

*Y.A. Kucherenko, D.S. Borisenko, A.E. Borisenko,
Y.A. Avdeeva, A.S. Kordysh*

With the high frequency of unplanned pregnancies in many countries, there is an urgent need for more affordable and effective contraceptives. In recent years, scientists around the world have been actively developing new methods of barrier contraception. This method is very simple and convenient due to the fact that it has no systemic effect, side effects are minimized, and a woman can use it when she needs it. In order to fill the gap in this niche, scientists have developed the ZB-06 vaginal contraceptive film containing the HC4-N human contraceptive antibody (HPA).

Purpose. Study literature sources on the use of contraceptive vaginal film ZB-06.

Materials and methods. Materials from PubMed and PubMedCentral resources of the US National Library of Medicine, Google Scholar, Elsevier Clinical Key and Elsevier Science Direct were used to analyze the literature. For the analysis of scientific literature, a qualitative method based on content analysis was used, namely, the definition of units of analysis - headings, annotations and keywords

of articles; calculation of the frequency and percentage distribution of analysis units by analysis categories using the Excel program; interpretation and generalization of analysis results.

Results. *This review presents summarized research results that demonstrate that the ZB-06 contraceptive film has a number of advantages and disadvantages. This method of contraception provides effective levels of mucosal antisperm antibodies for at least 3 hours after use.*

Conclusion. *Contraceptive vaginal film ZB-06 is an innovative, non-hormonal, topically applied vaginal film (containing HC4-N PPA), which in phase 1 of the study showed a high level of effectiveness and met the safety requirements for contraceptives.*

Keywords: *contraception; contraceptive antibody; postcoital test; motile sperm*

For citation. *Kucherenko Y.A., Borisenko D.S., Borisenko A.E., Avdeeva Y.A., Kordysh A.S. Prospects for the Use of Contraceptive Vaginal Patch ZB-06. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 11-24. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-849*

Введение

Новые методы контрацепции расширяют возможности для людей, стремящихся предотвратить беременность. Исследования в области контрацептивных технологий могут решить проблемы, связанные с рисками, безопасностью или удобством существующих методов.

Вагинальные пленки представляют собой фармацевтическую форму, вызывающую все больший интерес исследователей. Их универсальность с точки зрения используемого сырья и технологий изготовления, а также их потенциальные преимущества перед другими лекарственными формами для вагинального введения указывают на большие перспективы в области их применения.

Противозачаточные пленки – это относительно новый метод контрацепции, который становится все более популярным. Они представляют собой тонкие, эластичные пленки, которые вводятся во влагалище и растворяются в течение нескольких часов.

Основными преимуществами вагинальных пленок по сравнению с другими лекарственными формами являются их небольшой размер и толщина, а также тот факт, что они просты и экономичны в изготовлении и могут быть удобно введены без необходимости использования аппликатора [3, 4]. Многочисленные преимущества вагинальных пленок перед другими

методами гарантируют их дальнейшее развитие. В этом обзоре мы обсуждаем эффективность, побочные эффекты, риски, преимущества и потенциальную роль противозачаточных пленок среди доступных в настоящее время вариантов контрацепции.

При большой частоте незапланированных беременностей во многих странах существует острая необходимость в более доступных и эффективных противозачаточных средствах. В последние годы учеными всего мира активно разрабатываются новые методы барьерной контрацепции. Данный метод очень прост и удобен в связи с тем, что у него нет системного влияния, минимизированы побочные явления, и женщина может использовать его тогда, когда ей это необходимо. Для того, чтобы заполнить пробел в данной нише, учеными была разработана вагинальная противозачаточная пленка ZB-06, содержащая человеческое противозачаточное антитело (ЧПА) HC4-N. Была проведена 1 фаза исследования в медицинской школе Восточной Вирджинии в Центре клинических исследований [1]. Она включала в себя оценку потенциальной контрацептивной активности пленки ZB-06 по посткоитальному тесту (ПКТ). Так же исследование подразумевало оценку безопасности использования пленки среди здоровых гетеросексуальных пар. Для оценки контрацептивного эффекта определяли концентрацию ЧПА в сыворотке крови, цервикальной слизи и вагинальной жидкости испытуемых, а вторым критерием была эффективность агглютинации сперматозоидов. Безопасность оценивалась по изменению концентрации провоспалительных цитокинов и шкале Ньюджента (на наличие или отсутствие проявлений бактериального вагиноза) [2].

Цель работы – изучить литературные источники по применению противозачаточных средств с акцентом на применение вагинальной пленки ZB-06.

Материалы и методы

Для анализа литературы использовались материалы ресурсов PubMed и PubMed Central национальной медицинской библиотеки США, Google Scholar, Elsevier Clinical Key и Elsevier Science Direct. Выборка состояла из научных работ, посвященных применению противозачаточного кольца и противозачаточных пленок с акцентом на вагинальную пленку ZB-06. Ключевые слова для поиска были: «contraception», «contraceptive antibody», «postcoital test», «motile sperm». Были включены только статьи на английском языке, которые содержали оригинальные результаты исследований или обзоры по теме применения противозачаточных средств в акушерстве и гинекологии. Исключению из выборки подлежали статьи,

которые не имели отношения к теме исследования, были дубликатами или недоступны полным текстом. В итоге было отобрано 25 статей. Для анализа научной литературы был использован качественный метод, основанный на контент-анализе, а именно определение единиц анализа - заголовки, аннотации и ключевые слова статей; подсчет частоты и процентного распределения единиц анализа по категориям анализа, используя программу Excel; интерпретация и обобщение результатов анализа.

Результаты и обсуждение

В данной статье проанализированы исследования о применении трех видов контрацепции: кольцо, противозачаточная пленка со спермицидом и противозачаточная пленка с ЧПА.

Гормональные контрацептивы – это выбор большинства женщин в мире в виду их эффективности [5], но многие не могут или не хотят их использовать из-за медицинских противопоказаний [6] или личных убеждений, а также из-за их различных побочных эффектов [7]. Существуют различные негормональные методы, которые имеют свои достоинства и свои недостатки. Например, наиболее распространенные причины прекращения использования внутриматочной спирали - экспульсия, меноррагия и дисменорея [8]. Также установка и удаление этого средства должны проводиться только квалифицированным медицинским работником и занимает определенное время. Многие женщины желают самостоятельно контролировать безопасность своего полового акта и использовать барьерные противозачаточные средства, но такие варианты, как женские презервативы или диафрагмы имеют низкий спрос во всем мире в виду имеющихся неудобств при эксплуатации [9]. Спермициды, являющиеся одним из методов контрацепции, на основе поверхностно-активных веществ (например, ноноксинол-9) имеют ряд преимуществ: используются по требованию, не гормональные, продаются без рецепта и контролируются женщинами. Однако, продукты на его основе при частом использовании усиливают воспаление слизистой оболочки, нарушают барьерную функцию вагинального эпителия, изменяют вагинальный микробиом и увеличивают вероятность заражения ВИЧ 1-го типа [10, 11].

ЧПА, входящие в состав пленки ZB-06, представляют собой класс человеческих моноклональных антител с сильной агглютинирующей и имобилизирующей сперматозоиды активностью. Первоначально HC4-N было выделено из крови бесплодной женщины [12]. Его действие специфично направлено против гликопротеина CD52g, который был обнаружен

в клетках мужских половых путей и присутствующий в мембране сперматозоидов [13]. Как отмечалось ранее, была проведена 1 фаза исследования с целью оценки контрацептивного потенциала пленки ZB-06 и оценки безопасности, а также фармакокинетика и смоделированная фармакодинамика однократного применения пленки во время овуляции при гетеросексуальном половом акте.

Пленки ZB-06, использованные в исследовании, были изготовлены в соответствии с текущими стандартами производства с использованием процесса, разработанного для MB66, предыдущего пленочного продукта на основе моноклональных антител для местного интравагинального применения [14]. Внешне она выглядит как прозрачный, эластичный материал 2х3см, прямоугольной формы и представляет собой пленку на основе поливинилового спирта, содержащую 20 мг ЧПА.

Это первое исследование данного продукта с участием женщин. В исследование были включены здоровые женщины в возрасте от 18 до 50 лет, которые не используют в качестве средств контрацепции комбинированные оральные контрацептивы и имеют регулярные менструальные циклы. Участницы были защищены от беременности путем обратимой хирургической стерилизации и должны были вести половую активность с партнером-мужчиной не моложе 18 лет, не имевшим в анамнезе мужской стерилизации или бесплодия.

Все потенциальные добровольцы прошли скрининговый визит для выявления наличия инфекции, передающейся половым путем. Во время ознакомительного визита участникам показали обучающее видео, используя модель таза, чтобы продемонстрировать как вводить вагинальную пленку. Во время второго посещения участники получали инструкции по использованию набора для тестирования лютеинизирующего гормона в моче (усовершенствованный цифровой тест на овуляцию Clearblue). Исследование включало посещения для ПКТ в течение 3 менструальных циклов. Визиты с 3 по 5 представляли собой цикл без использования продукта. Визиты с 6 по 8 представляли собой цикл с использованием пленки ZB-06, а визиты 9 и 10 представляли собой менструальный цикл контроля изменений после использования продукта.

Основной целью посещений 3, 6, 9 была оценка качества слизи с использованием шкалы Инслера, и подтвердить, что перед запланированным половым актом во влагалище или в ней нет сперматозоидов [15]. Оценка Инслера представляет собой оценку её качества по пяти физическим характеристикам: объем (отсутствует до >0,3 мл), вязкость (от густоты до

водянистости), клеточность (от >20 клеток в поле зрения при большом увеличении до отсутствия) и тягучесть (от <1 до >9 см). Каждый параметр оценивался по шкале от 0 до 3, что соответствует от плохих физических характеристик до идеальных. Овуляторная цервикальная слизь, которая способствует подвижности сперматозоидов, имеет оценку Инслера от 10 до 15. Помимо сбора цервикальной слизи производился так же забор влагалищной жидкости из заднего свода. Важным критерием проверок цервикальной слизи или влагалищной жидкости было отсутствие сперматозоидов. Во время контроля с ПКТ подтверждалось, что произошла интравагинальная эякуляция, отметив наличие сперматозоидов в вагинальных образцах при 10-кратном и 40-кратном увеличении [16]. По результатам исследования при использовании продукта контрольный показатель ПКТ составляет <5 ПС [17].

Важным критерием для оценки действия средства является также учет его побочных эффектов. Было оценено каждое нежелательное проявление, возникающее в результате применения по степени тяжести (легкое, среднетяжелое, тяжелое, потенциально опасное для жизни или смертельное), используя таблицы классификации СПИДа для оценки тяжести нежелательных явлений [18], а также отношение к исследуемому продукту или процедурам обследования.

При каждом посещении с 3-го по 8-й визит участницам проводили кольпоскопию и отмечали результаты, используя стандарты по кольпоскопии [19]. До посещения 6 и после посещения 8 был присвоен балл по шкале Ньюджента [20]. В основе лежит система баллов от 0 до 4 по каждой из трех шкал для диагностики и оценки степени бактериального вагиноза. Оцениваются три бактериальных морфотипа влагалища: лактобациллы, гарднерелла и мобилункус. Максимальный балл – это обилие лактобацилл и отсутствие гарднерелл и мобилункусов. Изменений до 6 посещения и после 8 обнаружено не было.

Поскольку антитело HC4-N сильно агглютинирует сперматозоиды, то вторым критерием эффективности была проверка титра агглютинации. Образцы вагинальной жидкости, цервикальной слизи и сыворотки крови были оценены *in vitro* с помощью кинетического анализа агглютинации сперматозоидов [19]. Оценивалось слипание между собой ПС, в результате чего происходило их обездвиживание и гибель. Подобные состояния свидетельствуют о наличии действующего антиспермального антитела.

В конечном итоге все 8 пар завершили все контрольные визиты в течение трех менструальных циклов. Ни один партнер-мужчина не сообщил

о каких-либо нежелательных явлениях. Со стороны женщин серьезных нежелательных явлений, возникших во время лечения, не было, поэтому они были классифицированы как «легкие».

Также в другом исследовании оценивалась эффективность и безопасность противозачаточных средств в виде кольца. Авторы гласят о том, что данное средство можно использовать как способ экстренной контрацепции, если прошло менее 120 часов после незащищенного полового акта. Но данная гипотеза на сегодняшний день требует дальнейших исследований. Исследование показало, что у этого метода есть как недостатки, так и преимущества. Например, данный метод является эффективным способом контрацепции, однако он может вызвать такие побочные эффекты, как головная боль (часто), тошнота и нарушение менструального цикла. В ходе исследования были проанализированы данные 3782 женщин в возрасте 18-45 лет, которые использовали кольцо. Данный метод контрацепции показал свою эффективность и безопасность в 70%. У 30% были зарегистрированы нежелательные явления — нарушения менструаций, головные боли и тошнота. Испытуемые, в свою очередь, были удовлетворены использованием данного метода контрацепции. Данное исследование подтвердило, что методы контрацепции в виде кольца являются эффективными и безопасными, но следует не забывать о правильном использовании данных средств [21].

Еще одно исследование было проведено среди женщин, использующих противозачаточную пленку нового поколения. В 40% случаев женщины отметили дискомфорт во время использования, который был обусловлен ее размерами и формой. В 60% случаев женщины были удовлетворены использованием. Таким образом, результаты исследования продемонстрировали свою эффективность, приемлемость и надежность для многих женщин [22].

Выводы

Использование одной вагинальной пленки ZB-06, содержащей HC4-N, введенной за 30 минут до незащищенного вагинального полового акта, на пике овуляции, с интравагинальной эякуляцией, было безопасным. В цикле использования продукта у всех участниц женского пола было значительно меньше ПС в овуляторной цервикальной слизи по сравнению с циклом без использования продукта. Во всех циклах использования продукта по ПКТ было выявлено <1 ПС, что является эталоном эффективности контрацепции. Данные фармакокинетики и данные фармакодинамики подтверждают, что пленка обеспечивает эффективные уровни антиспер-

мальных антител слизистой оболочки в течение как минимум 3 часов после использования.

Данные о клинической безопасности обнадеживают. Дальнейшие оценки безопасности будут проводиться в будущих исследованиях. Например, ноноксинол-9, являющийся действующим веществом пленки из приведенного в статье исследования оказался безопасным в доклинических моделях на животных, но дальнейшие исследования с частым использованием подтвердили, что ноноксинол-9 вызывало воспаление, неблагоприятное воздействие на вагинальный микробиом и молекулярную дисрегуляцию генов слизистой оболочки, связанных с целостностью эпителиального барьера [23, 24, 25]. ZB-06 не является противозачаточным средством на основе поверхностно-активных веществ, тем не менее, планируется оценить изменения в структуре вагинального микробиома и относительном обилии бактерий в ходе будущих исследований.

Данные исследований подтверждают вывод о том, что ZB-06 – инновационная, негормональная, местно применяемая вагинальная пленка, содержащая ЧПА HC4-N безопасна и может быть очень эффективной в качестве контрацептива, в связи с тем, что у нее отсутствуют побочные эффекты как у представителей из двух других приведенных исследований. Можно предположить, что этот продукт в конечном итоге заполнит важный пробел глобальных потребностей в области женского здоровья и контрацепции.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы / References

1. An Exploratory Study of ZB-06 as a Vaginal Contraceptive Film, 2023. <https://ichgcp.net/ru/clinical-trials-registry/NCT04731818>
2. Muthusamy S., Varghese J., Raveendran V., Ezilarasan K., Easow J.M. Evaluation of interobserver reliability of Nugent score for diagnosis of bacterial vaginosis. *Indian J Sex Transm Dis AIDS*, 2018, vol. 39(2), pp. 120-123. https://doi.org/10.4103/ijstd.IJSTD_98_16
3. Notario-Pérez F., Cazorla-Luna R., Martín-Illana A., et al. Design, fabrication and characterisation of drug-loaded vaginal films: State-of-the-art. *J Control Release*. 2020, vol. 327, pp. 477-499. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.08.032>

4. Shapiro R.L., DeLong K., Zulfiqar F., Carter D., Better M, Ensign L.M. In vitro and ex vivo models for evaluating vaginal drug delivery systems. *Adv Drug Deliv Rev.* 2022, vol. 191, 114543. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2022.114543>
5. Adolescents and long-acting reversible contraception: implants and intrauterine devices. ACOG Committee Opinion No. 735. American College of Obstetricians and Gynecologists. *Obstet Gynecol.* 2018, vol. 131(5), pp. e130-e139. <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000002632>
6. Medical eligibility criteria for contraceptive use. World Health Organization. 5th ed., 2015, 210 p. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549158>
7. Polis C.B., Hussain R., Berry A. There might be blood: a scoping review on women's responses to contraceptive-induced menstrual bleeding changes. *Reprod Health*, 2018, vol. 15, article number: 114. <https://doi.org/10.1186/s12978-018-0561-0>
8. Akintomide H., Barnes P., Brima N., Mansour D. Higher discontinuation rate with a standard-sized compared to a small-sized 'gold standard' copper intra-uterine device: a case-control review. *BMJ Sex Reprod Health*, 2019, vol. 45, pp. 263-268. <https://doi.org/10.1136/bmjsex-2018-200296>
9. World Contraceptive Use, 2022. <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/dataset/contraception/wcu2018.asp>
10. Smith-Mc Cune K., Chen J. C., Greenblatt R. M., et al. Unexpected Inflammatory Effects of Intravaginal Gels (Universal Placebo Gel and Nonoxynol-9) on the Upper Female Reproductive Tract: A Randomized Crossover Study. *PLoS One*, 2015, vol. 10(7), pp. 40-56. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129769>
11. Musekiwa A., Fernando N.B., Abariga S.A. Effectiveness of vaginal microbicides in preventing HIV transmission. *Trop Med Int Health*, 2020, vol. 25(7), pp. 790-802. <https://doi.org/10.1111/tmi.13401>
12. Hasegawa A., Fu Y., Tsubamoto H., et al. Epitope analysis for human sperm-immobilizing monoclonal antibodies, MAb H6-3C4, 1G12 and campath-1. *Mol Hum Reprod*, 2003, vol. 9(6), pp. 337-343. <https://doi.org/10.1093/molehr/gag045>
13. Baldeon-Vaca, Marathe J.G., Politch J.A., et al. Production and characterization of a human antisperm monoclonal antibody against CD52g for topical contraception in women. *EBioMedicine*, 2021, vol. 69, p. 103478. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103478>
14. Politch J.A., Cu-Uvin S., Moench T.R., et al. Safety, acceptability, and pharmacokinetics of a monoclonal antibody-based vaginal multipurpose prevention film (MB66): a phase I randomized trial. *PLoS Med*, 2021, vol. 18, pp. 20-27. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003495>

15. Han L., Padua E., Edelman A., Jensen J.T. Appraising cervical mucus: a new approach to evaluating contraceptives. *Eur J Contracept Reprod Health Care*. 2018, vol. 23(1), pp. 78-83. <https://doi.org/10.1080/13625187.2018.1437134>
16. Miller D. Review: The epic journey of sperm through the female reproductive tract. *Animal*, 2018, vol. 12(S1), pp. 110-S120. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000526>
17. Mauck C.K., Vincent K.L. The postcoital test in the development of new vaginal contraceptives. *Biol Reprod*, 2020, vol. 103(2), pp. 437-444. <https://doi.org/10.1093/biolre/ioaa099>
18. Division of AIDS (DAIDS) Table for Grading the Severity of Adult and Pediatric Adverse Events, 2021. <http://rsc.tech-res.com/clinical-research-sites/safety-reporting/daids-grading-tables>
19. Manual for the standardization of colposcopy for the evaluation of vaginal products, Update 2000. World Health Organization. Accessed March 27, 2023. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67131>
20. Nugent R.P., Krohn M.A., Hillier S.L. Reliability of diagnosing bacterial vaginosis is improved by a standardized method of Gram stain interpretation. *J Clin Microbiol*, 1991, vol. 29, pp. 297-301. <https://doi.org/10.1128/jcm.29.2.297-301.1991>
21. Kestelyn E., Agaba S., Van Nuil J. A randomised trial of a contraceptive vaginal ring in women at risk of HIV infection in Rwanda: Safety of intermittent and continuous use. *PLoS One*, 2018, vol. 13(6), e0197572. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197572>
22. Ridgeway K., Montgomery E.T., Kevin Smith, Torjesen K., Ariane van der Straten, Sharon L., Griffin J. B. Vaginal ring acceptability: A systematic review and meta-analysis of vaginal ring experiences from around the world. *Contraception*, 2022, vol. 106, pp. 16-33. <https://doi.org/10.1016/j.contraception.2021.10.001>
23. Baldeon-Vaca G., Marathe J.G., Politch J.A., et al. Production and characterization of a human antisperm monoclonal antibody against CD52g for topical contraception in women. *EBioMedicine*, 2021, vol. 69, p. 103478. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103478>
24. Fichorova R.N., Mendonca K., Yamamoto H.S., Murray R., Chandra N., Doncel G.F. A quantitative multiplex nuclease protection assay reveals immunotoxicity gene expression profiles in the rabbit model for vaginal drug safety evaluation. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2015, vol. 285, pp. 198-206. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2015.02.017>
25. Zalenskaya I.A., Joseph T., Bavarva J., et al. Gene expression profiling of human vaginal cells in vitro discriminates compounds with pro-inflammatory and mucosa-altering properties: novel biomarkers for preclinical testing of HIV

microbicide candidates. *PLoS One*, 2015, vol. 10, pp. 122-140. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128557>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кучеренко Юрий Анатольевич, доцент кафедры акушерства и гинекологии №1, кандидат медицинских наук

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

Бульвар Ленина 5/7, г. Симферополь, 295006, Республика Крым, Российская Федерация
mitya.kucherenko.75@mail.ru

Борисенко Дарья Сергеевна, студент

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

Бульвар Ленина 5/7, г. Симферополь, 295006, Республика Крым, Российская Федерация
malygina9901@gmail.com

Борисенко Александр Евгеньевич, студент

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

Бульвар Ленина 5/7, г. Симферополь, 295006, Республика Крым, Российская Федерация
borisenko_1998_alex@mail.ru

Авдеева Юлия Андреевна, студент

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского

*Бульвар Ленина 5/7, г. Симферополь, 295006, Республика Крым, Российская Федерация
imavdeeva@mail.ru*

Кордыш Алексей Сергеевич, студент

*Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, Крымский Федеральный Университет им. В.И. Вернадского
Бульвар Ленина 5/7, г. Симферополь, 295006, Республика Крым, Российская Федерация
alex-kordysh@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuri A. Kucherenko, Associate Professor of the Department of Obstetrics and Gynecology № 1, Candidate of Medical Sciences

*S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Boulevard, Simferopol, 295006, Republic of Crimea, Russian Federation
mitya.kucherenko.75@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6375-1704>*

Daria S. Borisenko, student

*S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Boulevard, Simferopol, 295006, Republic of Crimea, Russian Federation
malygina9901@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2805-4334>
ResearcherID: JKH-6413-2023*

Alexander E. Borisenko, student

*S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Boulevard, Simferopol, 295006, Republic of Crimea, Russian Federation
borisenko_1998_alex@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0144-3164>
ResearcherID: JKH-6471-2023*

Yulia A. Avdeeva, student

*S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*5/7, Lenin Boulevard, Simferopol, 295006, Republic of Crimea, Russian
Federation*

imavdeeva@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9426-5998>

ResearcherID: JKH-5181-2023

Alexey S. Kordysh, student

*S.I. Georgievsky Order of the Red Banner of Labor Medical Institute,
V.I. Vernadsky Crimean Federal University*

*5/7, Lenin Boulevard, Simferopol, 295006, Republic of Crimea, Russian
Federation*

alex-kordysh@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2399-4717>

ResearcherID: JKH-6034-2023

Поступила 14.08.2023

После рецензирования 19.12.2023

Принята 26.01.2024

Received 14.08.2023

Revised 19.12.2023

Accepted 26.01.2024

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-838

UDC 532.13:664.691+664.692.5



Original article

AN ENGINEERING APPROACH TO THE STUDY OF THE PROCESSES OF DOUGH FLOW IN THE PRODUCTION OF PASTA AT AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.B. Torgan, V.Ya. Grudanov, V.G. Barsukov, R.T. Timakova

Background. In modern conditions, the provision of domestic pasta produced from durum wheat varieties on modern technological equipment is becoming important. At the same time, the quality of the finished pasta is also determined by the rheological properties of the pasta dough when passing through the pasta press matrix, which determined the purpose of the study to develop a method of computational evaluation for calculating the relationship between the speed parameters of the flow of pasta dough in the cylindrical sections of the channels of the molding matrix with pressure drops to overcome viscous resistance, the dimensions of the structural elements of the channel, as well as with indicators of the rheological properties of pasta dough.

Materials and methods. To study the flow of pasta dough, baking flour of the highest grade M-54 28 was chosen as a raw material in stepped cylindrical channels. The applied rheological model is described and a technique for mathematical modeling of the flow parameters of pasta dough in cylindrical channels is given. Due to the small contribution of the pasta dough shear strength to the total pressure loss, a rheological model of a nonlinear-viscous medium is used, which is described by a power equation containing physically determined constants. Neglecting the elastic deformations of the dough due to their smallness, we assumed the condition of constancy of the volumetric productivity for each cross section of the channel.

Results. Analytical dependencies are presented that relate the change in velocity over the channel cross section to the pressure developed necessary to overcome the

viscous resistance, as well as to the radii and length of the channel, and to the rheological properties of the pasta dough. These dependences formed the theoretical basis of the method for calculating the parameters of pasta dough flow in cylindrical channels.

Conclusion. On the example of an industrial matrix of a pasta press, made in the form of a system of cylindrical channels of a stepped-variable diameter in the preforming zone, calculations were made to determine the average and maximum flow rates of pasta dough in each section of the channel and the developed pressure. The results of the research can be used in engineering practice when designing new matrices for forming pasta dough and in the production processes of enterprises to calculate their production capacities.

Keywords: rheological body; pasta dough; flow; velocity; pressure; step channel; calculation method

For citation. Torgan A.B., Grudanov V.Ya., Barsukov V.G., Timakova R.T. An Engineering Approach to the Study of the Processes of Dough Flow in the Production of Pasta at Agro-Industrial Enterprises. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 25-47. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-838

Научная статья

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ ТЕСТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.Б. Торган, В.Я. Груданов, В.Г. Барсуков, Р.Т. Тимакова

Обоснование. В современных условиях важное значение приобретает обеспеченность отечественными макаронными изделиями, вырабатываемых из твердых сортов пшеницы на современном технологичном оборудовании. При этом качество готовых макаронных изделий определяется также реологическими свойствами макаронного теста при прохождении через матрицу макаронного пресса, что и определило целью исследования разработку методики расчетной оценки взаимосвязи скоростных параметров течения макаронного теста в цилиндрических участках каналов формочной матрицы с перепадами давления на преодоление вязкого сопротивления, размерами конструктивных элементов канала, а также с показателями реологических свойств макаронного теста.

Материалы и методы. Для исследования течения макаронного теста в качестве сырья в ступенчатых цилиндрических каналах была выбрана мука хлебопекарная высшего сорта М-54-28. В методической части работы описана применяемая реологическая модель и приведена методика математического моделирования параметров течения макаронного теста в цилиндрических каналах. В связи с малым вкладом сдвиговой прочности макаронного теста в общие потери давления использована реологическая модель нелинейно-вязкой среды, описываемой степенным уравнением, содержащим физически детерминированные константы. Пренебрегая упругими деформациями теста вследствие их малости, принимали условие постоянства объемной производительности для каждого поперечного сечения канала.

Результаты исследования. В основной части работы приведены аналитические зависимости, связывающие изменение скорости по сечению канала с величиной развиваемого давления, необходимого для преодоления вязкого сопротивления, а также с радиусами и длиной канала и с реологическими свойствами макаронного теста. Эти зависимости составили теоретическую основу методики расчетной оценки параметров течения макаронного теста в цилиндрических каналах.

Заключение. На примере промышленной матрицы макаронного пресса, выполненной в виде системы цилиндрических каналов ступенчато-переменного диаметра в предформовочной зоне, произведены расчеты по определению средних и максимальных скоростей течения макаронного теста на каждом из участков канала и развиваемого давления. Результаты исследований могут быть использованы в инженерной практике при проектировании новых матриц для формирования макаронного теста и в производственных процессах предприятий для расчета их производственных мощностей.

Ключевые слова: реологическое тело; макаронное тесто; течение теста; скорость; давление; ступенчатый канал; методика расчета

Для цитирования. Торган А.Б., Груданов В.Я., Барсуков В.Г., Тимакова Р.Т. Инженерный подход к исследованию процессов течения теста при производстве макаронных изделий на агропромышленных предприятиях // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 25-47. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-838

Introduction

The technological development of the agro-industrial complex, including as a result of the growth of the yield of durum wheat, determines the possibility of closing the needs of the domestic market in pasta. The production of pasta prod-

ucts, such as molding extrusion, refers to a well-known technology and research is mainly aimed at the possibility of obtaining a quality product that meets the requirements of regulatory documents, based on the type of raw materials used and the technical parameters of drying [5, 17, 18, 35, 38].

An important parameter of the quality of finished pasta products is the gluten content in the grain, which can be increased as a result of the use of modern agrobiotechnologies at the stage of growing grain crops, such as feeding with vermicompost (up to 6 t/ha), as is noted in [23].

The finished pasta dough can be compared with polymers and plastic materials that have certain viscous, plastic, elastic, etc. properties of the rheological body, which requires research by methods of engineering rheology.

The most important structural elements of the molding matrices of pasta presses are cylindrical channels. Depending on the type of matrix, they can have a constant or step-variable length (depth) section. The flow of pasta dough in these channels has a significant impact on the productivity of the equipment, the pressure developed in the pre-matrix chamber and the uniformity of extrusion of molded products from individual dies. However, the patterns of pasta dough flow in these areas of the forming matrices have not been studied enough, which necessitates labor-intensive experiments to develop designs and molding modes in the manufacture of new types of products, as well as when replacing the dough composition by introducing functional additives. At the same time, engineering practice is based mainly on previous experience in the production of products similar in composition and design and technological support.

The purpose of the study: on the basis of the computational approach, to establish the regularities and features of the processes of the pasta dough flow in the cylindrical sections of the forming matrices of pasta presses.

Literature Review

Modern research will allow taking into account the rheological properties of the studied objects using the methods of engineering rheology [15] depending on the granulometric composition of flour [22], type and type [36, 41], composition of dry flour composite mixtures [1, 3, 27], humidity and dough temperature [34] and its viscosity [32].

To assess the rheological properties of the dough, various devices are used, depending on the goals set: a mixograph (according to the proposed method of N.S. Vasylchuk) [8]; a CHOPIN Mixolab device to control the dynamics of the rheological behavior of the dough during its kneading by the nature of the change in the torque value on the drive of the kneading tank at the most char-

acteristic points of the resulting mixolabogram of the test sample – the point C_1 corresponds to the maximum consistency of the dough after the beginning of its kneading and is taken into account for calculating the water absorption capacity of flour, C_2 characterizes the minimum consistency of the dough at the initial stage of heating as a result of protein denaturation, C_3 – the maximum consistency of the dough during starch gelatinization, C_4 – the stability of the starch paste dough, C_5 – the rheological behavior of starch during cooling as a result of its retrogradation [1]. Starch contributes to the gelatinization of the dough and affects its gas-holding capacity [14]. A number of authors also note that the indicator reflecting the rheological state of the pasta dough during kneading is, in addition to the torque (Mcr), the consumed active electrical power (Np) [7].

At the same time, the works aimed at solving individual problems of rheological analysis of a practical orientation using approximate calculation schemes show the prospects of this research direction in relation to the flow of highly filled food systems [9], including caramel masses [4], pasta dough [16, 30, 39], sunflower pulp [19], bakery and confectionery dough [10], and pasta dough with carrots [12].

The issues of analyzing the rheological aspects of the pasta dough flow in cylindrical stepped channels are at the initial stage of mathematical modeling [19, 30, 39] and have not been brought to engineering calculation methods.

According to a number of authors, there is practically no moisture transfer in the pasta dough and the pore system in the dough with a high degree of probability consists of discrete regions [3, 25, 26, 41], this makes it possible not to take into account the influence of moisture content in the conditions of rheological modeling. At the same time, it is necessary to monitor the moisture content of the dough because an increase in the moisture content of the pasta dough gives a more stretchable sample, which may mean that moisture acts as a plasticizer [31].

Materials and methods

Traditionally, for the production of noodle products, according to the requirements of GOST 31463-2012 “Durum wheat flour”, high-grade flour from durum wheat with a mass fraction of crude gluten of at least 26% and having a reduced water absorption capacity is used. Along with this, noodle flour from high-glass soft wheat provides a significant content of raw gluten – at least 28% according to GOST 26574-2017 “Baking flour. Technical conditions”. To study the flow of pasta dough, baking flour of the highest grade M-54-28 (STB 1666 2006 “Wheat flour was selected as a raw material in stepped cylindrical channels. Technical conditions”), used by the UP “Borisovsky combine of bread

products” of JSC “Minskobkhllebprodukt”, the largest producer of pasta ($t_{\text{flour}} + 25\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$), and water that meets the requirements of STB 1188 99 “Drinking water. General requirements for the organization and methods of quality control” ($t_{\text{water}} + 40\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Rheological modeling of the pasta dough flow processes in the cylindrical sections of the forming dies was carried out in the form of three successive stages. At the first stage, a rheological model was chosen and justified to describe the deformation properties of pasta dough. At the second stage, a calculation scheme was compiled and flow equations were obtained, and at the third, final stage, calculations were made for specific channel sizes and compared with the available experimental data.

Research results and discussions

According to modern scientific concepts, pasta dough is a nonlinear visco-plastic rheological body (medium), the so-called pseudoplastic liquid [33, 38].

At the same time, the pseudoplastic behavior during shear is explained by the macromolecular characteristics of protein molecules, which are randomly arranged at low shear rates, but at high speeds are aligned in the direction of shear, thereby reducing the viscosity of the dough [2, 34, 37].

Since the mechanism of shear deformation prevails in the flow, it is expedient to use analytical dependences to describe the deformation properties that establish the relationship between shear stresses τ and shear rate $\dot{\gamma}$.

The study of rheological methods in the food industry shows that the flow of viscous-plastic media, including pasta dough, obeys with sufficient accuracy for technical calculations to the Bulkley – Herschel viscous flow law [11, 19, 39]:

$$\tau = \tau_0 + k\dot{\gamma}^n, \quad (1)$$

where τ_0 – is the shear strength of the material (the minimum values of shear stresses at which irreversible shear deformation of the material begins to occur); k – is an analogue of viscosity, called the consistency coefficient, n – is a medium parameter.

Previous studies have shown that the contribution of shear strength τ_0 to the total resistance to flow is small [19]. At the molding pressure in 6.0–12.0 MPa, the contribution of τ_0 is 0.3 MPa, i.e. does not exceed 2.5...5%. In addition, as the temperature increases, the ultimate shear stress (shear strength) of the material decreases. For example, for flour of the first grade: at 18°C is 18.3 kPa, at 40°C is 5.6 kPa, at 56 °C is 2.1 kPa [28, 40]. Therefore, in technical calculations, it is possible to carry out an analysis based on the power-law rheological equation of Ostwald-de-Waele [10, 19, 40]:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n, \quad (2)$$

Since the dimension of k depends on the value of n , the parameter k is not a physical quantity. This is the coefficient obtained as a result of approximating the flow curve (dependence of shear stresses on shear rate) by a power function [20, 42]. This circumstance does not allow us to consider equation (2) physically correct. However, the relatively high (sufficient for technical purposes) calculation accuracy predetermines the widespread use of this equation in engineering and research practice for thermoplastic melts [20, 24, 42], but also for other viscous materials, for example, food mixtures [4, 15, 19, 39].

At the same time, the analysis shows that the empirical power rheological equation (2) can be transformed by normalization to the form in which the parameters of this equation will have a physical (rheological) meaning. In particular, McKelvey [13] proposed two possible options of such a transformation. The first option is for shear stresses:

$$\tau = k_b \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_b} \right)^n, \quad (3)$$

where k_b and $\dot{\gamma}_b$ – are the values of shear stresses and shear rates in an arbitrarily chosen base state.

The second option is for the effective viscosity η_r of the medium:

$$\eta_r = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \eta_b \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_b} \right)^{n-1}, \quad (3a)$$

where η_b – is the viscosity of the Newtonian fluid in the same arbitrarily chosen base state.

For convenience of analysis, one usually takes $\dot{\gamma}_b = 1 \text{ s}^{-1}$ [13]. It is easy to verify that the value of η_b in equation (3a) in this case numerically coincides with the value of k_b in equation (3), differing from it only in dimension and physical meaning. In addition, k_b coincides numerically with the coefficient k of the approximating function (1). The expressions in brackets are the dimensionless design shear rate.

This approach makes it possible to use in calculations the previously determined values of the constants of the approximating function (2) for the analytical dependence (3), taking into account the dimension of the constant k_b (Pa). In [36], a mathematical apparatus was proposed for calculating the flow parameters in relation to the basic rheological equation in the form (4). At the same time, it is more convenient to apply the rheological equation in the form (3), which is done in this work. At the same time, it was taken into account that

it is convenient to take expression (3) modulo the right side in order to match the directions of shear stresses and medium flow velocities. If they coincide, then the expression in brackets is taken with a sign (+), if they are opposite, then with a sign (-).

$$\tau = k_b \left| \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_b} \right)^n \right|, \quad (4)$$

Let us consider the equilibrium conditions for an elementary cylinder of length dx and radius R (Fig.1), which is under the action of pressure p , which is under the action of pressure dx by dp . Shear stresses τ_w act on the side surface of the elementary cylinder.

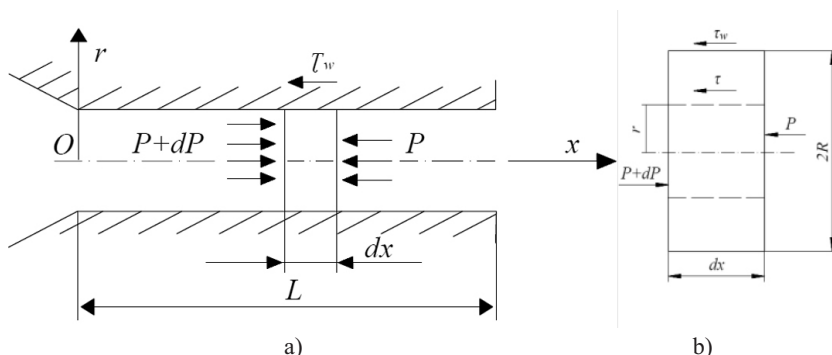


Figure 1. Calculation scheme for the analysis of the processes of flow of non-linear-viscous media in a cylindrical channel: a - scheme of the channel; b - elementary cylinder (compiled by the authors).

From the condition of equality of the projections of all forces on the x axis, we can write

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2\tau_w}{R} \quad (5)$$

Passing from an elementary cylinder to the total channel length L , we obtain a formula for calculating the pressure drop ΔP along the channel length

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{2\tau_w}{R} \quad (6)$$

Further, in the central part of the elementary cylinder, we single out a micro-cylinder of the same length dx , but with radius r . It is also under the action of pressure p , which changes along the length of the element dx by the value dp . Shear stresses τ act on the side surface of an elementary micro-cylinder.

From the condition of equality of the projections of all forces acting on the micro-cylinder on the x -axis, we can write

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2\tau}{r} \quad (7)$$

Since dp/dx in equations (5) and (7) represent the same value, then, by equating the right and left parts of these equations, we obtain

$$\frac{dp}{dx} = \frac{2\tau}{r} = \frac{2\tau_w}{R} \quad (8)$$

Where does the distribution of shear stresses along the radius r come from

$$\tau = \tau_w \frac{r}{R} \quad (9)$$

The highest shear stresses τ_w acting on the channel walls can be found from formula (6)

$$\tau_w = \frac{\Delta PR}{2L} \quad (10)$$

Substituting this value into formula (9), we obtain an analytical dependence for the distribution of shear stresses along the channel radius

$$\tau = \frac{\Delta Pr}{2L} \quad (10a)$$

Let us determine the change in the flow rates of the polymer melt along the radius over the channel section. We will proceed from the fact that the shear rate $\dot{\gamma}$ can be expressed in terms of the linear flow velocity V using the following differential relationship

$$\dot{\gamma} = \frac{dV}{dr} \quad (11)$$

From formulas (2) and (11), given that the direction of shear stresses is opposite to the direction of the medium flow velocity, we can write

$$\dot{\gamma} = \frac{dV}{dr} = -\dot{\gamma}_b \left(\frac{\tau}{k_b} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (12)$$

Substituting in (12) instead of τ its value from (10a) and integrating it under the boundary conditions $r=R$: $V=0$ we obtain the dependence for the distribution of the melt flow velocity over the channel section.

$$V = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\Delta PR}{2k_b L} \right)^{\frac{1}{n}} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \dot{\gamma}_b R \quad (13)$$

It is easy to see that the expressions in round and square brackets in formula (13) are dimensionless complexes, and the product of the unit normalization

factor $\dot{\gamma}_b = 1s^{-1}$ by the radius R ensures the fulfillment of the dimension rule for the velocity, which is the advantage of formula (13) over similar dependences obtained on the basis of the traditional notation of the rheological equation of Ostwald-de-Waele. Moreover, the velocity distribution over the channel section is described by a power function with zero velocity values on the channel walls ($r=R$) and the maximum value V_{max} in the center

$$V_{max} = \frac{n}{n+1} \left(\frac{\Delta PR}{2k_b L} \right)^{\frac{1}{n}} \dot{\gamma}_b R \quad (14)$$

To determine the volumetric productivity, we select in the channel an annular element with a thickness dr . At a flow velocity V the elementary flow rate dQ of the liquid will be equal to the product of the velocity and the cross-sectional area dA of the elementary ring, calculated by the formula

$$dA = 2\pi r dr \quad (15)$$

Then, taking into account (13) and (15), for the elementary consumption dQ of pasta dough, the calculation formula takes the form

$$dQ = V \cdot 2\pi r dr = 2\pi r \frac{n}{n+1} \left(\frac{\Delta PR}{2k_b L} \right)^{\frac{1}{n}} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \dot{\gamma}_b R dr \quad (16)$$

Integration (16) over the channel section gives the following expression for determining the volumetric flow rate of pasta dough

$$Q = \int_0^R V \cdot 2\pi r dr = \frac{\pi n}{3n+1} \left(\frac{\Delta PR}{2k_b L} \right)^{\frac{1}{n}} \dot{\gamma}_b R^3 \quad (17)$$

The average flow velocity V_m can be defined as the ratio of the volumetric efficiency Q to the cross-sectional area A

Since

$$A = \pi R^2, \quad (18)$$

then the average flow velocity V_m can be calculated from the formula

$$V_m = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{n}{3n+1} \left(\frac{\Delta PR}{2k_b L} \right)^{\frac{1}{n}} \dot{\gamma}_b R \quad (19)$$

The ratio of the current pasta dough speed value at a point at a distance r from the channel axis to the maximum value reached at the center can be obtained by jointly solving equations (13) and (19).

$$\frac{V}{V_{max}} = 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \quad (20)$$

Similarly for the ratio of the current value of the velocity V and its average value V_m over the cross section, by jointly solving equations (13) and (10).

$$\frac{V}{V_m} = \frac{3n+1}{n+1} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right] \quad (21)$$

Thus, the results of the studies performed made it possible to develop design schemes and obtain physically normalized design dependencies for determining the speeds and volumetric flow rate of pasta dough during flow in a cylindrical channel.

The calculation method was tested on the example of an industrial matrix of a pasta press for the production of special noodle products, which is shown in Fig. 2 [6].

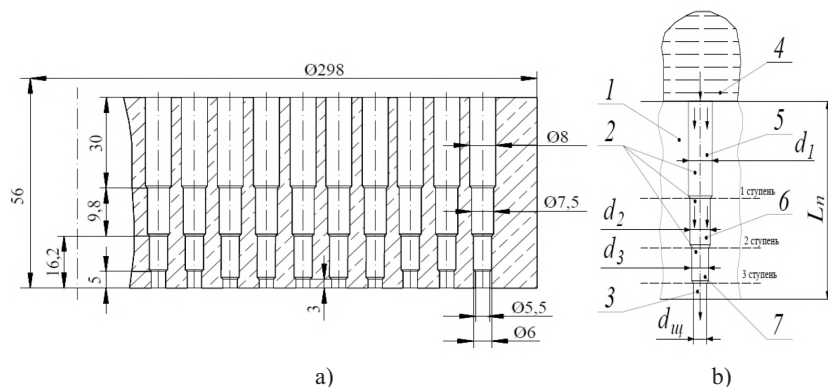


Figure 2. Vertical section of the matrix with different heights of forming holes (a) the appearance of the matrix b) the forming holes of the matrix)

Notes on b): 1 – matrix; 2 – forming holes of the matrix; 3 – forming slit; 4 – pre-matrix chamber; 5 – entrance hole of the 1st stage; 6 – hole of the 2nd stage; 7 – hole of the 3rd stage; d_1 – diameter of the entrance hole of the 1st stage; d_2 – diameter of the entrance hole of the 2nd stage; d_3 – the diameter of the entrance hole of the 3 stage; d_4 – the diameter of the forming slot; L_p – the full length of the channel of the forming hole

The presented matrix is a brass disc with a diameter of 298 mm and a thickness of 56 mm, which is made of brass. The forming holes of the matrix have different heights. Their number is 600 pieces. The area of the matrix is divided into three annular zones with different heights of forming holes. The peripheral zone has 192 holes with a forming slit height of 5 mm, the middle zone has 300 holes with a forming slit height of 3 mm, and in the central zone with a forming slit height of 7 mm, the number of holes is 108 pieces. This arrangement of holes and the height of the forming slot allows equalizing the speed of pressing noodle products over the area of the matrix and reduce production waste by up to 5-6% [6].

The calculated values of the constants k_b and n for the most common dough composition at a temperature of 40 °C are: the average value of the coefficient $k_b = 109.97$ kPa and the coefficient $n = 0.473$ [19].

At the same time, in the case under consideration, the contribution of conical transitional parts (chamfers) is negligible in comparison with the contribution of cylindrical sections for technical calculations was not taken into account.

Tables 1, 2, 3 show the calculated values of the speed parameters of the flow of pasta dough in different parts of the channel. At the same time, table 1 characterizes the average flow rate V_m of the dough in separate sections of the channel with a stepped-variable section, table 2 - the maximum values V_{max} of the flow rate in each of the channels at different values of pasta press productivity per single channel. The data in Table 3 show the uneven distribution of the pasta dough flow velocity over the channel section as the ratio of the calculated value of the velocity V at a point at a distance r from the channel axis with an outer radius R to the average value of V_m in this section and the maximum value of V_{max} .

When carrying out rheological calculations, the value of the density of the pressed pasta dough with a moisture content of 30% was taken to be 1300 kg/m³, which corresponds to the average values given in the scientific and technical literature [6, 21].

Table 1.

**Calculated values of the average flow rates of pasta dough
over the channel section in the pre-die zone**

Productivity per single channel, kg/h	Average speed, mm/s, with channel diameter		
	8 mm	7.5 mm	6 mm
1.0	4.25	4.84	7.56
1.25	5.32	6.05	9.45
1.5	6.38	7.26	11.34
2.0	8.51	9.68	15.12
2.5	10.63	12.10	18.90
3.0	12.76	14.52	22.68

(Compiled by the authors)

Table 2.

Calculated values of the maximum flow rates of pasta dough

Productivity per single channel, kg/h	Average speed, mm/s, with channel diameter		
	8 mm	7.5 mm	6 mm
1.0	6.98	7.95	12.42
1.25	8.73	9.93	15.52

1.5	10.48	11.92	18.62
2.0	13.97	15.89	24.83
2.5	17.46	19.86	31.04
3.0	20.95	23.84	37.25

(Compiled by the authors)

Table 3.

Calculated values of velocity differences over the channel cross section in the pre-die zone

Relative-speedvalue	Relative distance from channel axis, r/R						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
V/V_{max}	1.0	0.993	0.942	0.796	0.501	0.280	0
V/V_m	1.642	1.631	1.547	1.307	0.822	0.459	0

(Compiled by the authors)

Table 4 characterizes the power parameters of the pasta dough flow process in each section of the channel for a wide range of changes in the mass productivity of the pasta press per one channel of the forming matrix, and table 5 is the total pressure drop to overcome the viscous resistance in these sections.

Table 4.

Calculated values of pressure increase in individual cylindrical sections of the channel

Productivity per single channel, kg/h	Pressure drop, MPa, in the channel section with dimensions $d(mm) \times L(mm)$				
	8x30	7.5x10	6x9	6x11	6x13
1.0	3.68	1.43	2.21	2.70	3.19
1.25	4.08	1.59	2.46	3.00	3.55
1.5	4.45	1.74	2.68	3.27	3.87
2.0	5.10	1.99	3.07	3.75	4.43
2.5	5.67	2.21	3.41	4.17	4.93
3.0	6.18	2.41	3.72	4.53	5.37

(Compiled by the authors)

Table 5.

Calculated values of the total pressure increase in all sections of the channel

Productivity per single channel, kg/h	Pressure drop, MPa, when the channel is located in the matrix zone		
	central zone	peripheral zone	intermediate zone
1.0	7.32	7.81	8.31
1.25	8.13	8.68	9.23

1.5	8.67	9.46	10.06
2.0	10.16	10.84	11.52
2.5	11.29	12.08	12.81
3.0	12.39	13.21	13.96

(Compiled by the authors)

Conclusion

Since it is extremely difficult to carry out experimental measurement of pasta dough flow rates along the channel cross section, the given calculated dependences and the digital data obtained on their basis are of scientific and practical interest. They allow you to make a calculated estimate of the pasta dough flow rates at any point of the channel of the cylindrical section of the forming matrix, to find the maximum and average values of this speed for the required mass productivity of the pasta press per single channel. They also make it possible to calculate the pressure drops required to overcome the viscous resistance to the flow of pasta dough in each section of the channel.

In particular, the analysis of the tables shows that with an increase in the productivity of the pasta press, the pressure drops to overcome the viscous resistance in certain sections of the channel and in the forming matrix as a whole increase non-linearly. The average and maximum flow rates of pasta dough also increase non-linearly.

The obtained calculated values of pressure drops are in good agreement with the experimental data on pressure drops available in the scientific and technical literature [6], which confirms the correctness of the adopted calculation scheme.

Thus, the obtained dependencies can be a theoretical basis for calculating the performance of a pasta press, molding pressure, as a function of the structural dimensions of the molding channel and structural-mechanical (rheological) characteristics of the dough. They can be used in the design and calculation of a matrix for the production of pasta and a forming mechanism.

A method is proposed for calculating the flow rates of pasta dough in the cylindrical sections of the forming matrix, as well as pressure drops to overcome the resistance to viscous flow of pasta dough, taking into account the rheological patterns of dough flow in cylindrical channels of a stepped-variable section of the chamber of the pressing unit.

Approbation of analytical dependences was made on the example of an industrial matrix for the production of special pasta, which confirmed the correctness of the accepted calculation scheme and the results obtained on its basis. The results of the research can be used in engineering practice when designing new sizes of matrices

for pasta dough molding, at food enterprises for the production of pasta et as well as in the educational process in the training of food production process engineers.

References

1. Akulich A.V., Samuylenko T.D., Timakova R.T. Development of component composition of dry composite mixtures for custard bread varieties of improved nutritional value. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2021, no. 4, pp. 158-174. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
2. Bredikhin S.A., Marteha A.N., Kaverina Yu.E. Investigation of the rheological model of pasta dough for additive manufacturing. *Vestnik VGUIT*, 2021, vol. 83, no. 3, pp. 55-60. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-55-60>
3. Bredikhin S.A., Martekha A.N., Kaverina Yu.E. Investigation of structural and mechanical properties of pasta dough for additive manufacturing. *Scientific Journal of NIU ITMO. Series: Processes and apparatuses of food production*, 2021, no. 4(50), pp. 12-19. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2021-14-4-12-19>
4. Brekhov A.F., Ryazhskikh V.I. Rheological equation of caramel masses at low strain rates. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2001, no. 10, pp. 12-13.
5. Characterization of winter durum wheat varieties by grain quality and pasta properties / Kravchenko N. S., Samofalova N. E., Oldyreva I. M., Makarova T. S. *Grain farming of Russia*, 2020, no. 3(69), pp. 26-31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31>
6. Chernov M.S. Medvedev G.M., Negrub V.P. *Reference book on macaroni production*. Moscow: Light and Food Industry, 1984, 304 p.
7. Chernykh V.Ya., Sarbashev K.A., Artemiev S.Yu. Theoretical basis of the process of mixing recipe components when kneading pasta dough. *Khleboprodukty*, 2017, no. 11, pp. 44-47.
8. Improvement of the method of rheological assessment of grain quality in the selection of spring durum wheat / Gaponov S. N., Shutareva G. I., Tsetva N. M., Tsetva I. S., Milovanov I. V. *Grain farming in Russia*, 2020, no. 1(67), pp. 49-53. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-49-53>
9. Gun V.S., Reznikov S.I. Application of rheological equations in calculations of mechanical processes of food production. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchевaya tekhnologiya*, 1997, no. 2-3 (237-238), pp. 60-61.
10. Hydrodynamic modeling of the forming process of baking dough and confectionery masses / Kumitskiy B.M., Hasanov Z.S., Dolbilova M.A., Plaksina E.V. *Vestnik VGUIT*, 2022, vol. 84, no. 3, pp. 25-31. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-25-31>

11. Kogan V.V., Semenova L.E. Engineering rheology in food industry. *Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishery*, 2019, no. 4, pp. 147-156. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-147-156>
12. Koryachkin V.P., Goncharovsky D.A., Koryachkina S.Ya. Influence of native and blanched carrot powders on the rheological characteristics of pasta dough. *Technology and Commodity Science of innovative food products*, 2020, no. 2 (61), pp. 10-14. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-61-2-10-14>
13. McKelvey D. M. *Processing of polymers* / D. M. McKelvey. Moscow: Khimiya, 1965, 444 p.
14. Merker A. A., Reva E. N., Serdyuk V. A. Influence of gluten-free flour on the qualitative indicators of dough during kneading of bakery products. *Engineering Technologies and Systems*, 2022, vol. 32, no. 2, pp. 313-323. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.313-323>
15. Ostrikov A.N., Abramov O.V., Rudometkin A.S. *Extrusion in food technology*. Monograph. SPb.: GIOR, 2004, 288 p.
16. Pankov Yu.V., Minukhin L.A. Simulation modeling of the chain structure and rheological behavior of dough of the flour-water system under the force impact. *Scientific and Technical Bulletin: Technical Systems in Agroindustrial Complex*, 2020, no. 1(6), pp. 28-41.
17. Polynkova N.E., Zhilyaeva N.S. New technologies in the production of pasta. *Education and Science without Borders: Fundamental and Applied Research*, 2020, no. 12, pp.122-126. <https://doi.org/10.36683/2500-249X/2020-12/122-126>
18. Romanchikov S.A. Device for ultrasonic accelerated drying of pasta products in the infrared radiation regiment. *Polzunov Bulletin*, 2018, no. 1, pp. 70-76. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.014>
19. Shorstky I. A., Khudyakov D. A. Analysis of rheological properties of sunflower pulp pulp in the process of pressing with variation of temperature, pressure and oil content. *Vestnik MSTU*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 395-403. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-395-403>
20. Stavrov V.P., Dedyukhin V.G., Sokolov A.D. *Technological tests of reactoplasts*. Moscow: Khimiya, 1981, 246 p.
21. *Structural and mechanical characteristics of food products* / A. V. Gorbatov [et al]; ed. by A. V. Gorbatov. Moscow: Light and Food Industry, 1982, 296 p.
22. Tarasenko S.S., Fedotov V.A., Gladnikov D.V. Dependence of rheological properties of dough on the dispersibility of wheat pasta milling products. *Khlebo-produkty*, 2017, no. 6, pp. 53-55.
23. Timakova R., Efremova S., Zuparova V. Ways to improve the technologic al properties of commercial grain and ensure its preservation. *AIP Conference*

- Proceedings: International conference on food science and biotechnology*, 2021, vol. 2419(1), 020017. <https://doi.org/10.1063/5.0069615>
24. Cogswell F.N. *Polymer melt rheology: A guide for industrial practice*. Cambridge: Woodhead published Ltd., Elsevier science & technology, 1996, 176 p.
25. Chen G., Li Y. Aggregation behavior of semolina gluten during dough production and fresh pasta cooking upon kansui treatment. *Food Chemistry*, 2019, vol. 278, pp. 579-586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.096>
26. Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on pros mill et flour / Romero H.M., Santra D., Rose D., Zhang Y. *J. of Cereal Science*, 2017, vol. 74, pp. 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.014>
27. Dough rheology and physicochemical and sensory properties of wheat-peanut composite flour bread / Shongwe S.G., Kidane S.W., Shelembe J.S., Nkambule T.P. *Legume Science*, 2022, vol. 138, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1002/leg3.138>
28. Grudanov V.Y., Torgan A.B. Test equipment and tooling for studying the processes of pasta formation with controlled flow of dough in the pre-matrix chamber. *Bulletin of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Technics*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 75-85.
29. Grudanov V. Ya. *Rheological and technological bases of forming visco-plastic food masses in pressing units* / V. Ya. Grudanov, A. B. Torgan, V. G. Barsukov. Minsk: BGATU, 2021, 180 p.
30. Grudanov V.Ya., Torgan A.B., Barsukov V.G. Rheological modeling of the processes of pasta dough flow in the channels of confuser-diffuser inserts forming matrixes. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk*, 2021, vol. 59, no. 1, pp. 111-121.
31. Iuga M., Mironeasa S. Application of heat moisture treatment in wheat pasta production. *Food Control*, 2021, vol. 128, p. 108176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108176>
32. Jaensson N.O., Anderson P.D., Vermant J. Computational interfacial rheology. *J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 2021, vol. 290, p. 104507. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2021.104507>
33. Joyner S. (Melito) H. Explaining food texture through rheology. *Current Opinion in Food Science*, 2018, vol. 21, pp. 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.003>
34. Lovkis Z.V., Grigel A.I. Pressing and drying of pasta. *Food industry: science and technology*, 2021, vol. 14, no. 1 (51), pp. 43-49.
35. New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high 10quality dried pasta / Romano A., Ferranti P., Gallo V., Masi P. *Current Opinion in Food Science*, 2021, vol. 41, pp. 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.07.005>

36. Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology / Torbica A.M., Blažek K.M., Belović M., Hajnal E.J. *J. of Cereal Science*, 2019, pp. 654-657. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102812>
37. Rheology of cocoa butter / Mishra K., Kohler L., Kummer N., Zimmermann S., Ehrengreuber S., Kämpf F., Dufour D., Nyström G., Fischer P., Windhab E.J. *J. of Food Engineering*, 2021, vol. 305, p. 110598. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110598>
38. Sarghini F., Romano A., Masi P. Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process. *Journal of Food Engineering*, 2016, vol. 176, pp. 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.029>
39. Torgan A.B. Analysis of rheological aspects of pasta dough flow in channels of stepped-variable cross-section using nonlinear Bulkley-Herschel model. *Food Industry: Science and Technology*, 2015, no. 3, pp. 64-71.
40. Torgan, A.B. Estimation methodology of the macaroni dough flow parameters in the stepped cylindrical channels. *Bulletin of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Technics*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 90-98.
41. Viscoelastic properties of durum wheat doughs enriched with soluble dietary fibers in relation to pasta-making performance and glycaemic response of spaghetti / Peressini D., Cavarape A., Brennan M.A., Gao J., Brennan C.S. *Food Hydrocolloids*, 2020, vol. 102, p. 105613. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105613>
42. Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej / Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J., Antosik K. Warszawa: Wydawnictwo EKMA, 2009. <https://cybra.lodz.pl/publication/19936>

Список литературы

1. Акулич А.В., Самуйленко Т.Д., Тимакова Р.Т. Разработка компонентного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 4. С. 158-174. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
2. Бредихин С.А., Мартеха А.Н., Каверина Ю.Е. Исследование реологической модели макаронного теста для аддитивного производства // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 55-60. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-55-60>
3. Бредихин С.А., Мартеха А.Н., Каверина Ю.Е. Исследование структурно-механических свойств макаронного теста для аддитивного производства // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 4(50). С. 12-19. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2021-14-4-12-19>

4. Брехов А.Ф., Рязжских В.И. Реологическое уравнение карамельных масс при малых скоростях деформации // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 10. С. 12-13.
5. Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по качеству зерна и макаронным свойствам / Кравченко Н. С., Самофалова Н. Е., Олдырева И. М., Макарова Т. С. // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 26-31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31>
6. Чернов М.С. Медведев Г.М., Негруб В.П. Справочник по макаронному производству. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 304 с.
7. Черных В.Я., Сарбашев К.А., Артемьев С.Ю. Теоретические основы процесса смешивания рецептурных компонентов при замесе макаронного теста // Хлебопродукты. 2017. №11. С. 44-47.
8. Усовершенствование метода реологической оценки качества зерна в селекции яровой твердой пшеницы / Гапонов С. Н., Шутарева Г. И., Цетва Н. М., Цетва И. С., Милованов И. В. // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 49-53. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-49-53>
9. Гун В.С., Резников С.И. Применение реологических уравнений в расчетах механических процессов пищевых производств // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 1997. № 2-3 (237-238). С. 60-61.
10. Гидродинамическое моделирование процесса формирования хлебопекарного теста и кондитерских масс / Кумицкий Б.М., Гасанов З.С., Долбилова М.А., Плаксина Е.В. // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3. С. 25-31. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2022-3-25-31>
11. Коган В.В., Семенова Л.Э. Инженерная реология в пищевой промышленности // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 147-156. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2019-4-147-156>
12. Корячкин В.П., Гончаровский Д.А., Корячкина С.Я. Влияние порошков из нативной и бланшированной моркови на реологические характеристики макаронного теста // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2020. № 2 (61). С. 10-14. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-61-2-10-14>
13. Мак-Келви Д. М. Переработка полимеров / Д. М. Мак-Келви; пер. с англ. Ю. В. Зеленева [и др.]. М.: Химия, 1965. 444 с.
14. Меркер А. А., Рева Е. Н., Сердюк В. А. Влияние безглютеновой муки на качественные показатели теста при замесе хлебобулочного изделия // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 2. С. 313-323. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.313-323>

15. Остриков А.Н., Абрамов О.В., Рудометкин А.С. Экструзия в пищевой технологии. Монография. СПб.: ГИОРД, 2004. 288 с.
16. Панков Ю.В., Минухин Л.А. Имитационное моделирование цепочной структуры и реологического поведения теста системы мука-вода при силовом воздействии // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2020. № 1(6). С. 28-41.
17. Полянкова Н.Э., Жилиева Н.С. Новые технологии при производстве макаронных изделий // Образование и Знauка без границ: фундаментальные и прикладные исследования. 2020. № 12. С.122-126. <https://doi.org/10.36683/2500-249X/2020-12/122-126>
18. Романчиков С.А. Устройство для ультразвуковой ускоренной сушки макаронных изделий в полк инфракрасного излучения // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 70-76. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.014>
19. Шорсткий И. А., Худяков Д.А. Анализ реологических свойств мезги подсолнечника в процессе прессования с вариацией температуры, давления и масличности // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 3. С. 395-403. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-395-403>
20. Ставров В.П., Дедюхин В.Г., Соколов А.Д. Технологические испытания реактопластов. Москва: Химия, 1981. 246 с.
21. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А. В. Горбатов [и др.]; под ред. А. В. Горбатова. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 296 с.
22. Тарасенко С.С., Федотов В.А., Гладников Д.В. Зависимость реологических свойств теста от дисперсности продуктов макаронного помола пшеницы // Хлебопродукты. 2017. № 6. С. 53-55.
23. Timakova R., Efremova S., Zuparova V. Ways to improve the technologic al properties of commercial grain and ensure its preservation // AIP Conference Proceedings: International conference on food science and biotechnology. 2021. Vol. 2419(1), 020017. <https://doi.org/10.1063/5.0069615>
24. Cogswell F.N. Polymer melt rheology: A guide for industrial practice. Cambridge: Woodhead published Ltd., Elsevier science & technology, 1996. 176 p.
25. Chen G., Li Y. Aggregation behavior of semolina gluten during dough production and fresh pasta cooking upon kansui treatment // Food Chemistry. 2019. Vol. 278. P. 579-586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.096>
26. Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on pros mill et flour / Romero H.M., Santra D., Rose D., Zhang Y. // J. of Cereal Science. 2017. Vol. 74. P. 238-243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.014>

27. Dough rheology and physicochemical and sensory properties of wheat–peanut composite flour bread / Shongwe S.G., Kidane S.W., Shelembe J.S., Nkambule T.P. // *Legume Science*. 2022. Vol. 138. P. 1-8. <https://doi.org/10.1002/leg3.138>
28. Груданов В.Я., Торган А.Б. Испытательное оборудование и оснастка для изучения процессов формирования макаронных изделий с управляемым потоком теста в предматричной камере // *Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника*. 2021. Т. 11. № 1. С. 75-85.
29. Груданов В. Я. Реологические и технологические основы формирования вязко-пластичных пищевых масс в узлах прессования / В. Я. Груданов, А. Б. Торган, В. Г. Барсуков. Минск: БГАТУ, 2021. 180 с.
30. Груданов В.Я., Торган А.Б., Барсуков В.Г. Реологическое моделирование процессотечения макаронного теста в каналах конфузотно-диффузорных вставок формирующих матриц // *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серия аграрных навук*. 2021. Т. 59, №1. С.111-121.
31. Iuga M., Mironeasa S. Application of heat moisture treatment in wheat pasta production // *Food Control*. 2021. Vol. 128. P. 108176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108176>
32. Jaensson N.O., Anderson P.D., Vermant J. Computational interfacial rheology // *J. of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2021. Vol. 290. P. 104507. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2021.104507>
33. Joyner S. (Melito) H. Explaining food texture through rheology // *Current Opinion in Food Science*. 2018. Vol. 21. P. 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.003>
34. Ловкис З.В., Григель А.И. Прессование и сушка макаронных изделий // *Пищевая промышленность: наука и технология*. 2021. Т. 14. № 1 (51). С. 43-49.
35. New ingredients and alternatives to durum wheat semolina for a high 10quality dried pasta / Romano A., Ferranti P., Gallo V., Masi P. // *Current Opinion in Food Science*. 2021. Vol. 41. P. 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.07.005>
36. Quality prediction of bread made from composite flours using different parameters of empirical rheology / Torbica A.M., Blažek K.M., Belović M., Hájnal E.J. // *J. of Cereal Science*. 2019. P. 654-657. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102812>
37. Rheology of cocoa butter / Mishra K., Kohler L., Kummer N., Zimmermann S., Ehrenguber S., Kämpf F., Dufour D., Nyström G., Fischer P., Windhab E.J. // *J. of Food Engineering*. 2021. Vol. 305. P. 110598. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110598>

38. Sarghini F., Romano A., Masi P. Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 176. P. 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.09.029>
39. Торган А.Б. Анализ реологических аспектов течения макаронного теста в каналах ступенчато-переменного сечения с использованием нелинейной модели Балкли-Гершеля // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2015. № 3. С. 64-71.
40. Торган А.Б. Методика расчетной оценки параметров течения макаронного теста в ступенчатых цилиндрических каналах // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2022. Т. 12. № 1. С. 90-98.
41. Viscoelastic properties of durum wheat doughs enriched with soluble dietary fibres in relation to pasta-making performance and glycaemic response of spaghetti / Peressini D., Cavarape A., Brennan M.A., Gao J., Brennan C.S. // Food Hydrocolloids. 2020. Vol. 102. P.105613. <https://doi.org/10.1016/j.food-hyd.2019.105613>
42. Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej / Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J., Antosik K. Warszawa: Wydawnictwo EKMA, 2009. <https://cybra.lodz.pl/publication/19936>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna B. Torgan

*Belarusian State Agrarian Technical University
99, Nezavisimosti Ave., Minsk, 220023, Republic of Belarus
anechkat@tut.by
SPIN-code: 9888-1340
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8765-8096>*

Vladimir Ya. Grudanov

*Belarusian State Agrarian Technical University
99, Nezavisimosti Ave., Minsk, 220023, Republic of Belarus
pererabotka.kafedra@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1276-8001>*

Vladimir G. Barsukov

*Yanka Kupala Grodno State University
22, Ozheshko Str., Grodno, 230023, Republic of Belarus
v.g.barsukov@grsu.by*

SPIN-code: 6413-5838

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2762-6367>

Roza T. Timakova

*Ural State Economic University; Ural State Transport University
62, 8th March Str., Yekaterinburg, 620144, Russian Federation; 66,
Kolmogorova Str., Yekaterinburg, 620034, Russian Federation
trt64@mail.ru*

SPIN-code: 7663-1784

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-1465>

Researcher ID: C-3922-2018

Scopus Author ID: 57203766629

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Торган Анна Борисовна

*Белорусский государственный аграрный технический университет
пр-т Независимости, 99, г. Минск, 220023, Республика Беларусь
anechkat@tut.by*

Груданов Владимир Яковлевич

*Белорусский государственный аграрный технический университет
пр-т Независимости, 99, г. Минск, 220023, Республика Беларусь
pererabotka.kafedra@mail.ru*

Барсуков Владимир Георгиевич

*Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
ул. Ожешко, 22, г. Гродно, 230023, Республика Беларусь
v.g.barsukov@grsu.by*

Тимакова Роза Темерьяновна

*Уральский государственный экономический университет; Ураль-
ский государственный университет путей сообщения
ул. 8-е Марта, 62, г. Екатеринбург, 620144, Российская Федерация;
ул. Колмогорова, 66, г. Екатеринбург, 620034, Российская Федерация
trt64@mail.ru*

Поступила 04.10.2023

После рецензирования 10.11.2023

Принята 20.11.2023

Received 04.10.2023

Revised 10.11.2023

Accepted 20.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1145

UDC 619:616.995.773.4



Original article

SOME BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL FEATURES OF *HYPODERMA* LATREILLE, 1818 IN TAVUSH REGION OF ARMENIA

V.V. Grigoryan, O.V. Shcherbakov, V.V. Abrahamyan,
S.V. Yeribekyan, L.H. Grigoryan

Background. Cattle hypodermosis is a chronic parasitic disease (entomosis) that occurs as a result of parasitizing the larvae of warble flies in the body of animals. Disease is common in more than 55 countries of the world, causing great economic damage. It is considered as a parasitic disease with a certain zoonotic potential.

Purpose. To conduct research on biological and ecological features of the warble flies that determines certain epidemiological traits of the caused pathology in Tavush Region of Armenia.

Materials and methods. The observations were carried out in Tavush Region, and the experiments were carried out at the Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary Sanitary Expertise at the Armenian National Agrarian University. The warble flies marked with stain, were released at a distance of 0.5 to 1.5 km from livestock farms with subsequent search and trapping of insects, located on pastures and on the skin of animals. Generally, 275 warble flies were released. Warble fly activity was evaluated visually counting the comparative number of flying insects at the fixed point per minute at different times of the day, as well as animal anxiety state caused by warble flies was identified. Statistical processing of experimental data was performed by means of “Vassart.net” online calculator.

Results. Female warble flies *Hypoderma bovis* flew up to 12.1 km, while female warble flies *H. lineatum* did it up to 8.6 km. Females of *H. bovis* and *H. lineatum* demonstrated various spatial and circadian flying activity that depends on season, and altitude above the sea level. Spring generation of warble flies is more resistant to low air temperatures compared to the summer generation. Mild and humid summers, as well as an increase in the number of animals, contribute to an increase in the population of warble flies, while high temperature and high soil moisture contribute to the mass death of warble fly pupae developing in the ground.

Conclusion. *The research data cited in the article, detect the presence of a wide range of biocenotic factors that determine the epidemiology of cattle hypodermosis in the Tavush region of the Republic of Armenia. Cattle hypodermosis control plan was designed based on the results of the research, as well as natural and climatic conditions of Tavush region. Pasture prevention activities and periodic treatment of the cattle with insecticides were emphasized.*

Keywords: *climate; invasion; larva; pasture; Hypoderma*

For citation. *Grigoryan V.V., Shcherbakov O.V., Abrahamyan V.V., Yeribekyan S.V., Grigoryan L.H. Some Biological and Ecological Features of Hypoderma latreille, 1818 in Tavush Region of Armenia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 48-63. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1145*

Научная статья

НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *HYPODERMA LATREILLE*, 1818 В ТАВУШСКОЙ ОБЛАСТИ АРМЕНИИ

**В.В. Григорян, О.В. Щербаков, В.В. Абрамян,
С.В. Ерибекия, Л.Г. Григорян**

Обоснование. *Гиподерматоз крупного рогатого скота – хронический энтомоз, вызываемый паразитируемыми в организме животных личинками подкожных оводов. Болезнь распространена более чем в 55 странах мира и причиняет большой экономический ущерб. Болезнь относится к паразитозам с определенным зоонозным потенциалом.*

Цель. *Изучить биологические и экологические особенности подкожных оводов, являющихся эпизоотологическими детерминантами гиподерматоза крупного рогатого скота в Тавушской области Армении.*

Материалы и методы. *Наблюдения проводили в Тавушской области, а эксперименты – в Исследовательском центре ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы Национального аграрного университета Армении. Половозрелых оводов помечали краской и выпускали на расстоянии 0,5-1,5 км от животноводческих ферм с последующим отловом насекомых на пастбище и на кожных покровах животных. В общей сложности было выпущено 275 насекомых. Активность оводов оценивали визуально, подсчитывая количество летающих в течение минуты насекомых в определенной*

точке в разное время суток, а также по степени беспокойства животных, вызванного оводами. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с помощью онлайн-калькулятора "Vassart.net".

Результаты. Максимальная дальность полета самок *Hypoderma bovis* составила 12,1 км, а самок *H. lineatum* – 8,6 км. Самки *H. bovis* и *H. lineatum* демонстрировали различную пространственную и суточную активность, зависящую от времени года и высоты местности над уровнем моря. Весенняя генерация оводов более устойчива к низким температурам воздуха по сравнению с летней генерацией. Мягкое и влажное лето, а также увеличение поголовья скота обуславливает увеличение популяции подкожных оводов, тогда как высокая температура воздуха и высокая влажность почвы приводят к массовой гибели куколок оводов, развивающихся в почве.

Заключение. Приведенные в статье результаты исследований обнаруживают наличие широкого диапазона биоценологических факторов, определяющих эпизоотологические особенности гиподерматоза крупного рогатого скота в Тавушской области Республики Армения. На основании результатов исследования, а также с учетом природно-климатических условий Тавушской области, разработан план профилактики и борьбы с гиподерматозом крупного рогатого скота. План основан на пастбищной профилактике и периодических обработках животных инсектицидными препаратами.

Ключевые слова: климат; инвазия; личинка; пастбище; *Hypoderma*

Для цитирования. Григорян В.В., Щербаков О.В., Абрамян В.В., Ерибебян С.В., Григорян Л.Г. Некоторые биологические и экологические особенности *Hypoderma latreille*, 1818 в Тавушской области Армении // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 48-63. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1145

Introduction

The natural, climatic and geographical conditions of the Tavush Region of the Republic of Armenia contribute to the spread of numerous parasitic diseases of farm animals, among which the cattle hypodermosis caused by warble flies is well distinguished. Adult forms of the causative agent of the cattle hypodermosis – warble flies (Insecta: Diptera: Oestridae: Hypodermatinae) - are dipterous insects that go through all three stages of their larval development in the body of cattle. Two main species are described – *Hypoderma bovis* Linnaeus, 1758 and *H. lineatum* Viller, 1789 [3, 4, 8].

Taking into account the fact that hypodermosis is a widespread disease affecting a significant number of animals, it is necessary to assess the epide-

miological state of an area that is unfavorable for the disease considering the species of pathogens, as well as their activity at different times of the year and day, depending on natural and geographical conditions.

Cattle hypodermosis is a chronic parasitic disease (entomosis) that occurs as a result of parasitizing the larvae of warble flies in the body of animals. Parasites affect the internal organs and skin of their hosts [1 – 3, 7, 8, 24]. Disease is common in more than 55 countries of the world, causing great economic damage [4, 9, 13-21, 24, 28-29]. In sick animals, anorexia, as well as low milk and meat productivity is observed. Due to the fistulae that form in the back and lumbar region, the quality of raw hides decreases, and approximately 8% of that is rejected [4, 6 – 8, 10, 14, 23, 28]. For example, in the Russian Federation, the total economic damage from hypodermosis reaches 65 billion Russian rubles per year [11].

The disease also has an immunosuppressive effect, which increases the susceptibility of the animal body, affected by the larvae of warble flies, to all kinds of infections. In addition, the products obtained from animals with hypodermosis have a negative effect on the human health due to the presence of hypodermotoxin produced by the larvae of warble flies [5].

Currently hypodermosis is considered as a parasitic disease with a certain zoonotic potential [22, 25].

Despite the above mentioned, cattle hypodermosis remains completely unexplored in Armenia. No data on biology and ecology of the agents, as well as on epidemiological features of the pathology are available in our country.

Purpose

The purpose of current work was to conduct research on biological and ecological features of the warble flies that determines certain epidemiological traits of the caused pathology in Tavush Region of Armenia.

Materials and methods

In order to implement effective control measures against the cattle hypodermosis, it is necessary to determine the distribution area of adult warble flies, as well as the flight range of warble flies, taking into account the natural and climatic conditions and terrain features of the area [12, 27]. The studies were carried out in areas rich in pastures, located on hills partially or completely covered with forests. Research area (Tavush Region) is shown on the Fig. 1.

The experiments were carried out at the Research Center for Veterinary Medicine and Veterinary Sanitary Expertise at the Armenian National Agrarian

University. Adult forms of warble flies grown under laboratory conditions from larvae, were marked with fluorescent stain that was applied to the dorsal surface of the thoracic region of insects at a temperature of $+4^{\circ}$ to $+6^{\circ}\text{C}$.

The warble flies marked with stain, were released at a distance of 0.5 to 1.5 km from livestock farms with subsequent search and trapping of insects, located on pastures and on the skin of animals. Generally, 275 warble flies were released.

Warble fly activity was evaluated visually, in the pastures, counting the comparative number of flying insects at the fixed point per minute at different times of the day, as well as animal anxiety state caused by warble flies was identified.

Statistical processing of experimental data was performed by means of “Vassart.net” online calculator [26]. Fisher Exact Probability Test and Chi-square criterion were used to estimate statistical significance of the experimental data obtained.



Fig 1. Research area - Tavush Region - on the map of Armenia
(Source: Tavush Province | Armenia tour (armenia-tour.am))

Results

Research has shown that female warble flies *H. bovis* (Fig. 2) flew up to 12.1 km, and female warble flies *H. lineatum* (Fig. 3) did it up to 8.6 km.



Fig. 2. Female warble fly *H. bovis*



Fig. 3. Female warble fly *H. lineatum*

The quantitative ratio of warble flies belonging to the species *H. bovis* and *H. lineatum* at various distances are demonstrated in Table 1.

Table data show that female ratio of *Hypoderma* spp. detected at the distances of 0.5; 1.5; 3.0; 5.8; 8.6; 10.2; 12.1 km equals respectively to 14:18; 10:13; 11:16; 9:12; 7:6; 4:5; and 3:2. However, the obtained results are not statistically significant (Chi-square criterion equals to 0.06, $P > 0.05$ as calculated by Fisher's criterion).

Table 1.

Quantitative ratio of different *Hypoderma* spp. flight at various distances

Flight distance, km	<i>H. bovis</i> females	<i>H. lineatum</i> females
0.5	14	18
1.5	10	13
3.0	11	16
5.8	9	12
8.6	7	6
10.2	4	5
12.1	3	2

Discussion

Observations show that released adult warble flies flew in different directions. Warble flies released near livestock farms, gather in the area of barnyards and barns. About 48% of the tagged insects were found in the immediate vicinity of the animals within 10 minutes to 2 hours after release. Considering that the maximum flight range of adult warble flies is 12 km change of pasture sites for livestock should be carried out at a distance of 12 km from farms, which is not always possible in the conditions of the Tavush region due to the intensification of agricultural activities. A set of measures to control hypodermosis should cover the entire population of cattle, located in an epidemiologically unfavorable area, otherwise the infection will be repeated with subsequent coverage of new territories.

Long-term observations revealed the absence of adult warble flies in the subalpine (at altitudes about 2000 to 2200 meters above sea level) and alpine (at altitudes about 2200 to 2900 m above sea level) areas of Tavush Region, which means that grazing animals on high-altitude summer pastures can be naturally prevented from warble fly infection.

Comparative analysis of adult warble fly activity at different times of the day is demonstrated in the Fig. 4.

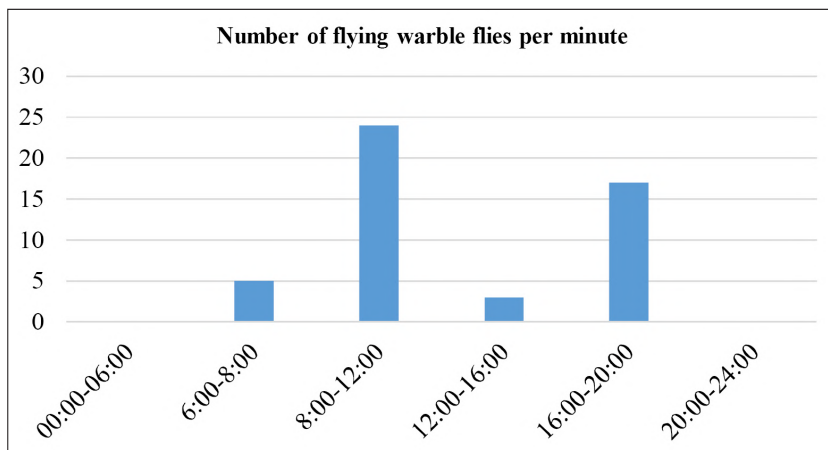


Fig. 4. Day cycles of the adult warble fly activity.

It was found out that on sunny days, adult warble flies began their flight at a temperature of $+7^{\circ}\text{C}$ to $+9^{\circ}\text{C}$, and on cloudy days it was at temperature of $+13$ to $+15^{\circ}\text{C}$. In spring, warble flies began their flight in the time interval from 9 to 11 o'clock in the morning, and in summer it was from 6 to 8 o'clock in the morning. In summer, during the day, insects showed the greatest activity in the range between 8 and 12 o'clock. With the onset of heat (from 13 to 16 o'clock), the activity of warble flies drops sharply. In the time interval between 16 and 20 o'clock, the warble flies again become active without reaching, however, the morning degree of activity. In autumn, the flight of warble flies lasts from 10 to 16 o'clock. It should be noted that the temperature factor affects the activity of warble flies in two ways.

So, with an increase in air temperature, the intensity of metabolic processes, and hence, the overall mobility of insects, increased. Changes in air temperature were perceived by the thermoreceptors of insects, which began to look for optimal conditions for their life, leaving the uncomfortable zone. An increase in air temperature to $+30^{\circ}\text{C}$ to $+40^{\circ}\text{C}$ reduced the activity of adult warble flies which explains the slowdown and even termination of the flight of these insects in the summer from 13 to 17 o'clock. At the indicated time of day, warble flies, as a rule, hid from the sun's rays in the cracks of the walls, rodent burrows, or under awnings.

It should be noted that the spring generation of warble flies is more resistant to low air temperatures compared to the summer generation. A prolonged decrease

in air temperature to 0°C, adult warble flies fell into suspended animation within two days, and some individuals even die. At the same time, the number of dead individuals is 43% in the spring generation and 85% in the summer generation of the *H. bovis*. Whereas, the percentage of individuals of the species *H. lineatum* that did not wake up from the state of anabiosis is 53% in the spring and 91% in the summer generation. Besides, a short-term decrease in air temperature to -20°C during several hours does not kill warble flies: with an increase in air temperature, their activity is restored. Mild and humid summers, as well as an increase in the number of animals, contribute to an increase in the population of warble flies, while high temperature (+39°C to +43°C) and high soil moisture (65-68%) contribute to the mass death of warble fly pupae developing in the ground.

Based on the data of observations, as well as taking into account the biological characteristics of warble flies common for the targeted area, we developed a plan to control the cattle hypodermosis considering the natural, climatic and geographical conditions of Tavush region.

The invasion control plan includes the following activities:

1. Carrying out preventive treatments of the skin of cattle using insecticides that stop the development of larval forms of the pathogens, parasitizing in the subcutaneous tissue of animals. Systematic treatment of animals should be carried out during the grazing period monthly with an interval of two weeks.
2. Animals should be grazed on periodically changing pastures; it is desirable to change pastures every 15-30 days.
3. Using areas located in the subalpine and alpine zones of the region for grazing animals in summer.

Conclusion

Based on the research results we can conclude that females of *Hypoderma bovis* and *H. lineatum* demonstrated various spatial and circadian flying activity. The activity mainly depends on season, and altitude above the sea level.

Spring generation of warble flies is more resistant to low air temperatures compared to the summer generation.

Mild and humid summers, as well as an increase in the number of animals, contribute to an increase in the population of warble flies, while high temperature (+39°C to +43°C) and high soil moisture (65-68%) contribute to the mass death of warble fly pupae developing in the ground.

Cattle hypodermosis control plan was designed based on the results of the research, as well as natural and climatic conditions of Tavush region. Pasture prevention activities and periodic treatment of the cattle with insecticides were emphasized.

Acknowledgements. This work was performed upon personal initiative of the authors, without any support.

Conflict of Interests. None declared

References

1. Vasilevich F.I, Stasyukevich S.I. Pharmacotherapy and prevention of gadfly diseases in cattle and horses. *Russian Veterinary Journal*, 2013, no. 2, pp. 30-32.
2. Vatsaev S.V. Species composition, features of biology and distribution of causative agents of cattle hypodermosis in the Chechen Republic. *Russian Journal of Parasitology*, 2017, no. 1, pp. 23-27.
3. Glazunova A.A, Kustikova O.V, Lunina D.A. et al. Hypodermosis in cattle, diagnosis, treatment and prevention (review). *Russian Journal of Parasitology*, 2019, vol. 13, no. 4, pp. 83-90.
4. Mavrin N.A. Warble flies of cattle in the Western region of the Russian Federation: biology, control measures: Dissertation... Candidate of Biol. Sciences. Moscow, 2008, 140 p.
5. Nepoklonov A.A., Prokhorova I.A., Mavrin N.A. Control of warble flies and prevention of hypodermosis in cattle in Russia and abroad. *Veterinaria Kubani* [Veterinary of Kuban], 2011, no. 5, pp. 21-25.
6. Prikaz "O neotlozhnykh merakh po bor'be s podkozhnym ovodom, profilaktike i ozdorovleniyu krupnogo rogatogo skota i severnykh oleney ot gipodermatoza v Rossijskoj Federacii na 2008-2010 gg." [Order "On urgent measures to combat the warble flies, prevention and rehabilitation of cattle and reindeer from hypodermosis in the Russian Federation for 2008–2010."]. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2008, 24 p.
7. Reshetnikov A.D, Barashkova A.I. Warble flies (Diptera: Hypodermatidae) as a problem of domestic animal husbandry: a review of scientific research. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2017, vol. 158, no. 4, pp. 48-51.
8. Smolyaninov Yu.I., Balyberdin B.N., Meltsov I.V. Analiz effektivnosti meropriyatii pri gipodermatoze krupnogo rogatogo skota [Analysis of effectiveness of measures in treating cattle hypodermosis]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Siberian Herald of Agricultural Science], 2019, vol. 49, no. 5, pp. 67-72.
9. Stepanova E. A. A new method for diagnostics of the cattle hypodermosis. *Veterinary Pathology*, 2005, no. 2, p. 96.
10. Ustinov A.M., Safullin R.T., Safullin R.R. et al. Fascioliasis and hypodermosis in cattle in the conditions of the Kaluga region. *Russian Journal of Parasitology*, 2017, no. 4, pp. 361-367.

11. Yatusevich A.I., Stasyukevich S.I., Yatusevich I.A. et al. Arachnoentomoses of domestic ruminants and hoofed animals. Vitebsk, 2006, 213 p.
12. Ahmed H., Afzal M.S., Mobeen M. et al. An overview on different aspects of hypodermosis: Current status and future prospects. *Acta Trop.*, 2016, vol. 162, pp. 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.05.016>
13. Ahmed H., Simsek S., Saki C.E., Kesik H.K., Kilinc S.G. Molecular Characterization of Hypoderma SPP. in Domestic Ruminants from Turkey and Pakistan. *J Parasitol.*, 2017, vol. 103, issue 4, pp. 303-308. <https://doi.org/10.1645/16-185>
14. Bagherzadeh N.M., Behniafar H., Rahbari S., Valizadeh S. Prevalence of hypodermosis in cattle slaughtered in industrial slaughtered-house of Ardebil, Iran. *Journal of Parasitic Diseases*, 2016, vol. 40, pp. 1579-1582.
15. Becskei Z., Ilić T., Pavličević N., et al. Hypodermosis in northern Serbia (Vojvodina). *Macedonian Veterinary Review*, 2016, vol. 39(1). <https://doi.org/10.1515/macvetrev-2016-0072>
16. Colwell D.D. Out of sight but not gone: Sero-surveillance for cattle grubs, *Hypoderma* spp., in western Canada between 2008 and 2010. *Vet. Parasitol.*, 2013, vol. 197, issues 1-2, pp. 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.07.009>
17. Darabus G., Tomoioga V.D., Florea T., et al. Epidemiological Surveillance of Hypodermosis in Cattle from Romania. *Pathogens*, 2023, vol. 12, pp. 1077-1086. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091077>
18. Fu Y., Li W., Duo H., et al. Genetic diversity and population genetics of the warble flies *Hypoderma bovis* and *H. sinense* in Qinghai Province, China. *Parasites & Vectors*, 2016, vol. 9, pp. 145-153. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1416-6>
19. El-Hawagry M.S.A., Abdel-Dayem M.S., Al Dhafer H.M. The family Oestridae in Egypt and Saudi Arabia (Diptera, Oestroidea). *ZooKeys*, 2020, vol. 947, pp. 113-142. <https://doi.org/10.3897/zookeys.947.52317>
20. Karatepe M., Simsek S., Karatepe B., et al. Seroprevalence of Hypodermosis in Cattle in Nigde Province of Turkey by Comparison of Commercial and Indirect-ELISA Methods. *Israel J. Vet. Med.*, 2013, vol. 68, issue 1, pp. 38-42.
21. Otranto D., Johnson G., Syvrud K., et al. Treatment and control of bovine hypodermosis with ivermectin long-acting injection (IVOMEC® GOLD). *Parasites & Vectors*, 2016, vol. 9, pp. 551-556. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1823-8>
22. Panadero-Fontán R., Otranto D. Arthropods affecting the human eye. *Vet Parasitol.*, 2015, vol. 208, issues 1-2, pp. 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.12.022>
23. Pfister K., J.-L. Charbon J.-L. Die erfolgreiche Bekämpfung der Hypodermose in der Schweiz: Ein Blick zurück. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 2014, Band 156, Heft 1, ss. 39-43. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000545>

24. Rehbeina S., Holsteb J.E., Smithc L.L., Lloyd J.L. The efficacy of eprinomectin extended-release injection against *Hypoderma* spp. (Diptera: Oestridae) in cattle. *Vet. Parasitol.*, 2013, vol. 192, pp. 353-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.11.042>
25. Stepanova E.A., Yakubovskii M.V. Cattle hypodermosis as potentially dangerous zoonosis. *Epidemiology, Immunobiology, Pharmacology, Sanitary Science: International Scientific and Practical Journal*, 2011, vol. 2, pp. 20-25.
26. Vassarstat.net statistical online calculator. Available at: Fisher 2x4. <http://vassarstats.net/fisher2x4.html>
27. Webster K. A., Giles M., Dawson C. A competitive ELISA for the serodiagnosis of hypodermosis. *Veterinary Parasitology*, 1997, vol. 68, no 1-2, pp. 155-164. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(96\)01062-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(96)01062-x)
28. Wiszniewska-Łaszczych A., Wysok B., Wojtacka J., Sołtysiuk M. Effect of Mixed Invasions of *Hypoderma bovis* and *Ostertagia ostertagi* in Cattle on Milk Yield and Contents in Polish Dairy Farms. *Animals*, 2021, vol. 11, pp. 464-470. <https://doi.org/10.3390/ani11020464>
29. Yadav A., Katoch R., Khajuria J.K., Godara R., Agrawal R. Prevalence of *Hypoderma lineatum* in cattle of Jammu region. *J. Par. Dis.*, 2013, vol. 37, pp. 196-198. <https://doi.org/10.1007/s12639-012-0162-8>

Список литературы

1. Василевич Ф. И., Стасюкевич С. И. Фармакотерапия и профилактика оводных заболеваний крупного рогатого скота и лошадей // Российский ветеринарный журнал. 2013. № 2. С. 30-32.
2. Вацаев Ш. В. Видовой состав, особенности биологии и распространение возбудителей гиподерматоза крупного рогатого скота в Чеченской Республике // Российский паразитологический журнал. 2017. Вып. 1. С. 23-27.
3. Гиподерматоз крупного рогатого скота, диагностика, лечение и профилактика (обзор) / Глазунова А. А., Кустикова О. В., Лунина Д. А., Ильясов П. В. // Российский паразитологический журнал. 2019. Т. 13. № 4. С. 83-90.
4. Маврин Н. А. Подкожный овод крупного рогатого скота в Западном регионе Российской Федерации: биология, меры борьбы: Дисс. ... канд.биол. наук. М., 2008. 140 с.
5. Непоклонов А. А., Прохорова И. А., Маврин Н. А. Борьба с подкожными оводами и профилактика гиподерматоза крупного рогатого скота в России и за рубежом // Ветеринария Кубани. 2011. № 5. С. 21-25.
6. Приказ "О неотложных мерах по борьбе с подкожным оводом, профилактике и оздоровлению крупного рогатого скота и северных оленей от гипо-

- дерматоза в Российской Федерации на 2008-2010 гг.». М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 2008. 24 с.
7. Решетников А. Д., Барашкова А. И. Подкожный овод (Diptera, Hypodermatidae) как проблема отечественного животноводства: обзор научных исследований // Аграрный вестник Урала. 2017. Т. 158, № 04. С. 48-51.
 8. Смолянинов Ю.И., Балыбердин Б. Н., Мельцов И.В. Анализ эффективности мероприятий при гиподерматозе крупного рогатого скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49, № 5. С. 67-72. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-5-9>
 9. Степанова Е. А. Новый метод диагностики гиподерматоза крупного рогатого скота // Ветеринарная патология. 2005. № 2. С. 96.
 10. Фасциолез и гиподерматоз крупного рогатого скота в условиях Калужской области / Устинов А.М., Сафиуллин Р.Т., Сафиуллин Р.Р., Шибитов С.К. // Российский паразитологический журнал. 2017. Вып. 4. С. 361-367.
 11. Арахноэнтомы домашних жвачных и однокопытных / Ятусевич А. И., Стасюкевич С. И., Ятусевич И. А., Михалочкина Е. И. Витебск, 2006. 213 с.
 12. Ahmed H., Afzal M. S., Mobeen M., Simsek S. An overview on different aspects of hypodermosis: Current status and future prospects // *Acta Trop.*, 2016, vol. 162, pp. 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.05.016>
 13. Ahmed H., Simsek S., Saki C.E., Kesik H.K., Kilinc S.G. Molecular Characterization of Hypoderma SPP. in Domestic Ruminants from Turkey and Pakistan // *J Parasitol.*, 2017, vol. 103, issue 4, pp. 303-308. <https://doi.org/10.1645/16-185>
 14. Bagherzadeh N.M., Behniafar H., Rahbari S., Valizadeh S. Prevalence of hypodermosis in cattle slaughtered in industrial slaughtered-house of Ardebil, Iran // *Journal of Parasitic Diseases*, 2016, vol. 40, pp. 1579-1582.
 15. Beeskei Z., Ilić T., Pavličević N., et al. Hypodermosis in northern Serbia (Vojvodina) // *Macedonian Veterinary Review*, 2016, vol. 39(1). <https://doi.org/10.1515/macvetrev-2016-0072>
 16. Colwell D.D. Out of sight but not gone: Sero-surveillance for cattle grubs, *Hypoderma* spp., in western Canada between 2008 and 2010 // *Vet. Parasitol.*, 2013, vol. 197, issues 1-2, pp. 297-303. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.07.009>
 17. Darabus G., Tomoioga V.D., Florea T., et al. Epidemiological Surveillance of Hypodermosis in Cattle from Romania // *Pathogens*, 2023, vol. 12, pp. 1077-1086. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091077>
 18. Fu Y., Li W., Duo H., et al. Genetic diversity and population genetics of the warble flies *Hypoderma bovis* and *H. sinense* in Qinghai Province, China // *Parasites & Vectors*, 2016, vol. 9, pp. 145-153. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1416-6>

19. El-Hawagry M.S.A., Abdel-Dayem M.S., Al Dhafer H.M. The family Oestridae in Egypt and Saudi Arabia (Diptera, Oestroidea) // ZooKeys, 2020, vol. 947, pp. 113-142. <https://doi.org/10.3897/zookeys.947.52317>
20. Karatepe M., Simsek S., Karatepe B., et al. Seroprevalence of Hypodermosis in Cattle in Nigde Province of Turkey by Comparison of Commercial and Indirect-ELISA Methods // Israel J. Vet. Med., 2013, vol. 68, issue 1, pp. 38-42.
21. Otranto D., Johnson G., Syvrud K., et al. Treatment and control of bovine hypodermosis with ivermectin long-acting injection (IVOMEK® GOLD) // Parasites & Vectors, 2016, vol. 9, pp. 551-556. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1823-8>
22. Panadero-Fontán R., Otranto D. Arthropods affecting the human eye // Vet Parasitol., 2015, vol. 208, issues 1-2, pp. 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.12.022>
23. Pfister K., J.-L. Charbon J.-L. Die erfolgreiche Bekämpfung der Hypodermose in der Schweiz: Ein Blick zurück // Schweizer Archiv für Tierheilkunde, 2014, Band 156, Heft 1, ss. 39-43. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000545>
24. Rehbeina S., Holsteb J.E., Smithc L.L., Lloyd J.L. The efficacy of eprinomectin extended-release injection against Hypoderma spp. (Diptera: Oestridae) in cattle // Vet. Parasitol., 2013, vol. 192, pp. 353-358. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.11.042>
25. Stepanova E.A., Yakubovskii M.V. Cattle hypodermosis as potentially dangerous zoonosis // Epidemiology, Immunobiology, Pharmacology, Sanitary Science: International Scientific and Practical Journal, 2011, vol. 2, pp. 20-25.
26. Vassarstat.net statistical online calculator. Available at: Fisher 2x4. <http://vassarstats.net/fisher2x4.html>
27. Webster K. A., Giles M., Dawson C. A competitive ELISA for the serodiagnosis of hypodermosis // Veterinary Parasitology, 1997, vol. 68, no 1–2, pp. 155–164. [https://doi.org/10.1016/s0304-4017\(96\)01062-x](https://doi.org/10.1016/s0304-4017(96)01062-x)
28. Wiszniewska-Łaszczych A., Wysok B., Wojtacka J., Sołtysiuk M. Effect of Mixed Invasions of Hypoderma bovis and Ostertagia ostertagi in Cattle on Milk Yield and Contents in Polish Dairy Farms // Animals, 2021, vol. 11, pp. 464-470. <https://doi.org/10.3390/ani11020464>
29. Yadav A., Katoch R., Khajuria J.K., Godara R., Agrawal R. Prevalence of *Hypoderma lineatum* in cattle of Jammu region // J. Par. Dis., 2013, vol. 37, pp. 196-198. <https://doi.org/10.1007/s12639-012-0162-8>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valery V. Grigoryan, PhD, Associate Professor, Senior Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise, Head of Department of Epidemiology and Parasitology

*Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., 0009, Yerevan, Republic of Armenia
grigoryanvgv@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0840-3961>*

Oleg V. Shcherbakov, PhD, Lead Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise; Senior Researcher at the Laboratory of Molecular Parasitology
*Armenian National Agrarian University; Scientific Center of Zoology and Hydroecology, National Academy of Science of the Republic of Armenia
74, Teryan Str., 0009, Yerevan, Republic of Armenia; 7, P. Sevak Str., 0014, Yerevan, Republic of Armenia
oleg1vet@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7533-1670>*

Viktor V. Abrahamyan, DVSci, Professor, Lead Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
*Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., 0009, Yerevan, Republic of Armenia*

Spartak V. Yeribekyan, DVM, Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
*Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., 0009, Yerevan, Republic of Armenia
eribeks@yandex.ru*

Liana H. Grigoryan, PhD, Director of the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
*Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., 0009, Yerevan, Republic of Armenia
lianagrigrigoryan7878@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8799-4568>*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Валерий Володяевич Григорян, к.б.н., доцент, старший научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы, заведующий кафедрой эпизоотологии и паразитологии

*Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, 0009, г. Ереван, Республика Армения
grigoryanvgv@mail.ru*

Олег Валерьевич Щербаков, к.б.н. ведущий научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы; старший научный сотрудник лаборатории молекулярной паразитологии

*Национальный аграрный университет Армении; Научный центр зоологии и гидроэкологии Национальной Академии наук Республики Армения
ул. Теряна, 74, 0009, г. Ереван, Республика Армения; ул. П. Севака, 7, 0014, г. Ереван, Республика Армения
oleg1vet@yandex.ru*

Виктор Ваганович Абрамян, д.в.н., профессор, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы

*Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, 0009, г. Ереван, Республика Армения*

Спартак Ваганович Ерибекян, ветеринарный врач, научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы

*Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, 0009, г. Ереван, Республика Армения
eribeks@yandex.ru*

Лиана Гайковна Григорян, к.в.н., доцент, директор Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы

*Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, 0009, г. Ереван, Республика Армения
lianagrigoryan7878@mail.ru*

Поступила 28.09.2023

После рецензирования 02.11.2023

Принята 25.11.2023

Received 28.09.2023

Revised 02.11.2023

Accepted 25.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1146

УДК 615.03:576.08



Научная статья

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ РЯДА РАСТИТЕЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЕРОПРОТЕКТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИИ IN VIVO

*А.С. Фролова, А.С. Милентьева, А.М. Федорова,
Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков*

Обоснование. Старение происходит наряду с прогрессирующим снижением физических функций организма и повышенным риском возрастных хронических заболеваний. Для лечения и профилактики хронических заболеваний в том числе используют полифенолы, например, мангиферин, кверцетин и транс-коричная кислота. Токсикологические исследования имеют важное значение в сфере биомедицинских исследований, так как некоторые экстрагированные полифенолы в высоких дозах могут способствовать развитию и прогрессированию рака и других заболеваний. Настоящее исследование направлено на оценку токсикологической безопасности выделенных ранее фенольных соединений из растений Сибирского Федерального округа.

Материалы и методы. В качестве модельного организма выбраны грызуны. Изучение мутагенных и антимутагенных свойств проводили при помощи микроядерного теста клеток костного мозга. Оценку цитотоксичности *in vitro* вели с помощью МТТ-теста.

Результаты. Изученные полифенолы в дозах 50,0 и 100,0 мг/кг не обладают мутагенными свойствами. Мангифери и кверцетин в дозе 50,0 мг/кг не обладают антимутагенным действием. При этом транс-коричная кислота в той же концентрации обладает антимутагенным действием. Мангиферин в концентрациях от 4,2 до 16,7 мкг/мл оказывает цитотоксическое действие. Транс-коричная кислота не обладает цитотоксичностью (при 2,1–33,3 мкг/мл). Кверцетин в концентрации 0,21 и 1,67 мкг/мл цитотоксическое действие, а в концентрациях 3,33 мкг/мл увеличивает жизнеспособность спленоцитов, предположительно за счет антиоксидантных свойств.

Закключение. Безопасность или низкая токсичность являются решающим преимуществом дальнейшего использования полифенолов в качестве

перспективных геропротекторов. Установлено, что дальнейшее изучение биологически активных веществ (мангиферина, кверцетина и транс-коричной кислоты) является целесообразным.

Ключевые слова: токсикологическая безопасность; мутагенные и анти-мутагенные свойства; цитотоксичность; полифенольные соединения

Для цитирования. Фролова А.С., Миленьева А.С., Федорова А.М., Асякина Л.К., Просеков А.Ю. Оценка безопасности ряда растительных метаболитов – перспективных геропротекторов в исследовании *in vivo* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 64-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1146

Original article

SAFETY ASSESSMENT OF A RANGE OF PLANT METABOLIC TOVES – ADVANCED GEROPROTECTORS IN VIVO RESEARCH

*A.S. Frolova, I.S. Milentyeva, A.M. Fedorova,
L.K. Asyakina, A.Yu. Prosekov*

Background. Ageing is associated with progressive impairment of physical functions and increased risk of age-related chronic diseases. Polyphenols such as mangiferin, quercetin and trans-cinnamic acid are also used for the treatment and prevention of chronic diseases. Toxicological research was important in biomedical research, as some high-dose extracted polyphenols could contribute to the development and progression of cancer and other diseases. This study is aimed at assessing toxicological safety of previously isolated phenolic compounds from plants of the Siberian Federal District.

Materials and methods. Rodents have been chosen as the model organism. The study of mutagenic and antimutagenic properties was carried out using a micronuclear test of bone marrow cell. Cytotoxicity *in vitro* was assessed using the MTT test.

Results. Polyphenols studied at doses of 50.0 and 100.0 mg/kg are not mutagenic. Mangiferin and quercetin at a dose of 50.0 mg/kg do not have anti-thagenic effects. In this case, trans-cinnamic acid in the same concentration has antimutagenic effect. Mangiferin in concentrates from 4.2 to 16.7 ug/ml has a cytotoxic effect. Trans-cinnamic acid is not cytotoxic (at 2.1-33.3 ug/ml). Quercetin has a cytotoxic effect in concentrations of 0.21 and 1.67 ug/ml, and at concentrations of 3.33 ug/ml increases the viability of splenocytes, presumably due to antioxidant properties.

Conclusion. *Safety or low toxicity is a decisive advantage of the continued use of polyphenols as advanced heroic flow agents. Further study of biologically active substances (mangiferin, quercetin and trans-cinnamic acid) has been found to be ce-woody.*

Keywords: *toxicological safety; mutagenic and antimutagenic properties; cytotoxicity; polyphenolic compounds*

For citation. *Frolova A.S., Milentyeva I.S., Fedorova A.M., Asyakina L.K., Prosekov A.Yu. Safety assessment of a range of plant metabolic toves – advanced geroprotectors in vivo research. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 64-91. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1146*

Введение

Хронические заболевания в пожилом возрасте являются основной проблемой общества в связи с увеличением продолжительности жизни [43]. Старение – это сложный биологический процесс, на который влияют генетические, эпигенетические, экологические и социальные факторы. Этот процесс происходит наряду с прогрессирующим снижением физических функций организма и повышенным риском возрастных хронических заболеваний, таких как нейродегенеративные расстройства, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) и рак [13, 55]. Следовательно, актуальны мероприятия, направленные на поиск практических и защитных терапевтических подходов, способствующих профилактике хронических заболеваний, связанных с возрастом, и повышению качества жизни.

Питание является одним из важных составляющих в регулировании хронических заболеваний и процессов старения. Например, через систематический прием питательных веществ с биологической активностью, поддерживающих психическое и физиологическое нормальное состояние организма [5].

Во многих исследованиях указано, что, искусственно синтезируемые биологически активные вещества (БАВ), используемые для профилактики и лечения различных заболеваний, имеют негативные для потребителя побочные эффекты [20]. Следовательно, актуальны работы, направленные на поиск и извлечение БАВ натурального происхождения [23]. На данный момент растет число исследований по изучению метаболомного состава различных растений, извлечению из данного сырья БАВ, например, полифенолов. [38].

Полифенолы представляют собой класс вторичных метаболитов растений, химическая структура которых включает по крайней мере одно

ароматическое кольцо с различными заместителями и гидроксильными группами [1, 37]. Наиболее распространенными полифенолами являются флавоноиды, которые представляют собой производные бензо- γ -пирона, состоящие из фенольных и пирановых колец [34], которые можно разделить на шесть классов, включая флавоны, флавонолы, флавонолы, флаваноны, изофлавоны и антоцианидины [24]. Другими распространенными полифенолами являются фенольные кислоты. Они представляют собой простые фенольные соединения семейства нефлавоноидов и синтезируются по пути шикимовой кислоты. Можно выделить две основные группы, обе из которых являются гидроксипроизводными ароматических карбоновых кислот: бензойные кислоты и коричные кислоты [21].

Полифенолы проявляют широкий спектр биологической активности, включая антимуtagenное, антибактериальное, противовирусное, противовоспалительное, противоаллергическое, антитромботическое и сосудорасширяющее действие [42, 57]. В частности, обнаружено, что они являются сильными антиоксидантами, поглощающими свободные радикалы, ингибирующими ферментативные системы, ответственные за генерацию свободных радикалов, хелатирование металлов и восстанавливающие свойства [41], что оказывает благотворное влияние на здоровье, особенно при лечении и профилактике различных хронических заболеваний [25].

Мангиферин (1,3,6,7-тетрагидроксиксантон- C_2 - β -D глюкозид) [47] – это полифенольное соединение [18], которое содержится во многих растениях [33]. Это природное соединение привлекло внимание благодаря своей различной биологической активности, включая антиоксидантные, противовоспалительные, противодиабетические, противораковые и антимикробные свойства [14, 60]. Доклинические исследования показали, что мангиферин в дозе 0,9 г/кг, как правило, нетоксичен (при изучении фармакокинетики мангиферина у 21 здорового китайского добровольца мужского пола) [45]. Безопасность и увеличение биодоступности (имеет низкую растворимость, плохую трансмембранную проницаемость и метаболическую нестабильность в кишечнике) [51] являются ключевыми ограничивающими факторами для разработки успешного применения мангиферина в качестве пищевой добавки или нутрицевтика [39].

Кверцетин (3,3',4',5,7-пентагидроксифлавонон) – одно из нескольких встречающихся в природе пищевых флавонольных соединений, принадлежащих к широкой группе полифенольных флавоноидных веществ [7]. Кверцетин проявляет антиоксидантные свойства против различных заболеваний, включая ССЗ, фиброз печени, цирроз печени, повреждение

почек и обструкцию желчевыводящих путей и другие [8]. Помимо антиоксидантной активности данное БАВ проявляет противовоспалительные, антиапоптотические, гепатопротекторные, ренопротективные, нейропротекторные и кардиопротекторные эффекты [22, 48]. Для дальнейшего клинического применения данного БАВ важно оценить его безопасность *in vivo* [44].

Транс-коричная кислота (3-фенилпроп-2-еновая кислота) является основным природным фенольным соединением в растениях, которое служит предшественником различных фенилпропаноидов, таких как лигнин и флавоноиды [35]. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов считает транс-коричную кислоту соединением, «общепризнанным как безопасное», что позволяет использовать ее в качестве пищевой добавки [27, 49].

Традиционное использование растений подтверждает их безопасность, однако, экстракты, концентраты БАВ, индивидуальные БАВ, выделенные из них, в найденной авторами научной литературе ограничено изучались – в частности, показатели биобезопасности игнорируются исследователями [12]. Оценка их безопасности и токсичности важна, поскольку экстракты растений обычно концентрированы и содержат большее количество биологически активных и токсичных соединений. Биологическое действие растительного экстракта может быть терапевтическим, функциональным или ядовитым и зависеть от количества и качества компонентов [11]. Например, их применение в чрезмерных концентрациях может вызвать фитотоксичность и аллергию [17]. Более того, некоторые экстрагированные полифенолы в высоких дозах могут способствовать развитию и прогрессированию рака и других заболеваний [46]. Поэтому токсикологические исследования имеют важное значение в сфере биомедицинских исследований, в частности, анализ токсичности обеспечивает безопасность новых биохимических соединений, которые будут использоваться в качестве пищевых добавок и лекарств в промышленности [19].

Широко востребованными модельными организмами, используемыми при оценке токсичности, являются: свободноживущие почвенные круглые черви (нематоды, *Caenorhabditis elegans*), плодовая мушка (*Drosophila melanogaster*), рыбка данио (*Danio rerio*), грызуны. Среди вышеупомянутых видов мыши чаще используются в качестве модельных систем прежде всего из-за их сходства с человеком с точки зрения физиологии, генетики и анатомии в сочетании с безграничными источниками и простотой манипуляций [56]. У мышей смоделированы сердечная функция и возрастные

изменения печени. Хотя мозг мыши менее сложен, чем человеческий, на клеточном уровне между нервными системами мыши и человека имеется много общего. Мыши представляют собой хорошую модель для тестирования потенциальных терапевтических средств, сочетая ценность системы млекопитающих с короткой продолжительностью жизни и возможностью генетических манипуляций [58].

Настоящее исследование направлено на оценку токсикологической безопасности выделенных ранее фенольных соединений (мангиферина, кверцетина, транс-коричной кислоты) из растений Сибирского Федерального округа. В качестве модельного организма выбраны грызуны: самцы мышей *Mus musculus* Balb/C, самки мышей (*Mus musculus*) стока CD-1.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись БАВ (степень очистки не менее 95 %), выделенные из экстрактов каллусных, суспензионных и корневых культур *in vitro* на предыдущих этапах работы [28]:

- мангиферин (MGF) из копеечника забытого (*Hedysarum neglectum*);
- кверцетин (KVC) из гинкго двулопастного (*Ginkgo biloba*);
- транс-коричная кислота (TKR-k) из шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis*).

Исследования *in vivo* выполнялось на базе СОП ИЦ ООО «Ифар». Животных распределяли по группам случайным образом так, чтобы разброс по исходной массе не превышал ± 10 % от ее среднего значения. Перед экспериментом животные прошли адаптацию в течение трех суток.

Животные имели неограниченный доступ к поилкам с питьевой водой (бутылочки из полипропилена с силиконовой пробкой с металлическим носиком из нержавеющей стали) и к полнорационному гранулированному корму «Дельта Фидс» для лабораторных крыс и мышей (АО «БиоПро», Россия).

Использование животных в рамках настоящего исследования и условия их содержания во время исследования рассмотрены биоэтической комиссией организации на предмет соответствия Политике работы с лабораторными животными ООО «Ифар» и нормативным документам, регулирующим работы с лабораторными животными [4, 59].

Для изучения мутагенных и антимутагенных свойств исследуемых объектов (MGF, KVC, TKR-k) проводили микроядерный тест клеток костного мозга. Исследуемые объекты использовали в дозах – 50,0 мг/кг и 100,0 мг/кг [16, 40, 50]. Для изучения мутагенной активности исследуе-

мые вещества и вещество негативного контроля (вода очищенная свежеприготовленная) вводили 5-кратно с интервалом 24,0 ч между введениями в объеме 0,2 мл на один прием. Позитивный контроль (алкилирующий агент циклофосфамид) вводили в дозе 40,0 мг/кг однократно за 24,0 ч до эвтаназии животных в объеме не более 2,0 мл на 100,0 г животного в один прием. Способ введения циклофосфамида – внутрибрюшинный [4]. Для оценки мутагенных и антимутагенных свойств использовали 55 самок мышей стока CD-1, возрастом 17–20 недель, с массой тела 31,7–36,7 г. Самки животных выбраны, так как у них больше, чем у самцов, стандартизована масса тела [36].

Для исследования антимутагенной активности животным в течение пяти дней вводили исследуемые вещества в желудок, на шестой день комбинацию исследуемых веществ (в желудок) и алкилирующего агента циклофосфамида (внутрибрюшинно). Через 24,0 ч после последнего введения животных взвесили и передали на эвтаназию (методом цервикальной дислокации). После эвтаназии приготовили препараты костного мозга, которые проанализировали на наличие мутагенных и антимутагенных свойств при помощи светового микроскопа с иммерсией («Carl Zeiss», Германия).

Препараты костного мозга. Каплю суспензии клеток костного мозга размазывали по предметному стеклу. Мазок оставляли на воздухе до полного высыхания. Затем препараты погружали в краситель Май-Грюнвальд (ООО «МиниМед», Россия) на 5,0 мин с последующим промыванием водой в течение 1,0 мин. После этого погружали в раствор красителя Гимза (ООО НПП «ПанЭко», Россия) на 30 мин с последующим промыванием водой в течение 1,0 мин. На каждом препарате подсчитывали полихроматофильные эритроциты с микроядрами (ПХЭ-МЯ) из 1000 полихроматофильных эритроцитов, если это количество клеток содержалось на препарате. Определение доли ПХЭ среди всех (полихроматофильных и нормохромных) эритроцитов проводили для каждого животного путем подсчета в общей сложности 200 эритроцитов костного мозга.

Для оценки цитотоксичности *in vitro* исследуемых объектов (MGF, KVC, TKR-k) использовали тест-систему – суспензию спленоцитов лимфатических узлов мышей-самцов Balb/C с помощью МТТ-теста (6 самцов мышей). Самцы ряда животных были выбраны, так как у самцов нет эстрального цикла, от стадии которого зависит восприимчивость к этиологическим факторам у самок. Это делает предпочтительным проведение исследования на самцах [4].

В эксперимент взяли 5 концентраций каждого исследуемого вещества при 2-кратном последовательном разведении максимально достижимой концентрации MGF и TKR-k (100 мкг/мл в водном растворе диметилсульфоксида (ДМСО)), и KVC (10 мкг/мл в водном растворе ДМСО). Таким образом, в исследовании тестировали MGF и TKR-k в концентрациях 2,1–33,3 мкг/мл, KVC в концентрациях 0,21–3,33 мкг/мл.

Во все тестируемые лунки круглодонного планшета в 5 повторениях вносили по 0,05 мл RPMI-1640 (ООО НПП «ПанЭко», Россия), затем в интактные лунки добавляли еще по 0,05 мл RPMI-1640, в контрольные – 0,05 мл ДМСО в концентрации 0,3 % для MGF и TKR-k и 0,033 % для KVC, в экспериментальные – по 0,05 мл MGF в концентрациях 2,1–33,3 мкг/мл, TKR-k в концентрациях 2,1–33,3 мкг/мл и KVC в концентрациях 0,21–3,33 мкг/мл. В последнюю очередь вносили стандартизованную суспензию спленоцитов в объеме 0,05 мл. Планшеты помещали на инкубацию на срок 72 ч при 37 °C, 100 % влажности воздуха и 5 % содержанием CO₂ в инкубатор Galaxy S Series 48S CO₂ («New Brunswick Scientific», США).

Получение суспензии спленоцитов. У линейных мышей Balb/C после эвтаназии вскрывали брюшную полость и извлекали селезенки. Спленоциты получали путем щадящей гомогенизации селезенки в холодном физиологическом растворе. Суспензию спленоцитов фильтровали через нейлоновый фильтр, затем дважды центрифугировали при 250 g в течение 5 мин, после чего оценивали количество живых спленоцитов в камере Горяева (ООО «МиниМед», Россия) с использованием 0,5 % раствора трипанового синего (ООО «Диаэм», Россия). Клетки ресуспендировали в RPMI-1640 до конечной концентрации 8×10^5 клеток/мл.

МТТ-тест. За 4 ч до окончания инкубации в лунки вносили по 20 мкл водного раствора тиазолил синий тетразолий бромид (МТТ) («Merck Millipore», США) в концентрации 2 мг/мл для растворения формазана в цитоплазме клеток. По окончании инкубации содержимое лунок удалили и к осадку в лунках вносили по 100 мкл ДМСО, затем по 90 мкл раствора из лунок круглодонного планшета перенесли в лунки плоскодонного планшета и измерили оптическую плотность лунок при 450 нм с использованием анализатора иммуноферментных реакций АИФР-01 («Неомедикс», Россия).

Статистическая обработка данных. В связи с тем, что в каждой группе было не более 5 животных, при сравнении показателей от разных групп использовали метод непараметрической статистики – критерий Манна-Уитни как наиболее подходящий для таких малых выборок [2]. Наличие выбросов оценивали согласно ГОСТ 16269-4-2017 [3] с помощью кри-

терия Граббса. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Результаты представлены с использованием среднего значения величины признака $\bar{X}$ и ошибки средней величины SE.

Результаты

Изучение мутагенных и антимутагенных свойств. Данные о количестве полихроматофильных эритроцитов с микроядрами (ПХЭ-МЯ) в костном мозге мышей представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Количество ПХЭ-МЯ и доля ПХЭ от общего числа эритроцитов в костном мозге мышей после 5-кратного введения исследуемых веществ или 1-кратного введения циклофосамида ($\bar{X} \pm SE$)

№ группы	Количество животных в группе	Группа	Количество ПХЭ-МЯ, %	Доля ПХЭ от всех эритроцитов, %
1	5	—	$0,07 \pm 0,02$	$59,3 \pm 4,0$
2	5	MGF, 50,0 мг/кг	$0,13 \pm 0,03$	$58,6 \pm 2,0$
3	5	MGF, 100,0 мг/кг	$0,08 \pm 0,02$	$56,5 \pm 2,4$
4	5	KVC, 50,0 мг/кг	$0,09 \pm 0,03$	$59,7 \pm 2,9$
5	5	KVC, 100,0 мг/кг	$0,06 \pm 0,01$	$61,8 \pm 4,3$
6	5	TKR-k, 50,0 мг/кг	$0,08 \pm 0,01$	$63,3 \pm 4,0$
7	5	TKR-k, 100,0 мг/кг	$0,08 \pm 0,02$	$63,6 \pm 2,6$
11	5	Циклофосамид, 40,0 мг/кг	$2,08 \pm 0,06^*$	$63,4 \pm 2,8$

* – статистически значимые различия с показателем негативного контроля, $p < 0,05$

Установлено, что количество ПХЭ-МЯ у животных в группе позитивного контроля (с циклофосамидом 40,0 мг/кг) было статистически значимо больше, чем у животных в группе негативного контроля, и показатели соответствовали литературным данным [32]. Соотношение полихроматофильных и нормохромных эритроцитов после введения циклофосамида не изменялось.

Пятикратное внутрижелудочное введение MGF, KVC и TKR-k в дозах 50,0 и 100,0 мг/кг не приводило к увеличению количества ПХЭ-МЯ и изменению соотношения ПХЭ к нормохромным эритроцитам в костном мозге мышей относительно контроля. MGF, KVC и TKR-k в дозах до 100,0 мг/кг не обладают мутагенными свойствами, регистрируемыми в микродерном тесте у мышей.

Таблица 2.

Количество ПХЭ-МЯ и доля ПХЭ от общего числа эритроцитов в костном мозге мышей, получивших 1-кратно циклофосфамид и 6-кратно исследуемые вещества (X±SE)

№ группы	Количество животных в группе	Группа	Количество ПХЭ-МЯ, %	Доля ПХЭ от всех эритроцитов, %
8	5	MGF, 50,0 мг/кг + циклофосфамид, 40,0 мг/кг	2,09±0,17	62,9±3,1
9	5	KVC, 50,0 мг/кг + циклофосфамид, 40,0 мг/кг	2,09±0,10	59,8±2,5
10	5	TKR-k, 50,0 мг/кг + циклофосфамид, 40,0 мг/кг	1,55±0,15*	64,9±2,8
11	5	Циклофосфамид, 40,0 мг/кг	2,08±0,06	63,4±2,8

* – статистически значимые различия с показателем позитивного контроля, $p < 0,05$

Пятикратное внутрижелудочное введение MGF и KVC в дозе 50,0 мг/кг не приводило к уменьшению количества ПХЭ-МЯ и изменению соотношения ПХЭ к нормохромным эритроцитам в костном мозге мышей, получивших циклофосфамид. Пятикратное внутрижелудочное введение TKR-k в дозе 50,0 мг/кг не приводило к изменению соотношения ПХЭ к нормохромным эритроцитам в костном мозге мышей, получивших циклофосфамид, при этом уменьшало количества ПХЭ-МЯ на 25 %.

Оценка цитотоксичности. Индивидуальные данные оптической плотности тестируемых лунок при изучении цитотоксичности *in vitro* MGF и TKR-k в концентрациях 2,1–33,3 мкг/мл и KVC в концентрациях 0,21–3,33 мкг/мл представлены в таблице 3.

Показано, что TKR-k в изучаемом диапазоне концентраций не влияет на жизнеспособность спленоцитов. MGF в диапазоне концентраций 4,2–16,7 мкг/мл снижает жизнеспособность спленоцитов относительно контроля ($p < 0,05$). KVC снижает жизнеспособность спленоцитов в концентрациях 0,21 и 1,67 мкг/мл относительно контроля ($p < 0,05$), при этом, вероятно, за счет антиоксидантных свойств, в концентрации 3,33 мкг/мл увеличивает жизнеспособность спленоцитов ($p < 0,05$).

Таблица 3.

Усредненные данные оптической плотности тестируемых лунок при изучении цитотоксичности *in vitro* MGF и TKR-k в концентрациях 2,1–33,3 мкг/мл и KVC в концентрациях 0,21–3,33 мкг/мл ($\bar{X} \pm SE$)

Тестируемое вещество	Оптическая плотность, ед.
Интактные лунки (RPMI-1640)	0,515±0,081
Контрольные лунки (ДМСО 0,3 %)	0,550±0,034
MGF, 33,3 мкг/мл	0,543±0,019
MGF, 16,7 мкг/мл	0,443±0,040*
MGF, 8,3 мкг/мл	0,469±0,033*
MGF, 4,2 мкг/мл	0,476±0,063*
MGF, 2,1 мкг/мл	0,537±0,015
TKR-k, 33,3 мкг/мл	0,505±0,049
TKR-k, 16,7 мкг/мл	0,549±0,007
TKR-k, 8,3 мкг/мл	0,437±0,124
TKR-k, 4,2 мкг/мл	0,494±0,058
TKR-k, 2,1 мкг/мл	0,520±0,005
Интактные лунки (RPMI-1640)	0,529±0,041
Контрольные лунки (ДМСО 0,03 %)	0,473±0,042
KVC, 3,33 мкг/мл	0,523±0,018*
KVC, 1,67 мкг/мл	0,387±0,008*
KVC, 0,83 мкг/мл	0,424±0,009
KVC, 0,42 мкг/мл	0,425±0,020
KVC, 0,21 мкг/мл	0,408±0,013*

* – статистически значимые различия с контролем, $p < 0,05$ (критерий Манна-Уитни)

Обсуждения

Экспериментальные токсикологические исследования необходимы для определения соотношения риска и пользы любого разрабатываемого продукта. Исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что мангиферин не оказывает генотоксического, кластогенного, острого или эмбриотоксического действия. Более того, мангиферин способен противостоять генетической токсичности, вызванной известными мутагенными агентами [9]. При исследовании антидепрессивного эффекта мангиферина, выделенного из *Hypericum aucheri*, М. Dimitrov и другие [10] также оценивали его токсичность. Острою токсичность мангиферина определяли на мышах-самцах путем перорального и внутрибрюшинного введения мангиферина, в количестве 4984 и 490 мг/кг массы тела соответственно. В результате уста-

новили, что мангиферин является малотоксичным соединением при внутрибрюшинном введении и практически нетоксичным при пероральном введении, с плохой абсорбцией после перорального введения. S.P. Selvam и соавторы [15] установили, что мангиферин, выделенный из метанольного экстракта корня *Salacia chinensis*, не проявляет мутагенности до 5 мг/чашку при тестировании со штаммами *Salmonella typhimurium* TA97a, TA98, TA100, TA102 и TA1535 с метаболической активацией или без нее. мангиферин не обладает мутагенными свойствами в тесте Эймса, проявляет защиту от мутагенности, индуцированной 4-нитрохинолен-1-оксидом, азидом натрия и 2-аминофлуреном у штаммов TA98 и TA100.

S. Wisutthathum и другие [31] исследовали экстракты из листьев *Aquilaria crassna* и чистый мангиферин на острую цитотоксичность по отношению к ферментативно изолированным клеткам сосудистых гладких мышц крысы. Анализ проводили с помощью МТТ-анализа. Мангиферин в концентрации 0,1–100 мкМ не проявляет острой цитотоксичности. В работе I. Rodeiro и других [29] проводили оценку генотоксичности мангиферина, выделенного из экстракта коры *Mangifera indica* L. Мангиферин в концентрации 50–5000 мкг не увеличивает частоту мутаций в тесте Эймса. Микроядерные исследования показали, что мангиферин не индуцирует цитотоксическую активность и не увеличивает частоту микроядерных/двухядерных клеток в костном мозге мышей. То есть, не вызывает цитотоксических или генотоксических эффектов, но защищает от повреждения ДНК, которое может быть связано с его антиоксидантными свойствами и способностью ингибировать ферменты цитохрома P450.

В своем исследовании S. Shivakumar и соавторы [52] продемонстрировали защитную роль кверцетина против ряда мутагенов и канцерогенов в сочетании исследований *in vitro* и *in vivo* с использованием различных механизмов. Результаты ясно показывают, что кверцетин играет значительную роль против мутагенов, которые действуют путем прямого связывания ДНК (образуют аддукты ДНК), промутагенов и алкилирующих агентов с образованием свободных радикалов; что может быть объяснением его мощной противораковой активности против определенных типов рака. В работе M. J. Ruiz и других [26] исследователи проводили оценку возможных вредных эффектов высоких доз т-птеростильбена и кверцетина на мышах. Ежедневное пероральное введение кверцетина концентрацией до 3000 мг/кг массы тела не вызывало смертности в течение экспериментального периода. Гистопатологическое исследование не выявило изменений клинических признаков или массы органов при любой дозе.

В исследовании Yu. Nishimura и соавторы [54] изучили влияние кверцетина на нормальные клетки с использованием тимоцитов крысы. Кверцетин в концентрации 3 мкМ и менее не оказывал цитотоксического действия на тимоциты крыс. При концентрации 10 мкМ происходило увеличение популяции сморщенных клеток. Следовательно, кверцетин в концентрациях 3 мкМ и менее не оказывает цитотоксического действия на нормальные клетки.

В работе N.Kh. Mousa и соавторов [30] определяли токсическое окислительное и антиоксидантное действие коричной кислоты в сравнении с витамином С на фоне мутагенного действия циклофосфана – химического соединения, повреждающего клетки печени и обладающего мутагенным действием. Модельным организмом выступали мыши. Исследовали две концентрации чистой коричной кислоты 5,6 и 2,8 мг/кг. Результаты не выявили токсических и окислительных эффектов коричной кислоты в биологической системе. Коричную кислоту можно рассматривать как антиоксидантное соединение, десмутагены первой степени и биоантимутагены второй степени.

При изучении транс-коричной и цис-коричной кислот G.-C. Yen и другие [6] проводили оценку цитотоксичности этих двух соединений на клетках аденокарциномы человека A549 с использованием МТТ-анализа. При использовании транс-коричной и цис-коричной кислот в концентрации 200 мкМ и при 24 ч инкубации не проявляется цитотоксичность по отношению к клеткам A549.

Заключение

Полифенолы обладают рядом биологических эффектов, а также представляют собой важные питательные вещества для человека. Их биологическая активность может обеспечить эффективную защиту некоторых распространенных заболеваний, таких как рак, ожирение, болезнь Альцгеймера и др. Безопасность или низкая токсичность являются решающим преимуществом дальнейшего использования полифенолов в качестве перспективных геропротекторов.

Установлено, MGF, KVC и TKR-k в дозах до 100,0 мг/кг не обладают мутагенными свойствами, регистрируемыми в микроядерном тесте у мышей. MGF и KVC в дозе 50,0 мг/кг не обладают антимутагенным действием. Установлено, что TKR-k при 5-кратном внутрижелудочном введении мышам в дозе 50,0 мг/кг обладает антимутагенным действием, которое выражается снижением числа полихроматофильных эритроцитов с микроядрами на 25 %.

Установлено, что MGF в диапазоне концентраций 4,2–16,7 мкг/мл оказывает цитотоксическое действие в отношении спленоцитов, в концентрациях 2,1 и 33,3 мкг/мл не влияет на жизнеспособность спленоцитов ($p>0,05$). Что KVC в концентрации 3,33 мкг/мл увеличивает жизнеспособность спленоцитов, а в концентрациях 0,21 и 1,67 мкг/мл снижает ее. Что TKR-k в диапазоне концентраций 2,1–33,3 мкг/мл в данных экспериментальных условиях цитотоксичностью не обладает.

Проведенные исследования показали целесообразность дальнейшей оценки биоактивности изучаемых БАВ, так как данные вещества были безопасны для модельных организмов (мышей). В дальнейшем планируется оценить активность полифенолов – их влияние на уровни липидов и сахаров в крови, влияние на накопление массы тела и прочие показатели, связанные с развитием метаболических нарушений, таких как ожирение, диабет, ССЗ и др.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разработка биологически активных добавок, состоящих из метаболитов растительных объектов *in vitro*, для защиты населения от преждевременного старения» (проект FZSR-2024-0008) с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Funding. The work was carried out by the state task on the topic «Development of biologically active additives consisting of metabolites of plant objects *in vitro* to protect the population from premature aging» (project FZSR-2024-0008) using the equipment of Center of Collective Use «Instrumental methods of analysis in the field of applied biotechnology» on the basis of KemSU.

Список литературы

1. Биофункциональная активность *in vivo* хлорогеновой кислоты и биоханина А, выделенных из экстрактов каллусной культуры *Trifolium pratense* L. / Милентьева И.С., Веснина А.Д., Федорова А.М., Остапова Е.В., Ларичев Т.А. // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 4. С. 754–765. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2475>
2. Глушанко В.С. Основы медицинской статистики: учеб.-метод. Пособие. Витебск: ВГМУ, 2012. 155 с.
3. ГОСТ Р ИСО 16269-4–2017. Статистическое представление данных. Часть 4: Выявление и обработка выбросов. М.: Стандартинформ. 2017. 53 с.

4. Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая / под ред. А.Н. Миронова. М.: Гриф и К, 2012. 944 с.
5. A Cocktail of Polyherbal Bioactive Compounds and Regular Mobility Training as Senolytic Approaches in Age-dependent Alzheimer's: the In Silico Analysis, Lifestyle Intervention in Old Age / Hajibabae F., Abedpoor N., Taghian F., Safavi K. // *J Mol Neurosci*. 2023. Vol. 73. P. 171–184. <https://doi.org/10.1007/s12031-022-02086-8>
6. A comparative study on the effectiveness of cis- and trans-form of cinnamic acid treatments for inhibiting invasive activity of human lung adenocarcinoma cells / Yen G.-C., Chen Ye.-L., Sun F.-M., Chiang Yu.-L., Lu S.-H., Weng C.-J. // *Eur J Pharm Sci*. 2011. Vol. 44(3). P. 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2011.08.006>
7. A critical review of the data related to the safety of quercetin and lack of evidence of in vivo toxicity, including lack of genotoxic/carcinogenic properties / Harwood M., Danielewska-Nikiel B., Borzelleca J.F., Flamm G.W., Williams G.M., Lines T.C. // *Food Chem Toxicol*. 2007. Vol. 45(11). P. 2179–2205. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.05.015>
8. A systematic review on hepatoprotective activity of quercetin against various drugs and toxic agents: Evidence from preclinical studies / Pingili R.B., Challa S.R., Pawar A.K., Toleti V., Kodali T., Koppula S. // *Phytotherapy Research*. 2020. Vol. 34. P. 5–32. <https://doi.org/10.1002/ptr.6503>
9. A toxicological evaluation of mango leaf extract (*Mangifera indica*) containing 60% mangiferin / Reddeman R.A., Glavits R., Endres J.R., Clewell A.E., Hirka G., Vertesi A., Beres E., Szakonyine I.P. // *J. Toxicol*. 2019. Vol. 2019. P. 4763015. <https://doi.org/10.1155/2019/4763015>
10. Acute toxicity, antidepressive and mao inhibitory activity of mangiferin isolated from *hypericum aucheri* / Dimitrov M., Nikolova I., Benbasat N., Kitanov G., Danchev N. // *Biotechnol. Biotechnol. Equip*. 2011. Vol. 25. P. 2668–2671. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2011.0099>
11. Adverse effects of plant food supplements and botanical preparations: a systematic review with critical evaluation of causality / Di Lorenzo C., Ceschi A., Kupferschmidt H., Lude S., De Souza N.E., Dos Santos A., Colombo F., Frigerio G., Norby K., Plumb J., Finglas P., Restani P. // *Br J Clin Pharmacol*. 2015. Vol. 79. P. 578–592. <https://doi.org/10.1111/bcp.12519>
12. Adverse effects of plant food supplements and plants consumed as food: results from the poisons Centres-based PlantLIBRA study / Lüde S., Vecchio S., Sinno-Tellier S., Dopter A., Mustonen H., Vucinic S., Jonsson B., Müller D., Fruchtgarten L.V.G., Hruby K., Nascimento E.D.S., Di Lorenzo C., Restani

- P., Kupferschmidt H., Ceschi A. // *Phytother Res.* 2016. Vol. 30. P. 988–996. <https://doi.org/10.1002/ptr.5604>
13. Aging Hallmarks and the Role of Oxidative Stress / Maldonado E., Morales-Pison S., Urbina F., Solari A. // *Antioxidants.* 2023. Vol. 12(3). P. 651. <https://doi.org/10.3390/antiox12030651>
14. Alaiya M.A., Odeniyi M.A. Utilisation of *Mangifera indica* plant extracts and parts in antimicrobial formulations and as a pharmaceutical excipient: a review // *Futur J Pharm Sci.* 2023. Vol. 9(1). P. 29. <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00479-z>
15. Antimutagenicity of mangiferin purified from *Salacia chinensis* Linn. / Selvam S.P., Magesh V., Raja V., Mahendran T.S., Muthumary J., Kalaichelvan P.T., Murugesan K. // *Internat. Multidiscipl. Res. J.* 2011. Vol. 1(1). P. 1–5. <https://updatepublishing.com/journal/index.php/imrj/article/view/1460>
16. Anti-proliferative and immunomodulatory potencies of cinnamon oil on Ehrlich ascites carcinoma bearing mice / Morsi D.S., El-Nabi S.H., Elmaghraby M.A., Ali O.A.A., Fayad E., Khalifa S.A.M., El-Seedi H.R., El-Garawani I.M. // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12. P. 11839. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14770-1>
17. Application of rosemary and eucalyptus essential oils on the preservation of cucumber fruit / Xylia P., Chrysargyris A., Shahwar D., Ahmed Z.F.R., Tzortzakakis N. // *Horticulturae.* 2022. Vol. 8. P. 774. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090774>
18. Athipornchai A., Pabunrueang P., Trakulsujaritchok T. Mangiferin loaded carrageenan/chitosan core-shell hydrogel beads: Preparation, characterization and proposed application // *Food Hydrocolloids.* 2024. Vol. 147(A). P. 109394. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109394>
19. Bambino K., Chu J. Chapter Nine – Zebrafish in Toxicology and Environmental Health // *Current Topics in Developmental Biology*, Editor(s): K.C. Sadler, New York: Academic Press, 2017. Vol. 124. P. 331–367. <https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2016.10.007>
20. Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of *Arum maculatum* leaves extracts as affected by various solvents and extraction methods / Farahmandfar R., Kenari R.E., Asnaashari M., Shahrampour D., Bakhshandeh T. // *Food Sci Nutr.* 2019. Vol. 7. P. 465–475. <https://doi.org/10.1002/fsn3.815>
21. Bioactivity and Molecular Docking Studies of Derivatives from Cinnamic and Benzoic Acids / Perez-Castillo Yu., Lima T.C., Ferreira A.R., Silva C.R., Campos R.S., Neto J.B.A., Magalhães H.I.F., Cavalcanti B.C., Júnior H.V.N., de Sousa D.P. // *Biomed Res Int.* 2020. Vol. 2020. P. 6345429. <https://doi.org/10.1155/2020/6345429>

22. Bioavailability of quercetin: Problems and promises / Cai X., Fang Z., Dou J., Yu A., Zhai G. // *Curr. Med. Chem.* 2013. Vol. 20. P. 2572–2582. <https://doi.org/10.2174/09298673113209990120>
23. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation / Milentyeva I.S., Fedorova A.M., Larichev T.A., Altshuler O.G. // *Foods and Raw Materials*. 2023. Vol. 11(1). P. 172–186. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>
24. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India / Marathe S.A., Rajalakshmi V., Jamdar S.N., Sharma A. // *Food and Chemical Toxicology*. 2011. Vol. 49(9). P. 2005–2012. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.039>
25. Czubinski J., Dwiecki K. A review of methods used for investigation of protein–phenolic compound interactions // *Int J Food Sci Technol*. 2017. Vol. 52(3). P. 573–585. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.13339>
26. Dietary administration of high doses of pterostilbene and quercetin to mice is not toxic / Ruiz M.J., Fernandez M., Pico Y., Manes J., Asensi M., Carda C., Asensio G., Estrela J.M. // *J Agric Food Chem*. 2009. Vol. 57(8). P. 3180–3186. <https://doi.org/10.1021/jf803579e>
27. Effective synthesis of magnetic porous molecularly imprinted polymers for efficient and selective extraction of cinnamic acid from apple juices / Shi S., Fan D., Xiang H., Li H. // *Food Chem*. 2017. Vol. 237. P. 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.086>
28. Effects of bioactive substances isolated from Siberian medicinal plants on the lifespan of *Caenorhabditis elegans* / Faskhutdinova E.R., Sukhikh A.S., Le V.M., Minina V.I., Khelef M.E.A., Loseva A.I. // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10(2). P. 340–352. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-544>
29. Evaluation of genotoxicity and DNA protective effects of mangiferin, a glucosylxanthone isolated from *Mangifera indica* L. stem bark extract / Rodeiro I., Hernandez S., Morffi J., Herrera J.A., Gómez-Lechón M.J., Delgado R., Espinosa-Aguirre J.J. // *Food and Chemical Toxicology*. 2012. Vol. 50(9). P. 3360–3366. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.06.032>
30. Evaluation of Toxic Oxidant Activity for Pure Cinnamic Acid in Albino Mice / Mousa N.Kh., Al-Zubiadi L.Ah., Ahmed I.Ab. // *Journal of Madent Alelem College*. 2011. Vol. 3(2). P. 38–50.
31. Extract of *Aquilaria crassna* leaves and mangiferin are vasodilators while showing no cytotoxicity / Wisutthathum S., Kamkaew N., Inchan A., Chatturong U., Paracha T.U., Ingkaninan K., Wongwad E., Chootip K. // *J Tradit Complement Med*. 2019. Vol. 9(4). P. 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2018.09.002>

32. Final Report 2647/23. Induction of micronuclei in the bone marrow of treated mice. Covance Inc. 2008. 58 p.
33. Gold-Smith F., Fernandez A., Bishop K. Mangiferin and Cancer: Mechanisms of Action // *Nutrients*. 2016. Vol. 8(7). P. 396. <https://doi.org/10.3390/nu8070396>
34. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships // *J Nutr Biochem*. 2002. Vol. 13(10). P. 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
35. High-level production of trans-cinnamic acid by fed-batch cultivation of *Escherichia coli* / Bang H.B., Lee K., Lee Yo.J., Jeong K.J. // *Process Biochemistry*. 2018. Vol. 68. P. 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.01.026>
36. Hong J., Stubbins R.E., Smith R.R. Differential susceptibility to obesity between male, female and ovariectomized female mice // *Nutr. J.* 2009. Vol. 8. P. 11. <https://doi.org/10.1186%2F1475-2891-8-11>
37. Khosravi A., Razavi S.H. Therapeutic effects of polyphenols in fermented soybean and black soybean products // *J Funct Foods*. 2021. Vol. 81. P. 104467. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104467>
38. Kotiloglu D., Acet T., Ozcan K. Phytochemical profile and biological activity of a therapeutic orchid from Anatolia: *Dactylorhiza romana* subsp. *Georgica* // *Food Measure*. 2020. Vol. 14. P. 3310–3318. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00566-2>
39. Mangiferin: a review of dietary sources, absorption, metabolism, bioavailability, and safety / Mei S., Perumal M., Battino M., Kitts D.D., Xiao J., Ma H., Chen X. // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023. Vol. 63(18). P. 3046–3064. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1983767>
40. Mangiferin: An effective therapeutic agent against several disorders (Review) / Du S., Liu H., Lei T., Xie X., Wang H., He X., Tong R., Wang Y. // *Mol. Med. Rep.* 2018. Vol. 18(6). P. 4775–4786. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9529>
41. Middleton E., Kandaswami C., Theoharides T.C. The Effects of Plant Flavonoids on Mammalian Cells: Implications for Inflammation, Heart Disease, and Cancer // *Pharmacological Reviews*. 2000. Vol. 52(4). P. 673–751. <https://pharmrev.aspetjournals.org/content/52/4/673>
42. NF- κ B inhibitors gifted by nature: The anticancer promise of polyphenol compounds / Guan C., Zhou X., Li H., Ma X., Zhuang J. // *Biomed Pharmacother*. 2022. Vol. 156. P. 113951. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113951>
43. Nutrition and the hallmarks of aging / Giudici K.V. // *J Nutr Health Aging*, Springer, 2021. Vol. 25. P. 1039–1041. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1686-3>
44. Okamoto T. Safety of quercetin for clinical application // *Int J Mol Med*. 2005. Vol. 16(2). P. 275–278. <https://doi.org/10.3892/ijmm.16.2.275>

45. Pharmacokinetic study of mangiferin in human plasma after oral administration / Hou S., Wang F., Li Yi., Li Yi., Wang M., Sun D., Sun C. // Food Chemistry. 2012. Vol. 132(1). P. 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.079>
46. Polyphenols: extraction methods, Antioxidative action, bioavailability and Anticarcinogenic effects / Mojzer E.B., Hrnčić M.K., Skerget M., Knez Z., Bren U. // Molecules. 2016. Vol. 21. P. 901. <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
47. Potent chemopreventive effect of mangiferin on lung carcinogenesis in experimental Swiss albino mice / Rajendran P., Rengarajan T., Nishigaki I., Ekambaram G., Sakthisekaran D. // J. Cancer Res. Ther. 2014. Vol. 10. P. 1033–1039. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.137966>
48. Prabu S.M., Muthumani M., Shagirtha K. Quercetin potentially attenuates cadmium induced oxidative stress mediated cardiotoxicity and dyslipidemia in rats // Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci. 2013. Vol. 17. P. 582–595. <https://www.europeanreview.org/wp/wp-content/uploads/582-595.pdf>
49. Production of trans-cinnamic acid by whole-cell bioconversion from L-phenylalanine in engineered *Corynebacterium glutamicum* / Son J., Jang J.H., Choi I.H., Lim C.G., Jeon E.J., Bang H.B., Jeong K.J. // Microb Cell Fact. 2021. Vol. 20. P. 145. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01631-1>
50. Quercetin, Inflammation and Immunity / Li Y., Yao J., Han C., Yang J., Chaudhry M.T., Wang S., Liu H., Yin Y. // Nutrients. 2016. Vol. 8(3). P. 167. <https://doi.org/10.3390%2Fnu8030167>
51. Recent Formulation Advances of Mangiferin / Barakat S., Nasr M., Ahmed R.F., Mortada N. // Rev. Bras. Farmacogn. 2022. Vol. 32. P. 871–882. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00297-z>
52. Role of Quercetin in chemoprevention against wide range of carcinogens and mutagens / Shivakumar S., Tadakaluru Ya.L., Raja, Ya. Sannidhi, R. Sekhar P.C. // Int. J. Drug Deliv. 2017. Vol. 9(9). P. 9–17. <http://dx.doi.org/10.5138/09750215.2040>
53. Scalbert A., Johnson I.T., Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond // Am J Clin Nutr. 2005. Vol. 81(1). P. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
54. Some characteristics of quercetin-induced cytotoxicity on rat thymocytes under in vitro condition / Nishimura Yu., Oyama T.B., Sakanashi Yo., Oyama T.M., Matsui H., Okano Yo., Oyama Ya. // Toxicology in Vitro. 2008. Vol. 22(4). P. 1002–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2008.02.006>
55. Tackling Atherosclerosis via Selected Nutrition / Vesnina A., Prosekov A., Atuchin V., Minina V., Ponasenko A. // Int J Mol Sci. 2022. Vol. 23(15). P. 8233. <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>

56. The posterity of Zebrafish in paradigm of in vivo molecular toxicological profiling / Verma S.K., Nandi A., Sinha A., Patel P., Mohanty S., Jha E., Jena S., Kumari P., Ghosh A., Jerman I., Chouhan R.S., Dutt A., Samal S.K., Mishra Yo.K., Varma R.S., Panda P.K., Kaushik N.K., Singh D., Suar M. // Biomed Pharmacother. 2024. Vol. 171. P. 116160. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116160>
57. Therapeutic Efficacy of Polyphenol-Rich Fraction of Boesenbergia rotunda in Diabetic Rats: A Focus on Hypoglycemic, Antihyperlipidemic, Carbohydrate Metabolism, Antioxidant, Anti-Inflammatory and Pancreato-Protective Activities / Wang T., Liu C., Shu S., Zhang Q., Olatunji O.J. // Front. Biosci. (Landmark Ed). 2022. Vol. 27(7). P. 206. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2707206>
58. Vanhooren V., Libert C. The mouse as a model organism in aging research: Usefulness, pitfalls and possibilities // Ageing Res Rev. 2013. Vol. 12(1). P. 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.03.010>
59. Washington D.C. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals: Eighth Edition. The National Academies Press, 2011. 246 p.
60. Yehia R.S., Altwaïm S.A. An Insight into In Vitro Antioxidant, Antimicrobial, Cytotoxic, and Apoptosis Induction Potential of Mangiferin, a Bioactive Compound Derived from *Mangifera indica* // Plants. 2023. Vol. 12. P. 1539. <https://doi.org/10.3390/plants12071539>

References

1. Biofunktional'naya aktivnost' in vivo khlorogenovoy kisloty i biokhanina A, vydelennykh iz ekstraktov kallusnoy kul'tury *Trifolium pratense* L. [Chlorogenic acid and Biohanin a from *Trifolium pratense* L. callus culture extract: functional activity in vivo] / Milentyeva I.S., Vesnina A.D., Fedorova A.M., Ostapova E.V., Larichev T.A. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2023, vol. 53(4), pp. 754–765. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2475>
2. Glushanko V.S. *Osnovy meditsinskoy statistiki* [Basic medical statistics]: study. -method. manual. Vitebsk: VGMU, 2012, 155 p.
3. GOST R ISO 16269-4-2017. *Statisticheskoe predstavlenie dannykh. Chast' 4: Vyavlenie i obrabotka vybrosov* [Statistical presentation. Part 4: Identification and treatment of emissions]. M.: Standinform, 2017, 53 p.
4. *Rukovodstvo po provedeniyu doklinicheskikh issledovaniy lekarstvennykh sredstv. Chast' pervaya* [Guidelines for pre-clinical drug research. Part One] / under editor A.N. Mironova. M.: Griff and K, 2012, 944 p.
5. A Cocktail of Polyherbal Bioactive Compounds and Regular Mobility Training as Senolytic Approaches in Age-dependent Alzheimer's: the In Silico Analy-

- sis, Lifestyle Intervention in Old Age / Hajibabaie F., Abedpoor N., Taghian F., Safavi K. *J Mol Neurosci*, 2023, vol. 73, pp. 171–184. <https://doi.org/10.1007/s12031-022-02086-8>
6. A comparative study on the effectiveness of cis- and trans-form of cinnamic acid treatments for inhibiting invasive activity of human lung adenocarcinoma cells / Yen G.-C., Chen Ye.-L., Sun F.-M., Chiang Yu.-L., Lu S.-H., Weng C.-J. *Eur J Pharm Sci*, 2011, vol. 44(3), pp. 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2011.08.006>
 7. A critical review of the data related to the safety of quercetin and lack of evidence of in vivo toxicity, including lack of genotoxic/carcinogenic properties / Harwood M., Danielewska-Nikiel B., Borzelleca J.F., Flamm G.W., Williams G.M., Lines T.C. *Food Chem Toxicol*, 2007, vol. 45(11), pp. 2179–2205. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.05.015>
 8. A systematic review on hepatoprotective activity of quercetin against various drugs and toxic agents: Evidence from preclinical studies / Pingili R.B., Challa S.R., Pawar A.K., Toleti V., Kodali T., Koppula S. *Phytotherapy Research*, 2020, vol. 34, pp. 5–32. <https://doi.org/10.1002/ptr.6503>
 9. A toxicological evaluation of mango leaf extract (*Mangifera indica*) containing 60% mangiferin / Reddeman R.A., Glavits R., Endres J.R., Clewell A.E., Hirka G., Vertesi A., Beres E., Szakonyine I.P. *J. Toxicol*, 2019, vol. 2019, pp. 4763015. <https://doi.org/10.1155/2019/4763015>
 10. Acute toxicity, antidepressive and mao inhibitory activity of mangiferin isolated from *hypericum aucheri* / Dimitrov M., Nikolova I., Benbasat N., Kitanov G., Danchev N. *Biotechnol. Biotechnol. Equip*, 2011, vol. 25, pp. 2668–2671. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2011.0099>
 11. Adverse effects of plant food supplements and botanical preparations: a systematic review with critical evaluation of causality / Di Lorenzo C., Ceschi A., Kupferschmidt H., Lude S., De Souza N.E., Dos Santos A., Colombo F., Frigerio G., Norby K., Plumb J., Finglas P., Restani P. *Br J Clin Pharmacol*, 2015, vol. 79, pp. 578–592. <https://doi.org/10.1111/bcp.12519>
 12. Adverse effects of plant food supplements and plants consumed as food: results from the poisons Centres-based PlantLIBRA study / Lude S., Vecchio S., Sinno-Tellier S., Dopter A., Mustonen H., Vucinic S., Jonsson B., Müller D., Fruchtgarten L.V.G., Hruby K., Nascimento E.D.S., Di Lorenzo C., Restani P., Kupferschmidt H., Ceschi A. *Phytother Res*, 2016, vol. 30, pp. 988–996. <https://doi.org/10.1002/ptr.5604>
 13. Aging Hallmarks and the Role of Oxidative Stress / Maldonado E., Morales-Pison S., Urbina F., Solari A. *Antioxidants*, 2023, vol. 12(3), p. 651. <https://doi.org/10.3390/antiox12030651>

14. Alaiya M.A., Odeniyi M.A. Utilisation of *Mangifera indica* plant extracts and parts in antimicrobial formulations and as a pharmaceutical excipient: a review. *Futur J Pharm Sci*, 2023, vol. 9(1), p. 29. <https://doi.org/10.1186/s43094-023-00479-z>
15. Antimutagenicity of mangiferin purified from *Salacia chinensis* Linn. / Selvam S.P., Magesh V., Raja V., Mahendran T.S., Muthumary J., Kalaichelvan P.T., Murugesan K. *Internat. Multidiscipl. Res. J*, 2011, vol. 1(1), pp. 1–5. <https://updatepublishing.com/journal/index.php/imrj/article/view/1460>
16. Anti-proliferative and immunomodulatory potencies of cinnamon oil on Ehrlich ascites carcinoma bearing mice / Morsi D.S., El-Nabi S.H., Elmaghraby M.A., Ali O.A.A., Fayad E., Khalifa S.A.M., El-Seedi H.R., El-Garawani I.M. *Sci. Rep*, 2022, vol. 12, p. 11839. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14770-1>
17. Application of rosemary and eucalyptus essential oils on the preservation of cucumber fruit / Xylia P., Chrysargyris A., Shahwar D., Ahmed Z.F.R., Tzortzakis N. *Horticulturae*, 2022, vol. 8, p. 774. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090774>
18. Athipornchai A., Pabunrueang P., Trakulsujaritchock T. Mangiferin loaded carrageenan/chitosan core-shell hydrogel beads: Preparation, characterization and proposed application. *Food Hydrocolloids*, 2024, vol. 147(A), p. 109394. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109394>
19. Bambino K., Chu J. Chapter Nine – Zebrafish in Toxicology and Environmental Health // *Current Topics in Developmental Biology*, Editor(s): K.C. Sadler, New York: Academic Press, 2017, vol. 124, pp. 331–367. <https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2016.10.007>
20. Bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of *Arum maculatum* leaves extracts as affected by various solvents and extraction methods / Farahmandfar R., Kenari R.E., Asnaashari M., Shahrapour D., Bakhshandeh T. *Food Sci Nutr*, 2019, vol. 7, pp. 465–475. <https://doi.org/10.1002/fsn3.815>
21. Bioactivity and Molecular Docking Studies of Derivatives from Cinnamic and Benzoic Acids / Perez-Castillo Yu., Lima T.C., Ferreira A.R., Silva C.R., Campos R.S., Neto J.B.A., Magalhães H.I.F., Cavalcanti B.C., Júnior H.V.N., de Sousa D.P. *Biomed Res Int*, 2020, vol. 2020, p. 6345429. <https://doi.org/10.1155/2020/6345429>
22. Bioavailability of quercetin: Problems and promises / Cai X., Fang Z., Dou J., Yu A., Zhai G. *Curr. Med. Chem*, 2013, vol. 20, pp. 2572–2582. <https://doi.org/10.2174/09298673113209990120>
23. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation / Milentyeva I.S., Fedorova A.M., Larichev T.A., Altshuler O.G. *Foods and Raw Materials*, 2023, vol. 11(1), pp. 172–186. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>

24. Comparative study on antioxidant activity of different varieties of commonly consumed legumes in India / Marathe S.A., Rajalakshmi V., Jamdar S.N., Sharma A. *Food and Chemical Toxicology*, 2011, vol. 49(9), pp. 2005–2012. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.039>
25. Czubinski J., Dwiecki K. A review of methods used for investigation of protein–phenolic compound interactions. *Int J Food Sci Technol*, 2017, vol. 52(3), pp. 573–585. <http://dx.doi.org/10.1111/ijfs.13339>
26. Dietary administration of high doses of pterostilbene and quercetin to mice is not toxic / Ruiz M.J., Fernandez M., Pico Y., Manes J., Asensi M., Carda C., Asensio G., Estrela J.M. *J Agric Food Chem*, 2009, vol. 57(8), pp. 3180–3186. <https://doi.org/10.1021/jf803579e>
27. Effective synthesis of magnetic porous molecularly imprinted polymers for efficient and selective extraction of cinnamic acid from apple juices / Shi S., Fan D., Xiang H., Li H. *Food Chem*, 2017, vol. 237, pp. 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.086>
28. Effects of bioactive substances isolated from Siberian medicinal plants on the lifespan of *Caenorhabditis elegans* / Faskhutdinova E.R., Sukhikh A.S., Le V.M., Minina V.I., Khelef M.E.A., Loseva A.I. *Foods and Raw Materials*, 2022, vol. 10(2), pp. 340–352. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-544>
29. Evaluation of genotoxicity and DNA protective effects of mangiferin, a glucosylxanthone isolated from *Mangifera indica* L. stem bark extract / Rodeiro I., Hernandez S., Morffi J., Herrera J.A., Gómez-Lechón M.J., Delgado R., Espinosa-Aguirre J.J. *Food and Chemical Toxicology*, 2012, vol. 50(9), pp. 3360–3366. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.06.032>
30. Evaluation of Toxic Oxidant Activity for Pure Cinnamic Acid in Albino Mice / Mousa N.Kh., Al-Zubiadi L.Ah., Ahmed I.Ab. *Journal of Madent Alelem College*, 2011, vol. 3(2), pp. 38–50.
31. Extract of *Aquilaria crassna* leaves and mangiferin are vasodilators while showing no cytotoxicity / Wisutthathum S., Kamkaew N., Inchan A., Chatturong U., Paracha T.U., Ingkaninan K., Wongwad E., Chootip K. *J Tradit Complement Med*, 2019, vol. 9(4), pp. 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2018.09.002>
32. Final Report 2647/23. Induction of micronuclei in the bone marrow of treated mice. *Covance Inc*, 2008, 58 p.
33. Gold-Smith F., Fernandez A., Bishop K. Mangiferin and Cancer: Mechanisms of Action. *Nutrients*, 2016, vol. 8(7), p. 396. <https://doi.org/10.3390/nu8070396>
34. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *J Nutr Biochem*, 2002, vol. 13(10), pp. 572–584. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)

35. High-level production of trans-cinnamic acid by fed-batch cultivation of *Escherichia coli* / Bang H.B., Lee K., Lee Yo.J., Jeong K.J. *Process Biochemistry*, 2018, vol. 68, pp. 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.01.026>
36. Hong J., Stubbins R.E., Smith R.R. Differential susceptibility to obesity between male, female and ovariectomized female mice. *Nutr. J*, 2009, vol. 8, p. 11. <https://doi.org/10.1186%2F1475-2891-8-11>
37. Khosravi A., Razavi S.H. Therapeutic effects of polyphenols in fermented soybean and black soybean products. *J Funct Foods*, 2021, vol. 81, p. 104467. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104467>
38. Kotiloglu D., Acet T., Ozcan K. Phytochemical profile and biological activity of a therapeutic orchid from Anatolia: *Dactylorhiza romana* subsp. *Georgica*. *Food Measure*, 2020, vol. 14, pp. 3310–3318. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00566-2>
39. Mangiferin: a review of dietary sources, absorption, metabolism, bioavailability, and safety / Mei S., Perumal M., Battino M., Kitts D.D., Xiao J., Ma H., Chen X. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2023, vol. 63(18), pp. 3046–3064. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1983767>
40. Mangiferin: An effective therapeutic agent against several disorders (Review) / Du S., Liu H., Lei T., Xie X., Wang H., He X., Tong R., Wang Y. *Mol. Med. Rep*, 2018, vol. 18(6), pp. 4775–4786. <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.9529>
41. Middleton E., Kandaswami C., Theoharides T.C. The Effects of Plant Flavonoids on Mammalian Cells: Implications for Inflammation, Heart Disease, and Cancer. *Pharmacological Reviews*, 2000, vol. 52(4), pp. 673–751. <https://pharmrev.aspetjournals.org/content/52/4/673>
42. NF- κ B inhibitors gifted by nature: The anticancer promise of polyphenol compounds / Guan C., Zhou X., Li H., Ma X., Zhuang J. *Biomed Pharmacother*, 2022, vol. 156, p. 113951. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113951>
43. Nutrition and the hallmarks of aging / Giudici K.V. *J Nutr Health Aging*, Springer, 2021, vol. 25, pp. 1039–1041. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1686-3>
44. Okamoto T. Safety of quercetin for clinical application. *Int J Mol Med*, 2005, vol. 16(2), pp. 275–278. <https://doi.org/10.3892/ijmm.16.2.275>
45. Pharmacokinetic study of mangiferin in human plasma after oral administration / Hou S., Wang F., Li Yi., Li Yi., Wang M., Sun D., Sun C. *Food Chemistry*, 2012, vol. 132(1), pp. 289–294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.079>
46. Polyphenols: extraction methods, Antioxidative action, bioavailability and Anticarcinogenic effects / Mojzer E.B., Hrnčić M.K., Skerget M., Knez Z., Bren U. *Molecules*, 2016, vol. 21, p. 901. <https://doi.org/10.3390/molecules21070901>
47. Potent chemopreventive effect of mangiferin on lung carcinogenesis in experimental Swiss albino mice / Rajendran P., Rengarajan T., Nishigaki I., Ekam-

- baram G., Sakthisekaran D. *J. Cancer Res. Ther*, 2014, vol. 10, pp. 1033–1039. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.137966>
48. Prabu S.M., Muthumani M., Shagirtha K. Quercetin potentially attenuates cadmium induced oxidative stress mediated cardiotoxicity and dyslipidemia in rats. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci*, 2013, vol. 17, pp. 582–595. <https://www.europeanreview.org/wp/wp-content/uploads/582-595.pdf>
49. Production of trans-cinnamic acid by whole-cell bioconversion from L-phenylalanine in engineered *Corynebacterium glutamicum* / Son J., Jang J.H., Choi I.H., Lim C.G., Jeon E.J., Bang H.B., Jeong K.J. *Microb Cell Fact*, 2021, vol. 20, p. 145. <https://doi.org/10.1186/s12934-021-01631-1>
50. Quercetin, Inflammation and Immunity / Li Y., Yao J., Han C., Yang J., Chaudhry M.T., Wang S., Liu H., Yin Y. *Nutrients*, 2016, vol. 8(3), p. 167. <https://doi.org/10.3390%2Fnu8030167>
51. Recent Formulation Advances of Mangiferin / Barakat S., Nasr M., Ahmed R.F., Mortada N. *Rev. Bras. Farmacogn*, 2022, vol. 32, pp. 871–882. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00297-z>
52. Role of Quercetin in chemoprevention against wide range of carcinogens and mutagens / Shivakumar S., Tadakaluru Ya.L., Raja, Ya. Sannidhi, R. Sekhar P.C. *Int. J. Drug Deliv*, 2017, vol. 9(9), pp. 9–17. <http://dx.doi.org/10.5138/09750215.2040>
53. Scalbert A., Johnson I.T., Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr*, 2005, vol 81(1), pp. 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
54. Some characteristics of quercetin-induced cytotoxicity on rat thymocytes under in vitro condition / Nishimura Yu., Oyama T.B., Sakanashi Yo., Oyama T.M., Matsui H., Okano Yo., Oyama Ya. *Toxicology in vitro*, 2008, vol. 22(4), pp. 1002–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2008.02.006>
55. Tackling Atherosclerosis via Selected Nutrition / Vesnina A., Prosekov A., Atuchin V., Minina V., Ponasenko A. *Int J Mol Sci*, 2022, vol. 23(15), p. 8233. <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>
56. The posterity of Zebrafish in paradigm of in vivo molecular toxicological profiling / Verma S.K., Nandi A., Sinha A., Patel P., Mohanty S., Jha E., Jena S., Kumari P., Ghosh A., Jerman I., Chouhan R.S., Dutt A., Samal S.K., Mishra Yo.K., Varma R.S., Panda P.K., Kaushik N.K., Singh D., Suar M. *Biomed Pharmacother*, 2024, vol. 171, p. 116160. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.116160>
57. Therapeutic Efficacy of Polyphenol-Rich Fraction of *Boesenbergia rotunda* in Diabetic Rats: A Focus on Hypoglycemic, Antihyperlipidemic, Carbohydrate Metabolism, Antioxidant, Anti-Inflammatory and Pancreato-Protective Activi-

- ties / Wang T., Liu C., Shu S., Zhang Q., Olatunji O.J. *Front. Biosci. (Landmark Ed)*, 2022, vol. 27(7), p. 206. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2707206>
58. Vanhooren V., Libert C. The mouse as a model organism in aging research: Usefulness, pitfalls and possibilities. *Ageing Res Rev*, 2013, vol. 12(1), pp. 8–21. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.03.010>
59. Washington D.C. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals: Eighth Edition. *The National Academies Press*, 2011, 246 p.
60. Yehia R.S., Altwaim S.A. An Insight into In Vitro Antioxidant, Antimicrobial, Cytotoxic, and Apoptosis Induction Potential of Mangiferin, a Bioactive Compound Derived from *Mangifera indica*. *Plants*, 2023, vol. 12, p. 1539. <https://doi.org/10.3390/plants12071539>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фролова Анна Сергеевна, младший научный сотрудник Лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков
Кемеровский государственный университет
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
frolova.anna.s@mail.ru

Милентьева Ирина Сергеевна, доктор технических наук, заведующий Лабораторией биотестирования природных нутрицевтиков
Кемеровский государственный университет
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
irazumnikova@mail.ru

Федорова Анастасия Михайловна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Лаборатории биотестирования природных нутрицевтиков
Кемеровский государственный университет
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
anastasija.fedorova-af2014@ya.ru

Асякина Людмила Константиновна, доктор технических наук, заведующий
Лабораторией фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем
Кемеровский государственный университет
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
alk_kem@mail.ru

Просеков Александр Юрьевич, доктор технических наук, доктор биологических наук, ректор, член-корреспондент РАН
Кемеровский государственный университет
ул. Красная, 6, г. Кемерово, 650000, Российская Федерация
rector@kemsu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna S. Frolova, Junior Researcher Biotesting Laboratories for Natural Nutraceuticals
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
frolova.anna.s@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3988-8521>
Researcher ID: AAC-1431-2022
Scopus Author ID: 58223394300

Irina S. Milentyeva, Doctor of Technical Sciences, Head of Biotesting Laboratories for Natural Nutraceuticals
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
irazumnikova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>
ResearcherID: L-2204-2016
Scopus AuthorID: 57041280000

Anastasia M. Fedorova, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher Biotesting Laboratories for Natural Nutraceuticals
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
anastasija.fedorova-af2014@ya.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>
Scopus AuthorID: 57223984790

Lyudmila K. Asyakina, Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory
Phytoremediation of Technogenically Disturbed Ecosystems
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
alk_kem@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4988-8197>
ResearcherID: B-8192-2018
Scopus AuthorID: 57041180800

Aleksandr Yu. Prosekov, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Biological
Sciences, Rector, Corresponding Member of the Russian Academy of
Sciences
Kemerovo State University
6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russian Federation
rector@kemsu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>
ResearcherID: C-7606-2014
Scopus AuthorID: 57194498125

Поступила 25.03.2024
После рецензирования 10.04.2024
Принята 09.05.2024

Received 25.03.2024
Revised 10.04.2024
Accepted 09.05.2024

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-853

УДК 616.13-004.6-02-092(045)



Научная статья

**АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
БРАХИОЦЕФАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ У ЛИЦ РАЗНЫХ
ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП ПО ДАННЫМ СОНОГРАФИИ***А.П. Борейко, Т.Д. Кулакова, С.Ф. Лукина*

Обоснование. Одной из частых причин смерти является инсульт на фоне атеросклероза экстракраниальных отделов сонных артерий. Выявление атеросклероза на ранней стадии способствует своевременной профилактике и снижению риска развития острого кардиоваскулярного события в будущем.

Цель. Оценить клиническое значение ультразвукового исследования в диагностике атеросклеротических изменений брахиоцефальных артерий у лиц разных возрастных групп.

Материалы и методы. Проведено ультразвуковое исследование брахиоцефальных артерий у 155 человек в возрасте от 45 до 89 лет, которые были рандомизированы на 3 группы по возрасту. В группу среднего возраста вошли 56 человек; в группу пожилого возраста – 54; в группу старческого возраста – 45. Обработка результатов исследования проводилась в программах Statistica 10 (StatSoft, USA).

Результаты. По данным сонографии атеросклеротические бляшки выявлены в 62,5% в среднем, 83,3% в пожилом и 88,9% старческом возрасте. Гетерогенные гипохогенные и кальцинированные бляшки встречаются только у лиц старше 60 лет. В области бифуркации общей сонной артерии во всех группах наблюдался умеренный стеноз. В проксимальном отделе внутренней сонной артерии наблюдается выраженный стеноз и критический стеноз сосудов в старческом возрасте. Показатель максимальной систолической скорости у лиц, имеющих атеросклероз, снижается с возрастом. С увеличением возраста повышается уровень сосудистого сопротивления.

Заключение. Учитывая значительные изменения показателей атеросклеротических проявлений уже в среднем возрасте, для снижения роста смертности населения от сердечнососудистых заболеваний система здравоохранения должна ввести ранний ультразвуковой скрининг брахиоцефальных артерий для пациентов с 18 лет.

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания; атеросклероз; атеросклеротическая бляшка; брахиоцефальные артерии

Для цитирования. Борейко А.П., Кулакова Т.Д., Лукина С.Ф. Атеросклеротические изменения брахиоцефальных артерий у лиц разных возрастных групп по данным сонографии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 92-113. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-853

Original article

ATHEROSCLEROTIC CHANGES OF BRACHIOCEPHALIC ARTERIES IN DIFFERENT AGE GROUPS ACCORDING TO SONOGRAPHY

A.P. Boreyko, T.D. Kulakova, S.F. Lukina

Background. One of the most frequent causes of death is considered to be stroke on the back of atherosclerosis of the extracranial carotid arteries. Detection of atherosclerosis at an early stage facilitates timely prevention and reduces the risk of developing of an acute cardiovascular event in the future.

Purpose. To evaluate the clinical significance of ultrasound in the diagnosis of atherosclerotic changes in the brachiocephalic arteries in people of different age groups.

Materials and methods. Echography of brachiocephalic arteries was performed among 155 people aged 45 to 89 years, who were randomized into 3 age groups. The middle-aged group included 56 people; the elderly group – 54 people; the senile group - 45 people. The processing of the results of the study was carried out in the programs Statistica 10 (StatSoft, USA).

Results. According to the data of sonography, atherosclerotic plaques were detected in 62.5% of the middle-aged group, 83.3% of the elderly group and 88.9% of senile age. Heterogeneous hypoechoic and calcified plaques are found only among people who are over 60 years old. Moderate stenosis was observed at the bifurcation of the common carotid artery in all age groups. Pronounced stenosis and critical vascular stenosis in the proximal part of the internal carotid

artery are observed in senile age. The index of the maximum systolic velocity among people with atherosclerosis decreases with age. With increasing age, the level of vascular resistance increases.

Conclusion. Considering significant changes in the indicators of atherosclerotic manifestations already in middle age, in order to reduce the increase in population mortality from cardiovascular diseases, the healthcare system should introduce early ultrasound screening of brachiocephalic arteries for patients from 18 years of age.

Keywords: cardiovascular diseases; atherosclerosis; atherosclerotic plaque; brachiocephalic arteries

For citation. Boreyko A.P., Kulakova T.D., Lukina S.F. Atherosclerotic Changes of Brachiocephalic Arteries in Different Age Groups According to Sonography. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 92-113. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-853

Введение

По данным ВОЗ, в современном обществе заболеваемость населения сердечно-сосудистыми заболеваниями занимает одно из первых мест среди значительных проблем не только в мире, но и в России [3, 20]. Несмотря на то, что с каждым годом в нашей стране прослеживается тенденция снижения смертности от сердечно-сосудистых осложнений, данная причина смерти населения остается на первом месте среди других причин [3]. Для предотвращения прироста заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями разрабатываются меры профилактики и диагностики населения, в которые входят различные методы исследования, в том числе ультразвуковое сканирование [4, 7].

В качестве контроля здоровья населения в России проходят ежегодные профилактические осмотры и диспансеризации. Исходя из того, что популяция нашей страны предрасположена к очень высокому сердечно-сосудистому риску, целесообразно проводить такой скрининг уже у молодого населения, достигшего 18 лет. Именно в Российской Федерации данные расходы на профилактические мероприятия являются экономически обоснованными, так как это поможет снизить встречаемость сердечно-сосудистых осложнений у населения. Непосредственно определение сердечно-сосудистого риска необходимо проводить, опираясь на данную периодичность: у лиц от 18 до 39 лет – один раз в 3-5 лет, у лиц от 40 и старше – один раз в год. Таким образом, созданные государственные проекты по выявлению факторов риска у практически здоровых лиц старше

40 лет продемонстрировали эффективность относительно их дальнейшего контроля [2, 9].

В практике врача для обнаружения пациентов с высоким сердечно-сосудистым риском используются шкалы, созданные посредством проведения крупномасштабных исследований на базе медицинских учреждений, а также охватывающие традиционные факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний. В России на данный момент основной шкалой определения сердечно-сосудистого риска является шкала SCORE (Systematic Coronary Risk Evaluation) [4, 7]. В связи с тем, что SCORE рассчитана на людей с высоким сердечно-сосудистым риском, то категории людей с низким и умеренным сердечно-сосудистыми рисками остаются не полностью обследованными. Так многие исследования подтверждают, что до 70% случаев сердечно-сосудистых заболеваний развиваются у пациентов, имеющих низкий сердечно-сосудистый риск, тем самым данная шкала стратификации не дает полную оценку состояния здоровья человека [7].

Изменение стандартных шкал расчета сердечно-сосудистого риска путем введения в них дополнительных факторов риска не дали значимых успехов в повышении точности прогнозирования [4]. Ультразвуковая визуализация субклинического атеросклероза является перспективной альтернативной методикой, позволяющей оценить суммарный итог воздействия всего разнообразия неблагоприятных факторов в течение жизни пациента в отличие от стандартной шкалы сердечно-сосудистого риска, которая дает оценку на базе ограниченного списка факторов, имеющих в момент обследования [4, 6].

Возможность диагностики атеросклеротического поражения церебральных артерий как одной из основных причин развития нарушения мозгового кровообращения впервые возникла после внедрения в клиническую практику методов ультразвуковой доплерографии и церебральной ангиографии. Ультразвуковая диагностика сосудов является быстрым, простым и чувствительным методом диагностики в данной области [10, 14].

Включение визуализирующих технологий в перечень обязательных исследований для уточнения сердечно-сосудистого риска населения может обеспечить более достоверные данные о состоянии сосудов, тем самым правильно стратифицировать сердечно-сосудистый риск пациента. Так в случае, когда по шкале SCORE у пациента определяли низкий сердечно-сосудистый риск, то, на основании ультразвукового исследования брахиоцефальных артерий, переводили пациента в категорию высокого сердечно-сосудистого риска, так как в сосудах были обнаружены атеросклеротические бляшки [13, 15].

Преимущество дуплексного исследования брахиоцефальных артерий состоит в том, что это дополнительная оценка состояния сердечно-сосудистой системы, а иногда и единственная в случаях, когда кардиоваскулярный риск является низким и атеросклероз течет асимптоматично. Также данный метод является неотъемлемой частью диагностики васкулярных заболеваний головного мозга, так как до 60% ишемических инсультов обусловлены окклюзионно-стенотическим поражением сонных артерий [8, 13, 18].

Использование визуализирующих технологий в целях стратификации сердечно-сосудистого риска и интерпретации уже имеющихся поражений сосудистой системы является основополагающей в развитии профилактической программы для населения [4, 9, 15]. Данные, полученные в процессе ультразвукового сканирования каротидных артерий, имеют значение для организации гериатрической помощи в практическом здравоохранении, так как атеросклеротические изменения сосудов являются одной из причин, приводящих к необратимым последствиям в организме человека, и могут являться причиной возникновения острых кардиоваскулярных событий.

Цель исследования

Оценить клиническое значение ультразвукового исследования в диагностике атеросклеротических изменений брахиоцефальных артерий у лиц разных возрастных групп.

Материалы и методы исследования

Обследовано 155 человек в возрасте от 45 до 89 лет, которые были рандомизированы на 3 группы. Критерием для деления на группы была возрастная периодизация, предложенная Всемирной организацией здравоохранения от 1963 года. В группу среднего возраста вошли 20 мужчин (35,7%) и 36 женщин (64,3%); в группу пожилого возраста – 26 мужчин (48,1%) и 28 женщин (51,9%); в группу старческого возраста – 10 мужчин (22,2%) и 35 женщин (77,8%). Общее число женщин составило 99 человек (63,9%), а мужчин – 56 человек (36,1%). Критерием исключения являлось тяжелое состояние пациента на момент исследования (в том числе аритмия). Обследование проводилось с соблюдением норм и правил биомедицинской этики, утвержденных Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2013). На проведение исследования получено разрешение этической комиссии Института физиологии природных адаптаций ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 9 от 31 марта 2022 г).

Оценка состояния экстракраниального отдела брахиоцефальных артерий проводилась методом сонографии. Исследование проводилось при помощи диагностической ультразвуковой системы ACUSON S2000 компании Siemens (США) с использованием линейного и конвексного матричных датчиков с частотой 5-17 МГц и 2-5 МГц соответственно. Применяли двумерный, импульсно-волновой режимы и цветное доплеровское картирование.

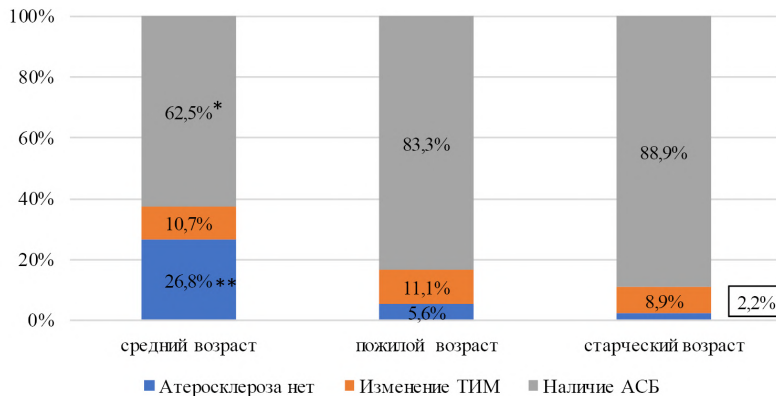
Результаты исследования обработаны с использованием пакета прикладных программ Statistica 10 (StatSoft, USA). Для проверки на нормальность распределения выборки использовали критерий Пирсона и критерий Колмогорова-Смирнова. Полученные выборки не подчинялись закону нормального распределения. Так как в исследовании сравнивались три выборки, для анализа использовался непараметрический критерий Краскала-Уоллиса. При выявлении наличия или отсутствия половых различий внутри выборки применяли непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Описание выборки представлено в виде медиан (Me) и 25- и 75-перцентелей Me (25p-75p). Также в качестве разведочного анализа использовали анализ частот данных с последующим сравнением признаков путем сравнения двух пропорций. Статистически надежными считались различия при $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты исследования показали, что атеросклеротические бляшки в брахиоцефальных артериях встречаются статистически чаще у группы лиц пожилого и старческого возраста в сравнении с людьми среднего возраста ($p < 0,05$) (рисунок 1).

Частота увеличения толщины комплекса интима-медиа без формирования атеросклеротических бляшек во всех исследуемых группах не имеет статистически значимых различий ($p > 0,05$). На сегодняшний день на основе Европейских рекомендаций по профилактике сердечно-сосудистых заболеваний в клинической практике 2016 г. измерение толщины комплекса интимы-медиа общей сонной артерии не является целесообразным в целях рестратификации кардиоваскулярного риска, так как нет точной методики определения данного параметра, а также он имеет малую значимость в прогнозировании сердечно-сосудистого риска [2]. Исследование Национального института здравоохранения США показало, что одновременный учет толщины комплекса интима-медиа и атеросклеротической бляшки дает более достоверную оценку для последующего прогнозиро-

вания кардиоваскулярного риска в отличие от тех моментов, когда данные параметры оценивали отдельно друг от друга. Таким образом, полный отказ от измерения толщины комплекса интима-медиа не является оправданным [5, 15, 16].



ТИМ – толщина интима-медиа; АСБ – атеросклеротическая бляшка

Рис. 1. Состояние артериальной стенки брахиоцефальных артерий у разных возрастных групп

Примечание: * – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,05$; ** – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,01$

Здоровая, неизменная сосудистая стенка брахиоцефальных артерий визуализировалась у 26,8% лиц среднего, 5,6% – пожилого и 2,2% – старческого возраста, что указывает на то, что есть возрастной порог, когда практически у каждого исследуемого старше 60 лет были обнаружены атеросклеротические изменения в брахиоцефальных артериях ($p < 0,01$). Это связано с тем, что нагрузка на организм со стороны факторов, влияющих на структурно-функциональные особенности стенки артерии, очень велика в данном возрасте. С увеличением календарного возраста человека возрастает вероятность обнаружения атеросклеротических изменений в сосудах, что говорит о росте восприимчивости стенки артерий к атерогенным изменениям.

Известно, что мужской пол считается одним из отягощающих факторов развития атеросклероза [1, 5, 19]. Наши данные не показали значимых отличий в данных у мужчин и женщин ($p > 0,08$). Однако наблюдается тенденция, так у мужчин частота выявления атеросклеротических изме-

нений выше, чем у женщин, причем данный факт прослеживается во всех возрастных группах. Также с увеличением возраста растет частота обнаружения атеросклеротических бляшек (рисунок 2).

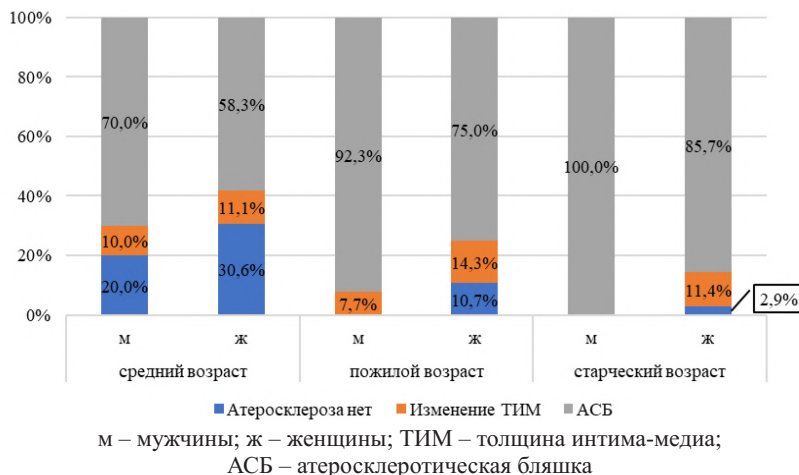


Рис. 2. Состояние артериальной стенки брахиоцефальных артерий у разных возрастных групп и пола

Одной из причин раннего развития атеросклероза у мужчин может быть отсутствие протективного влияния эстрогенов, а также снижения уровня тестостерона, оказывающих антиатеросклеротическое воздействие на организм. Женский организм вырабатывает эстрогены до момента наступления менопаузы (до 45-50 лет), после которой происходит снижение гормона, что приводит к резкому повышению риска образования атеросклеротических изменений в артериях, и приблизительно к 65-70 годам разница в частоте встречаемости атеросклероза среди двух полов практически сглаживается [21].

Локализация атеросклеротических бляшек стандартна во всех возрастных группах, в основном, они располагались в области бифуркации общей сонной артерии и в устье внутренней сонной артерии, так как эти зоны повышенной турбулентности кровотока за счет низкого напряжения сдвига стенки и разделения потока. В области средней трети общей сонной артерии атеросклеротические бляшки визуализировались значительно реже.

В рамках исследования была подсчитана частота одновременного поражения атеросклеротическими бляшками нескольких зон сосудистого бас-

сейна у каждого обследуемого (рисунок 3). Таких зон поражения было шесть, по три зоны с каждой стороны, выделяли среднюю треть и бифуркацию общей сонной артерии, проксимальный отдел внутренней сонной артерии.

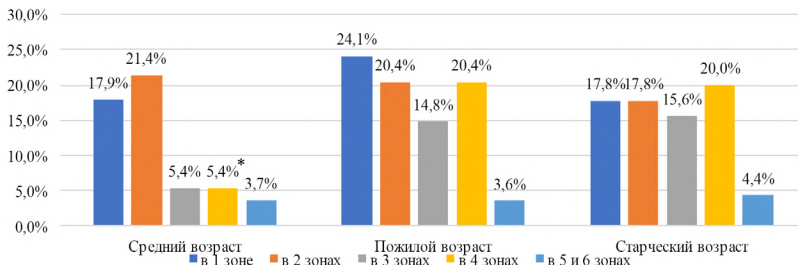


Рис. 3. Одновременная локализация атеросклеротических бляшек в брахиоцефальных артериях

Примечание: * – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,05$

В средней возрастной группе основная локализация атеросклеротических бляшек была в одной или двух зонах каротидного бассейна одновременно (17,9 и 21,4% соответственно). У лиц пожилого и старческого возрастов в равной степени визуализировались сочетание повреждений артерий бляшками от одной до четырех зон. У лиц средней возрастной группы поражение атеросклеротическими бляшками четырех зон одновременно статистически значимо ниже, чем у других возрастных групп ($p < 0,05$). В каждой возрастной группе были выявлены атеросклеротические бляшки сразу в пяти и шести зонах. Повышенное образование атеросклеротических бляшек у лиц старше 60 лет связано со стойким снижением продукции биодоступного оксида азота, что дает толчок для развития эндотелиальной дисфункции, воспаления внутри стенки артерии, образования атероматозных изменений.

Определение степени стеноза является важным показателем при определении гемодинамических изменений вследствие появления атеросклеротических поражений стенки артерий. В данной оценке стеноза использовался метод измерения ECST (соотношение диаметра сосуда в месте локализации атеросклеротической бляшки к диаметру свободного просвета этого сосуда в этой же зоне). Наши данные показали, что в области бифуркации общей сонной артерии отмечается статистически значимое увеличение стенозирования сосудов с возрастом ($p < 0,05$). В области

правой общей сонной артерии у лиц среднего возраста умеренный стеноз встречается в 20,4%, пожилого – 36,9%, старческого – 42,0%. В области левой общей сонной артерии у лиц среднего возраста умеренный стеноз встречается в 26,8%, пожилого – 35,2%, старческого – 40,0%. Данный тип сужения свободного просвета артерии не является гемодинамически значимым, но требует контроля и медикаментозной корректировки. Кроме того, в области левой сонной артерии выявлены случаи выраженного стеноза в 1,8 % в среднем возрасте, 3,7 в пожилом возрасте и в 8,9% в старческом возрасте. Таких пациентов необходимо направлять на консультацию в хирургическое отделение для принятия решения по удалению атеросклеротической бляшки.

В проксимальном отделе внутренней сонной артерии у лиц старшей возрастной группы (пожилого и старческого возрастов) наблюдается редкие случаи критического стенозирования сосуда (рисунок 4). Это говорит о важности проведения хирургического вмешательства в целях устранения препятствия на пути току крови, а также предотвращения развития возможного острого кардиоваскулярного события (инсульта).

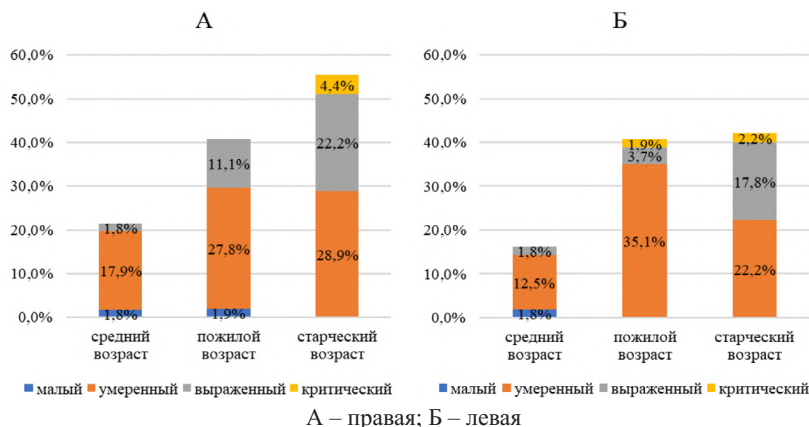


Рис. 4. Степень выраженности стеноза проксимального отдела внутренних сонных артерий

Примечание: ** – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,01$

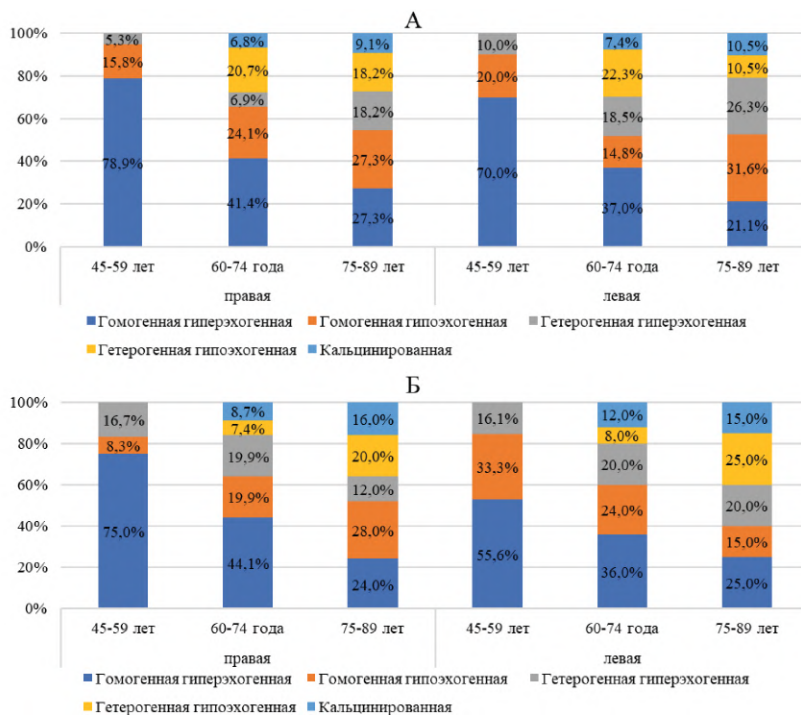
Частота поражения проксимального отдела внутренней сонной артерии атеросклерозом у лиц 45-59 лет статистически значимо меньше, чем у лиц старше 60 лет ($p < 0,01$). Частота развития выраженного стеноза в правой

внутренней сонной артерии увеличивается с ростом календарного возраста пациента ($p < 0,05$). Критический стеноз правой внутренней сонной артерии (стеноз 70-99%) визуализировали только у пациентов старческого возраста (4,4%). Встречаемость атеросклеротических бляшек в левой внутренней артерии у пожилого и старческого возрастов примерно одинакова, но по степени стенозирования этой артерии данные отличаются: у пожилых лиц умеренный стеноз составляет 35,1% случаев, выраженный – 3,7%, у лиц старческого возраста 22,2% и 17,8% соответственно. Это может говорить о том, что атеросклеротический процесс в старческом возрасте прогрессирует, происходит хронизация процесса, которая отягощает жизнь пациенту за счет меньшего поступления крови, а с ней и питательных веществ к головному мозгу из-за гемодинамически значимого препятствия в просвете сосуда. Стоит отметить, что у лиц 45-59 лет поражение атеросклеротическими бляшками проксимальной части внутренней сонной артерии происходит реже, чем области бифуркации общей сонной артерии ($p < 0,05$), у лиц старше 60 лет обе зоны поражены атеросклеротическими бляшками в равной степени.

Структура бляшки определяет течение атеросклеротического процесса. В нашем исследовании были выделены пять видов атеросклеротических бляшек, отличных по структуре и экзогенности: гомогенная гиперэкзогенная, гомогенная гипозэкзогенная, гетерогенная гиперэкзогенная, гетерогенная гипозэкзогенная, кальцинированная. У лиц 45-59 лет в зоне бифуркации общей сонной артерии преобладают гомогенные гиперэкзогенные бляшки, которые являются стабильными, имеют ровный контур и четко выраженную покрышку. Также наблюдается снижение частоты встречаемости данной бляшки с увеличением возраста ($p < 0,05$) как в зоне бифуркации общей сонной артерии, так и в проксимальной области внутренней сонной артерии (рисунки 5).

Бляшки, имеющие гомогенную гипозэкзогенную и гетерогенную гиперэкзогенную структуры, не поддаются какой-либо закономерности, их частота встречаемости разная среди групп, можно считать, что эти виды бляшек имеют похожую структуру, только отличаются наличием вкраплениями солей кальция в гетерогенной гиперэкзогенной бляшке [11]. Гетерогенные гипозэкзогенные и кальцинированные бляшки встречаются только у лиц старше 60 лет. Первые имеют неравномерный контур с местами разрыва фиброзной оболочки, а также признаками изъязвления. Вторые же бляшки накапливают большое количество солей кальция, тем самым при исследовании создают акустическую тень, не давая оценить эхоструктуру бляш-

ки, такая бляшка является нестабильной, отрываясь или повреждаясь, ее эмболы, передвигаясь с током крови, могут создать непроходимость артерий головного мозга, тем самым вызвать инсульт [17]. Наличие таких бляшек говорит о хронизации процесса атеросклероза, об его тяжелом течении и о повышении риска развития острого кардиоваскулярного события в будущем.



А – в области бифуркации общей сонной артерии;

Б – в проксимальном отделе внутренней сонной артерии

Рис. 5. Разновидности атеросклеротических бляшек

Примечание: * – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,05$

Измерение диаметра позвоночной артерии применяется для анализа способности данной артерии обеспечивать должным объемом крови задние отделы мозга. При исследовании наблюдалась односторонняя асимметрия позвоночных артерий при малом диаметре, гипоплазии или

окклюзии одной из артерий, об этом свидетельствовало увеличение скорости кровотока в противоположной позвоночной артерии. Диаметр позвоночной артерии, соответствующий норме (3 мм и более), визуализировался справа в 76,8%, 74,1%, 71,1% случаев, слева в 82,1%, 80,0%, 80,0% случаев у лиц 45-59 лет, 60-74 лет, 75-89 лет соответственно ($p < 0,05$). Во всех возрастных группах окклюзия позвоночной артерии сопровождалась наличием участков атеросклероза в других областях брахиоцефальных артерий (в общей или внутренней сонных артериях), что объясняет причину непроходимости этой артерии. При обнаружении артерий малого диаметра или гипоплазии артерии свидетельствовало о врожденной аномалии развития сосудов, так как в данном случае не было обнаружено атерогенных поражений в брахиоцефальных артериях [12].

Таблица 1.

Максимальная систолическая скорость в брахиоцефальных артериях

Название артерии		Максимальная систолическая скорость кровотока, см/с			Достигнутый уровень значимости, p
		Средний возраст Me (Q1;Q3)	Пожилой возраст Me (Q1;Q3)	Старческий возраст Me (Q1;Q3)	
Общая сонная артерия	правая	75 (69;83)	70 (60;80)	66 (56;78)	<0,001***
	левая	77 (69;87)	72 (60;85)	65 (55;70)	<0,001***
Внутренняя сонная артерия	правая	82 (71;90)	80 (70;90)	71 (61;80)	0,004**
	левая	83 (71;92)	75 (67;83)	73 (64;82)	0,009**
Позвоночная артерия	правая	44 (33;52)	43 (38;51)	42 (35;50)	0,598
	левая	46 (40;52)	44 (38;52)	42 (35;50)	0,656

Примечание: ** – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,01$; *** – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,001$

Измерение скоростных характеристик, а также уровня сопротивления сосудистой стенки входит в стандартное исследование брахиоцефальных артерий. На основе этих данных делается заключение о гемодинамике сосудистого русла. В ходе исследования были измерены максимальные систолические скорости в средних третях общей сонной артерии и внутренней сонной артерии, а также в просветах позвоночных артерий (таблица 1). Максимальная систолическая скорость в общей и внутренней сонных артериях статистически значимо изменялись ($p < 0,001$ и $p < 0,01$ соответственно): снижение максимальной систолической скорости происходило с увеличением календарного возраста пациента (средний показа-

тель изменялся в общей сонной артерии – от 77 до 65 см/с, во внутренней сонной артерии – от 83 до 71 см/с). При измерении данного показателя в просветах позвоночных артерий среди всех возрастных групп не обнаружено статистически значимых отличий, в данной локализации средний показатель максимальной систолической скорости находился в пределах 42-46 см/с.

Индекс Пурсело (индекс сосудистого сопротивления) измерялся в тех же зонах, что и максимальная систолическая скорость, и во всех случаях имеет статистически значимое отличие, так с увеличением возраста обследуемого возрастало значение индекса резистентности ($p < 0,001$). Показатель в области средней трети общей сонной артерии изменялся относительно возраста в пределах 0,76-0,83, в средней трети внутренней сонной артерии – 0,60-0,70, в позвоночной артерии – 0,66-0,73.

Таблица 2.

Индекс резистентности в брахиоцефальных артериях

Название артерии		Индекс резистентности			Достигнутый уровень значимости, p
		Средний возраст Me (Q1;Q3)	Пожилой возраст Me (Q1;Q3)	Старческий возраст Me (Q1;Q3)	
Общая сонная артерия	правая	0,76 (0,73;0,79)	0,80 (0,74;0,83)	0,82 (0,80;0,85)	<0,001***
	левая	0,76 (0,73;0,80)	0,80 (0,76;0,84)	0,83 (0,80;0,86)	<0,001***
Внутренняя сонная артерия	правая	0,60 (0,56;0,63)	0,63 (0,60;0,67)	0,70 (0,66;0,72)	<0,001***
	левая	0,60 (0,56;0,63)	0,62 (0,58;0,67)	0,70 (0,67;0,72)	<0,001***
Позвоночная артерия	правая	0,67 (0,65;0,70)	0,70 (0,66;0,74)	0,73 (0,69;0,77)	<0,001***
	левая	0,66 (0,63;0,68)	0,69 (0,65;0,72)	0,73 (0,68;0,78)	<0,001***

Примечание: *** – уровень значимости различий показателя по отношению к другим возрастным группам $p < 0,001$

Изменение максимальной систолической скорости и индекса Пурсело напрямую зависят от состояния сосудистой стенки. Старение стенки сосуда, влияние факторов, повреждающих стенки артерий, сопровождается утолщением стенки, повышением ее жесткости, снижением ее эластичности, развитием пристеночное сопротивление нормальному току крови.

Наличие атеросклеротических бляшек вызывает турбулентные потоки, замедляющие кровоток в центре сосуда. Соответственно, чем больше структурных изменений в стенках артерий, тем большее сопротивление они оказывают кровотоку, поэтому снижаются скоростные показатели и повышается индекс резистентности.

Заключение

Система современного здравоохранения развивается в сфере профилактики, одно из направлений которой работает над снижением заболеваемости сердечно-сосудистыми заболеваниями и предотвращением смертности от них. При помощи визуализирующих технологий данный процесс приведет к диагностированию ранних патологий сердечно-сосудистой системы, которые при помощи традиционных методов (анализ крови, оценка факторов риска) могут быть не выявлены.

Дуплексное сканирование артерий каротидного бассейна оказывает значимое диагностическое влияние на дальнейшее ведение пациента с патологией сосудистой стенки. Также данные сонографии и доплерографии являются одними из основополагающих в работе сосудистого хирурга, так как по ним уже принимается решение об оперативном вмешательстве в случаях выраженного стенооокклюзирующего поражения сосудов.

С процессом старения происходит развитие и хронизация атеросклеротического процесса. В возрасте 45-59 лет атеросклеротические бляшки, в основном, локализуются в одной или двух областях каротидного бассейна одновременно, когда после 60 лет количество этих областей одновременного поражения артерий увеличивается. При поражении области бифуркации общей сонной артерии и проксимального отдела внутренней сонной артерии атеросклерозом прослеживается тенденция к развитию более отягощающего стеноза, с выраженным течением данного процесса во внутренней сонной артерии. Атеросклеротическая бляшка с течением возраста проходит этапы изменения ее структуры, превращаясь из фиброзной бляшки в кальцинированную или бляшку с признаками ее изъязвления. Встречаемые окклюзии позвоночных артерий во всех возрастных группах связаны с протеканием атеросклеротического процесса в других сосудах брахиоцефальных артерий. С увеличением календарного возраста происходит снижение максимальной систолической скорости кровотока в общей и внутренней сонных артериях, а также увеличение в них индекса резистентности. В позвоночных артериях наблюдается только повышение индекса резистентности с процессом старения организма.

Для снижения роста смертности населения от инсультов и других заболеваний, причиной которых являются атеросклеротические изменения сосудистой стенки, система здравоохранения должна ввести профилактические меры, в основе которых лежит ранний ультразвуковой скрининг брахиоцефальных артерий для пациентов с 18 лет.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). На проведение исследования получено разрешение этической комиссии Института физиологии природных адаптаций ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 9 от 31 марта 2022 г).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Бовтюшко П.В., Гришаев С.Л., Филиппов А.Е. Атеросклеротическая бляшка в регионарных сосудистых бассейнах общей сонной и бедренной артерий как маркёр субклинического атеросклероза // Фундаментальные исследования. 2012. Т. 8, № 2. С. 285-288.
2. Бойцов С.А., Погосова Н.В., Аншелес А.А. Кардиоваскулярная профилактика 2022. Российские национальные рекомендации // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2022. Т. 23, № 6. С. 7-364.
3. Глушенко В.А., Иркиенко Е.К. Сердечно-сосудистая заболеваемость – одна из важнейших проблем здравоохранения // Медицина и организация здравоохранения. 2019. Т. 4., № 1. С. 56-63.
4. Головина А.Е., Катамадзе Н.О., Бондарева Е.Б. и др. Роль ультразвуковой визуализации субклинического атеросклероза сонных артерий в прогнозировании сердечно-сосудистого риска в рамках первичной кардиоваскулярной профилактики // Атеросклероз и дислипидемии. 2017. № 1. С. 5-14.
5. Ершова А.И., Балахонова Т.В., Мешков А.Н. и др. Распространенность атеросклероза сонных и бедренных артерий среди населения Ивановской

- области: исследование АТЕРОГЕН-Иваново // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2021. Т. 20., № 5. С. 262-270.
6. Ершова А.И., Бойцов С.А., Драпкина О.М. и др. Ультразвуковые маркеры доклинического атеросклероза сонных и бедренных артерий в оценке сердечно-сосудистого риска // Российский кардиологический журнал. 2018. Т. 23, № 8. С. 92-98.
 7. Кухарчук В.В., Ежов М.В., Сергиенко И.В. и др. Клинические рекомендации Евразийской ассоциации кардиологов (ЕАК)/ Национального общества по изучению атеросклероза (НОА) по диагностике и коррекции нарушений липидного обмена с целью профилактики и лечения атеросклероза (2020) // Евразийский кардиологический журнал. 2020. № 2. С. 6-29.
 8. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Организация и обеспечение ультразвуковых исследований в системе оказания медицинской помощи пациентам с инсультом в Российской Федерации // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2015. № 4. С. 46-56.
 9. Сороковикова Т.В., Морозов А.М., Жуков С.В. и др. Роль неинвазивных методов исследования в современной клинической практике // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 2. С. 137-143.
 10. Стражеско И.Д., Ткачева О.Н., Акашева Д.У. Взаимосвязь между различными структурно-функциональными характеристиками состояния артериальной стенки и традиционными факторами кардиоваскулярного риска у здоровых людей разного возраста // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2016. Т. 12., № 3. С.118-128.
 11. Baradaran H., Gupta A. Extracranial Vascular Disease: Carotid Stenosis and Plaque Imaging // Neuroimaging Clinics of North America, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.02.002>
 12. Compagne K.CJ., van Es A.CGM, Berkhemer O.A et al. Prevalence of Carotid Web in Patients with Acute Intracranial Stroke Due to Intracranial Large Vessel Occlusion // Radiology, 2018, vol. 286, no. 3, pp. 1000-1007. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017170094>
 13. Giannoukas A.D., Chabok M., Spanos K., Nikolaides A. Screening for Asymptomatic Carotid Plaques with Ultrasound // European Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 309-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.04.013>
 14. Madycki G., Gabriel M., Hawro P., Pawlaczyk K., Kuczmik W., Urbanek T. Duplex Doppler ultrasound examination of carotid and vertebral arteries: guidelines of the Polish Society for Vascular Surgery // Kardiologia Polska, 2014, vol. 72, no. 3, pp. 288-309. <https://doi.org/10.5603/KP.2014.0059>

15. Nezu T., Hosomi N. Usefulness of Carotid Ultrasonography for Risk Stratification of Cerebral and Cardiovascular Disease // *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 2020, vol. 27, no. 10, pp. 1023-1035. <https://doi.org/10.5551/jat.RV17044>
16. Nezu T., Hosomi N., Aoki S., Matsumoto M. Carotid Intima-Media Thickness for Atherosclerosis // *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 2016, vol. 23, no. 1, pp. 18-31. <https://doi.org/10.5551/jat.31989>
17. Spence JD., Eliasziw M., DiCicco M., Hackam D.G., Galil R., Lohmann T. Carotid plaque area: a tool for targeting and evaluating vascular preventive therapy // *Stroke*, 2022, vol. 33, no. 12, pp. 2916-2922. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000042207.16156.b9>
18. Tang Y., Wang M., Wu T. et al. The role of carotid stenosis ultrasound scale in the prediction of ischemic stroke // *Neurological Sciences*, 2020, vol. 41, no. 5, pp. 1193-1199. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-04204-8>
19. Tesaro M., Mauriello A., Rovella V., Annicchiarico-Petruzzelli M., Cardillo C., Melino G., Daniele ND. Arterial ageing: from endothelial dysfunction to vascular calcification // *Journal of Internal Medicine*, 2017, vol. 281, no. 5, pp. 471-482. <https://doi.org/10.1111/joim.12605>
20. Tsao C.W., Aday A.W., Almarazooq Z.I. et. al. Heart Disease and Stroke Statistics-2023 Update: A Report From the American Heart Association // *Circulation*, 2023, vol. 147, no. 8, pp. 93-221. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001123>
21. van Dam-Nolen DHK., van Egmond N.C.M., Koudstaal P.J., van der Lugt A., Bos D. Sex Differences in Carotid Atherosclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis // *European Stroke*, 2023, vol. 54, no. 2, pp. 315-326. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.122.041046>

References

1. Bovtyushko P.V., Grishaev S.L., Filippov A.E. Ateroskleroticheskaja bljashka v regionarnyh sosudistyh bassejnah obshhej sonnoj i bedrennoj arterij kak markjor subklinicheskogo ateroskleroza [Atherosclerotic plaque in the regional vascular areas of the common carotid and femoral arteries as a marker of subclinical atherosclerosis]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2012, vol. 8, no. 2, pp. 285-288.
2. Bojcov S.A., Pogossova N.V., Ansheles A.A. Kardiovaskuljarnaja profilaktika 2022. Rossijskie nacional'nye rekomendacii [Cardiovascular prevention 2022. Russian national recommendations]. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prevention], 2022, vol. 23, no. 6, pp. 7-364.

3. Glushhenko V.A., Irklienko E.K. Serdechno-sosudistaja zaboлеваemost' – odna iz vazhnejshih problem zdravoohraneniya [Cardiovascular morbidity is one of the most important healthcare problems]. *Medicina i organizacija zdravoohraneniya* [Medicine and healthcare organization], 2019, vol. 4, no. 1, pp. 56-63.
4. Golovina A.E., Katamadze N.O., Bondareva E.B. et al. Rol' ul'trazvukovoj vizualizacii subklinicheskogo ateroskleroza sonnyh arterij v prognozirovanii serdechno-sosudistogo riska v ramkah pervichnoj kardiovaskuljarnoj profilaktiki [The role of ultrasound imaging of subclinical atherosclerosis of the carotid arteries in predicting cardiovascular risk in the framework of primary cardiovascular prevention]. *Ateroskleroz i dislipidemii* [Atherosclerosis and dyslipidemia], 2017, no. 1, pp. 5-14.
5. Ershova A.I., Balahonova T.V., Meshkov A.N. et al. Rasprostranennost' ateroskleroza sonnyh i bedrennyh arterij sredi naselenija Ivanovskoj oblasti: issledovanie ATHEROGEN-Ivanovo [Prevalence of atherosclerosis of the carotid and femoral arteries among the population of the Ivanovo region: the ATHEROGEN-Ivanovo study]. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika* [Cardiovascular Therapy and Prevention], 2021, vol. 20, no. 5, pp. 262-270.
6. Ershova A.I., Boytsov S.A., Drapkina O.M. et al. Ul'trazvukovye markery doklinicheskogo ateroskleroza sonnyh i bedrennyh arterij v ocenke serdechno-sosudistogo riska [Ultrasound markers of preclinical atherosclerosis of the carotid and femoral arteries in assessing cardiovascular risk]. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal* [Russian Journal of Cardiology], 2018, vol. 23, no. 8, pp. 92-98.
7. Kukharchuk V.V., Ezhov M.V., Sergienko I.V. et al. Klinicheskie rekomendacii Evrazijskoj asociacii kardiologov (EAK)/ Nacional'nogo obshhestva po izucheniju ateroskleroza (NOA) po diagnostike i korrkcii narushenij lipidnogo obmena s cel'ju profilaktiki i lechenija ateroskleroza (2020) [Clinical recommendations of the Eurasian Association of Cardiologists (EAC) / National Society for the Study of Atherosclerosis (NOA) for the diagnosis and correction of lipid metabolism disorders for the prevention and treatment of atherosclerosis (2020)]. *Evrzijskij kardiologicheskij zhurnal* [Eurasian Journal of Cardiology], 2020, no. 2, pp. 6-29.
8. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. Organizacija i obespechenie ul'trazvukovyh issledovanij v sisteme okazaniya medicinskoj pomoshhi pacientam s insul'tom v Rossijskoj Federacii [Organization and provision of ultrasound examinations in the system of providing medical care to patients with stroke in the Russian Federation]. *Ul'trazvukovaja i funkcional'naja diagnostika* [Ultrasound and functional diagnostics], 2015, no. 4, pp. 46-56.

9. Sorokovikova T.V., Morozov A.M., Zhukov S.V. et al. Rol' neinvazivnyh metodov issledovaniya v sovremennoj klinicheskoy praktike [The role of non-invasive research methods in modern clinical practice]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2022, no. 2, pp. 137-143.
10. Strazhesko I.D., Tkacheva O.N., Akasheva D.U. Vzaimosvjaz' mezhdru razlichnymi strukturno-funkcional'nymi harakteristikami sostojanija arterial'noj stenki i tradicionnymi faktorami kardiovaskuljarnogo riska u zdorovyh ljudej raznogo vozrasta [The relationship between various structural and functional characteristics of the state of the arterial wall and traditional cardiovascular risk factors in healthy people of different ages]. *Racional'naja farmakoterapija v kardiologii* [Rational pharmacotherapy in cardiology], 2016, vol. 12, no. 3, pp.118-128.
11. Baradaran H., Gupta A. Extracranial Vascular Disease: Carotid Stenosis and Plaque Imaging. *Neuroimaging Clinics of North America*, 2021, vol. 31, no. 2, pp. 157-166. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2021.02.002>
12. Compagne K.CJ., van Es A.CGM, Berkhemer O.A et al. Prevalence of Carotid Web in Patients with Acute Intracranial Stroke Due to Intracranial Large Vessel Occlusion. *Radiology*, 2018, vol. 286, no. 3, pp. 1000-1007. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017170094>
13. Giannoukas A.D., Chabok M., Spanos K., Nikolaides A. Screening for Asymptomatic Carotid Plaques with Ultrasound. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 309-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.04.013>
14. Madycki G., Gabriel M., Hawro P., Pawlaczyk K., Kuczmik W., Urbanek T. Duplex Doppler ultrasound examination of carotid and vertebral arteries: guidelines of the Polish Society for Vascular Surgery. *Kardiologia Polska*, 2014, vol. 72, no. 3, pp. 288-309. <https://doi.org/10.5603/KP.2014.0059>
15. Nezu T., Hosomi N. Usefulness of Carotid Ultrasonography for Risk Stratification of Cerebral and Cardiovascular Disease. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 2020, vol. 27, no. 10, pp. 1023-1035. <https://doi.org/10.5551/jat.RV17044>
16. Nezu T., Hosomi N., Aoki S., Matsumoto M. Carotid Intima-Media Thickness for Atherosclerosis. *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 2016, vol. 23, no. 1, pp. 18-31. <https://doi.org/10.5551/jat.31989>
17. Spence JD., Eliasziw M., DiCicco M., Hackam D.G., Galil R., Lohmann T. Carotid plaque area: a tool for targeting and evaluating vascular preventive therapy. *Stroke*, 2022, vol. 33, no. 12, pp. 2916-2922. <https://doi.org/10.1161/01.str.0000042207.16156.b9>

18. Tang Y., Wang M., Wu T. et al. The role of carotid stenosis ultrasound scale in the prediction of ischemic stroke. *Neurological Sciences*, 2020, vol. 41, no. 5, pp. 1193-1199. <https://doi.org/10.1007/s10072-019-04204-8>
19. Tesaro M., Mauriello A., Rovella V., Annicchiarico-Petruzzelli M., Cardillo C., Melino G., Daniele ND. Arterial ageing: from endothelial dysfunction to vascular calcification. *Journal of Internal Medicine*, 2017, vol. 281, no. 5, pp. 471-482. <https://doi.org/10.1111/joim.12605>
20. Tsao C.W., Aday A.W., Almaraz Z.I. et. al. Heart Disease and Stroke Statistics-2023 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*, 2023, vol. 147, no. 8, pp. 93-221. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001123>
21. van Dam-Nolen DHK., van Egmond N.C.M., Koudstaal P.J., van der Lugt A., Bos D. Sex Differences in Carotid Atherosclerosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Stroke*, 2023, vol. 54, no. 2, pp. 315-326. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.122.04104>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Борейко Анна Павловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»
набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.repina@narfu.ru*

Кулакова Таисия Дмитриевна, врач-ординатор ультразвуковой диагностики

*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. В. А. Алмазова»
Минздрава России*

*ул. Аккуратова, 2, г. Санкт-Петербург, 197341, Российская Федерация
taisiya_nikitina_99@mail.ru*

Лукина Светлана Федоровна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова»
набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
s.lukina@narfu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna P. Boreyko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems
*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
17d, Northern Dvina embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
a.repina@narfu.ru
SPIN-code: 3601-2413
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1578-4333>
ResearcherID: JGE-0665-2023*

Taisiya D. Kulakova, Resident Physician of Ultrasound Diagnostics
*National Medical Research Center named after V.A. Almazova
2d, Akkuratova Str., St. Petersburg, 197341, Russian Federation
taisiya_nikitina_99@mail.ru
SPIN-code: 3182-6418
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8175-8069>*

Svetlana F. Lukina, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Human Biology and Biotechnical Systems
*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
17d, Northern Dvina embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
s.lukina@narfu.ru*

Поступила 01.11.2023

После рецензирования 25.11.2023

Принята 10.12.2023

Received 01.11.2023

Revised 25.11.2023

Accepted 10.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1151

УДК 6:616-001



Научная статья

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПРЕПАРАТОВ СТИМУЛЯЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЖНОГО ПОКРОВА ПРИ ТРАВМЕ

О.Б. Жданова, Е.Б. Дунаева, М.П. Разин, И.И. Окулова

Обоснование. Изучение реакции ткани (эпидермиса и дермы) на введение препаратов стимуляторов регенерации (ПСР) при травмах является актуальным как для разработки раневых покрытий, так и схем лечения травматического процесса. В настоящем исследовании особое внимание уделяется процессу стимуляции стволовых клеток в волосяном сосочке, играющим важную роль в восстановлении кожных структур и изучению морфологических изменений эпидермиса и дермы в динамике при травме.

Материалы и методы. Для проведения эксперимента были сформированы опытные группы: ожоговая модель без лечения; ожоговая модель с препаратом ПСР (пероральное введение и покрытие раны); опытная группа с нанесением линейной раны с лечением ПСР, опытная группа аналогичное воспроизведение раны без наложения шва с ПСР, контрольная группа аналогичное воспроизведение раны без лечения с наложением шва, контрольная группа - аналогичное воспроизведение раны без лечения и без наложения шва. Животных из эксперимента выводили методом ингаляции эфирных паров в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Были взяты фрагменты ткани из участка термической травмы и здоровой ткани для приготовления гистологических препаратов. Изготовление парафиновых гистологических срезов толщиной 5-7 мкм проводили по общепринятым стандартным методикам. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином. Фотографии сделаны с использованием системы Vision Bio (Epi 2014г.) и окрашены гематоксилин-эозином, которые исследовались под увеличением $\times 100$. Полученные данные обрабатывали с использованием пакетов программ MS Excel и Statgraphics общепринятыми методами вариационной статистики.

Результаты исследований. При воспроизведении термической травмы В контрольной группе на 14 сутки в пределах исследуемого материала в части полей зрения эпидермис отсутствует, слои замещены соединительно-тканными тяжами, визуализируется рубцовая ткань. Дерма умеренно отечная, с нейтрофильной и лимфоцитарной инфильтрация выражена слабо, в сосочковом и сетчатом слое представлена равномерно, встречаются единичные апоптотические тельца. Участков кровоизлияний не выявлено, но кровеносные сосуды расширены. В то время как в опытной группе имеются признаки восстановления микроциркуляции с большим количеством сосудов и более выраженным слоем эпидермиса. При исследовании рубцов после линейной раны обнаружено, что у животных не получавших терапию имеется тонкий рубец, а у животных, получавших ПСР последствия хирургического вмешательства не визуализируются.

Заключение. Изучена динамика раневого процесса на фоне применения опытного образца ПСР (мази, с содержанием регенерационного комплекса). При лечении ожоговых и линейных ран в эксперименте выявлена эффективность данного регенерационного комплекса в опытном образце в сравнении с контрольной группой у лабораторных животных. Установлено, что при лечении как ожоговых, так и линейных ран при помощи экспериментальной мази с ПСР, сокращается срок заживления ран за счет более активного формирования микроциркуляторного русла и раннего начала эпителизации.

Ключевые слова: кожа; травма; регенерация; термическая травма; ожог; линейная рана

Для цитирования. Жданова О.Б., Дунаева Е.Б., Разин М.П., Окулова И.И. К вопросу о влиянии препаратов стимуляции регенерации на восстановление кожного покрова при травме // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 114-132. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1151

Original article

ON THE QUESTION OF THE EFFECT OF REGENERATION STIMULATION DRUGS ON THE RESTORATION OF THE SKIN IN CASE OF INJURY

O.B. Zhdanova, E.B. Dunaeva, M.P. Razin, I.I. Oculova

Background. The study of the reaction of tissue (epidermis and dermis) to the medication of regeneration stimulants (MSR) in injuries is relevant both for the

development of wound coatings and treatment regimens for the traumatic process. In this study, special attention is paid to the process of stimulation of stem cells in the hair papilla, which play an important role in the restoration of skin structures. The aim of the study was also to study the morphological changes of the epidermis and dermis in the dynamics of trauma.

Materials and methods. *To conduct the experiment, experimental groups were formed: a burn model without treatment; a burn model with a MSR preparation (oral administration and wound coating); an experimental group with a linear wound with MSR treatment, an experimental group similar reproduction of a wound without suturing with MSR, a control group similar reproduction of a wound without treatment with suturing, a control group - similar reproduction of the wound without treatment and without suturing. Animals were removed from the experiment by inhalation of ether vapors in accordance with the "Rules for carrying out work using experimental animals" and in accordance with the principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Tissue fragments were taken from the site of thermal trauma and healthy tissue for the preparation of histological preparations. The production of paraffin histological sections with a thickness of 5-7 microns was carried out according to generally accepted standard methods. The sections were stained with hematoxylin and eosin. The photos were taken using the Vision Bio system (Epi 2014) and stained with hematoxylin-eosin, which were examined under x100 magnification. The obtained data were processed using MS Excel and Statgraphics software packages using generally accepted methods of statistics.*

Results. *When reproducing thermal trauma In the control group on day 14, there is no epidermis in part of the visual fields within the studied material, the layers are replaced by connective tissue strands, scar tissue is visualized. The dermis is moderately edematous, with neutrophilic and lymphocytic infiltration is weakly expressed, in the papillary and reticular layer it is evenly represented, there are single apoptotic corpuscles. No areas of hemorrhage were detected, but the blood vessels were dilated. While in the experimental group there are signs of restoration of microcirculation with a large number of vessels and a more pronounced layer of the epidermis. When examining scars after a linear wound, it was found that animals who did not receive therapy have a thin scar, and in animals who received MSR, the consequences of surgical intervention are not visualized.*

Conclusion. *The dynamics of the wound process was studied when using a prototype ointment containing a regeneration complex in the treatment of burn and linear wounds in an experiment. The effectiveness of the regenerative com-*

plex of a prototype ointment for the treatment of experimental burn and linear wounds in laboratory animals in comparison with the control group was revealed. It has been established that in the treatment of burn and linear wounds with experimental ointment, the healing period of burn wounds is reduced due to more active formation of the microcirculatory bed and the early onset of epithelization.

Keywords: skin; injury; regeneration; thermal injury; burn; linear wound

For citation. Zhdanova O.B., Dunaeva E.B., Razin M.P., Oculova I.I. *On the Question of the Effect of Regeneration Stimulation Drugs on the Restoration of the Skin in Case of Injury. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 114-132. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1151*

Введение

В настоящее время изменились условия боевых действий: от крупномасштабных войн произошел переход к конфликтам низкой интенсивности, в связи с чем современная медицина столкнулась с необходимостью внедрения новых стратегий лечения травм, использующих самые передовые технологии мирного времени, направленные на активацию регенераторных процессов, позволяющие максимально быстро восстанавливать поврежденные органы и ткани. В связи с тем, что регенерация тканей является наиважнейшим аспектом современных исследований, оценили эффективность применения опытного образца - препарата стимулятора регенерации (ПСР): лиотритона (лиофилизированный препарат из культуры клеток тритона с электромагнитной обработкой) для лечения ран различного генеза у лабораторных животных (белых беспородных крыс).

Изучение реакции тканей кожи (эпидермиса и дермы) на введение стимуляторов регенерации при травмах является актуальным как для разработки раневых покрытий, так и совершенствования схем лечения травматического процесса. В настоящем исследовании особое внимание уделяется процессу активации стволовых клеток тканей кожи, играющим наиважнейшую роль в восстановлении кожных структур. Общеизвестно, что в современной комбустиологии основой терапии поверхностных ожогов является стимуляция регенеративных процессов и восстановление гемодинамики в тканях. Известно, что в результате высвобождения продуктов распада и медиаторов воспаления (гистамина, серотонина, брадикинина), действующих на рецепторы кровеносных сосудов, развивается стойкая гиперемия с нарастанием проницаемости всех слоев стенки кровеносных сосудов [9-15]. Цитокины, главным об-

разом, трансформирующий фактор роста (transforming growth factor beta, TGF- β), обуславливают миграцию лейкоцитов в очаг воспаления (в первую очередь нейтрофилов,двигающихся при помощи хемотаксиса и ортотаксиса в сторону активного повреждения). Также проникают в эту зону макрофаги, которые активизируются и совместно с лимфоцитами и начинают вырабатывать ряд провоспалительных цитокинов: интерлейкин 1 β (IL-1 β), интерлейкин 2 (IL-2), интерфероны (IFN), в частности, IFN- γ , фактор некроза опухоли (TNF) - TNF- α и др. [11, 15-25] Следствием является развитие воспалительного процесса, с классическими клиническими признаками (артериальная и венозная гиперемия, отек, повышение температуры, наличие боли и расстройство функций). Параллельно развитию картины воспаления начинается, аутолитическое очищение раны, тучные клетки (ТК) высвобождают биологически активные вещества, которые расщепляют некротические массы, а фагоциты (макрофаги и нейтрофилы) уничтожают патогены, пораженные клетки и фрагменты ткани, выделяют факторы тканевого роста и цитокины. Таким образом, в процессе воспаления освобождается место для дальнейшей миграции и пролиферации клеток. В результате клеточной кооперации возрастает активность фибробластов, гладких мышечных клеток кровеносных сосудов и эндотелиальных клеток, начинают формироваться коллагеновые и эластиновые волокна, а также усиленно образуются новые кровеносные сосуды в пораженном участке. Наряду с рассасыванием экссудата вместе с некротизированными тканями и продуктами распада, в этот период активируются процессы замещения поврежденных клеток и межклеточного матрикса [12, 15, 20-27]. Кроме того, нейтрофилы, моноциты и макрофаги выделяют активные формы кислорода (ОН-, H₂O₂, O₂), обладающие мощным антибактериальным эффектом [12, 15, 20-27]. Особенно важно восстановление микроциркуляции в пораженных тканях, так как в этом случае уменьшается ацидоз и усиливается выведения токсических продуктов, в результате чего уменьшается выраженность патологических изменений в целом [1-9,10]. Таким образом, при травмах (механических и термических), помимо манипуляций, направленных на удаления некротизированных тканей, бактерий и др., крайне актуально исследовать возможность применения препаратов, стимулирующие регенеративные процессы [5, 25-33].

Целью исследования было изучение морфологических изменений эпидермиса и дермы в динамике при травме, при оценке общего состояния животных и планиметрического исследования, а также до-

казать эффективность применения ПСР при экспериментальном воспроизведении термических травм и линейных ран.

Материалы и методы исследования

Все эксперименты на животных осуществлялись в медико-биологическом центре биомоделирования МБЦ ФГБОУ ВО Кировского ГМУ Минздрава России. Для воспроизведения экспериментальных ран были отобраны беспородные белые крысы-самцы, массой от 320 до 350 грамм. Для проведения всех доклинических исследований руководствовались соответствующими нормативными документами (Правилами и Международными рекомендациями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых при экспериментальных исследованиях, в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board) [34]. Исследование проводилось на 48 крысах, которые содержались в условиях, соответствующих зоотехническим нормам: температура воздуха +20–22°C, влажность 55–60%. Крысы содержались в клетках индивидуально, в качестве подстила использовали древесные пеллеты и стружки. Все экспериментальные животные получали полнорационные гранулированные корма, сбалансированные по микро-макроэлементам и витаминам, и имели свободный доступ к воде (круглосуточно). Животные находились в стандартных условиях 12-часового цикла освещения с 08:00 до 20:00. Экспериментальное моделирование линейных ран осуществляли на основе методик воспроизведения раневого процесса и ожога на лабораторных животных КГМУ [5, 6, 8]. Всех животных разделили на 6 групп равной численности (по 8 животных): воспроизводили термическую травму без лечения (группа №1) и опытная №2, с воспроизведением аналогичной травмы и с введением препарата ПСР, у групп № 3-6 воспроизводили травму – «линейная рана».

На участке, в области спины у животных всех групп удаляли шерсть. Моделирование первого эксперимента (термическая травма) проводили по классической методике воспроизведения ожога на лабораторных животных: пустую стеклянную пробирку с площадью сечения 3,8 см², длиной 25 см заполняли горячей водой, помещали в кипящую (100°C) воду на 2/3 высоты, прогревали в течение 1 мин. и в вертикальном положении создавали плотный контакт с оголенным участком кожи животного, находящегося под действием наркоза, на 30 секунд до термической трав-

матизации тканей, соответствующей приблизительно 3 степени ожога. Сразу после моделирования ожога на всю раневую поверхность животных группы № 2 наносили опытный образец мази с ПСР и выпаивали препарат внутрь в дозе 0,3 мл на животное. Продолжительность экспериментальной терапии и наблюдения у животных составляла 14 суток.

Линейную рану воспроизводили скальпелем под местной анестезией (с 3-й по 6-ю группы). Опытным группам №3 и №5 (по 8 животных в каждой) наносили линейные раны с лечением ПСР. Под эфирным наркозом на дорсальной поверхности тела наносили стандартные полнослойные кожные раны площадью 20 мм. Волосистой покров предварительно удаляли и на кожу с помощью трафарета наносили контуры дефекта. Затем скальпелем воспроизводили полнослойный дефект кожи и наложение шва (группы №3 и №4). Раневая поверхность составляла менее 10% от площади тела животного. В опытной группе №5 ($n = 8$) наносили линейные раны, как и в предыдущем опыте, однако, воспроизведение раны осуществляли без наложения шва, а в контрольной группе № 6 ($n = 8$) воспроизводили рану без лечения и без наложения шва. Наблюдение осуществляли ежедневно, во время дачи препарата и обработки раневой поверхности, контрольными точками в исследовании были выбраны первые, десятые, четырнадцатые сутки с момента нанесения комбинированной травмы, линейные раны замеряли на 1 и 7 сутки.

Планиметрическое исследование. Для оценки эффективности местного лечения ожоговых ран применяли планиметрию на копировальной бумаге по методу Л.Н. Поповой, в модификации КГМУ (2023). С этой целью до начала лечения точно определяли площадь раны методом наложения стерильного листа полиэтиленовой пленки и переносили на нее контуры кожного дефекта. Данное изображение раны переносили на лист миллиметровой бумаги, и подсчитывали количество квадратов (мм^2), заключенных внутри границ контура. Животных из эксперимента выводили методом ингаляции эфирных паров в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board) [34]. Сразу после выведения из опыта, у крыс были взяты фрагменты ткани из участка термической травмы или линейной раны и здоровой ткани для приготовления гистологических препаратов. Материал фиксировали в 10% забуференном формалине с дальнейшим, обезвоживанием с использованием этанола возрастающей концентрации (60%,

70%, 80%, и 94%) и ксилола, с дальнейшим пропитыванием смесью парафин-ксилोल, и заключением в парафин. Изготовление парафиновых гистологических срезов толщиной 5-7 мкм проводили по общепринятым стандартным методикам (на санном микротоме МС-2). Срезы окрашивали гематоксилином и эозином. Фотографии сделаны с использованием системы Vision Bio (Epi 2014г.) и окрашены гематоксилин-эозином, которые исследовались под увеличением $\times 10$ и $\times 100$. Полученные данные обрабатывали с использованием пакетов программ MS Excel и Statgraphics общепринятыми методами вариационной статистики.

Результаты исследований

После моделирования ран (термической травмы и линейных) все экспериментальные животные хорошо перенесли наркоз и по прошествии 30-35 минут животных исследовали в тестах «Открытое поле». Крысы опытных и контрольных групп были одинаково активны: их поведение (вертикальные стойки, потребление корма и воды, и дефекации) практически не отличалось во всех группах, а также все животные активно исследовали окружающую среду, имели практически одинаковую двигательную активность, в т.ч. ориентированную к собственному телу (груминг).

В течение получаса после воздействия термического фактора (горячей пробирки) в месте контакта с кожей формировался участок сухого коагуляционного некроза и образовывался струп белесоватого цвета с тонкой, нежной корочкой. Площадь ожога после моделирования в среднем по всем группам составила $395,18 \pm 13,08$ мм².

На четырнадцатые сутки отбирали образцы кожи у животных всех групп (с 1 по 6-ю), при одновременном выведении их из эксперимента. При моделировании ожога, в 1-е сутки после воспроизведения во всех группах ожоговая рана имела четкие границы с классическими возвышениями и уплотнениями струпа. Цвет струпа в опытной группе был буровато-коричневый, плотный при пальпации, без выделения экссудата при надавливании, а в контрольной группе кожа в месте ожога более яркого красновато-бурого цвета, и имеется отечность. На 10-е сутки у всех животных контрольной группы состояние струпов значительно не изменилась, а у крыс опытной группы (№2) наблюдали начало отхождения струпов по краю раны. При надавливании экссудат не выделяется, отека также не отмечено. На 14-е сутки в опытной группе струпы отошли, раны были значительно меньше контроля (рис. 1.1 и 1.2).

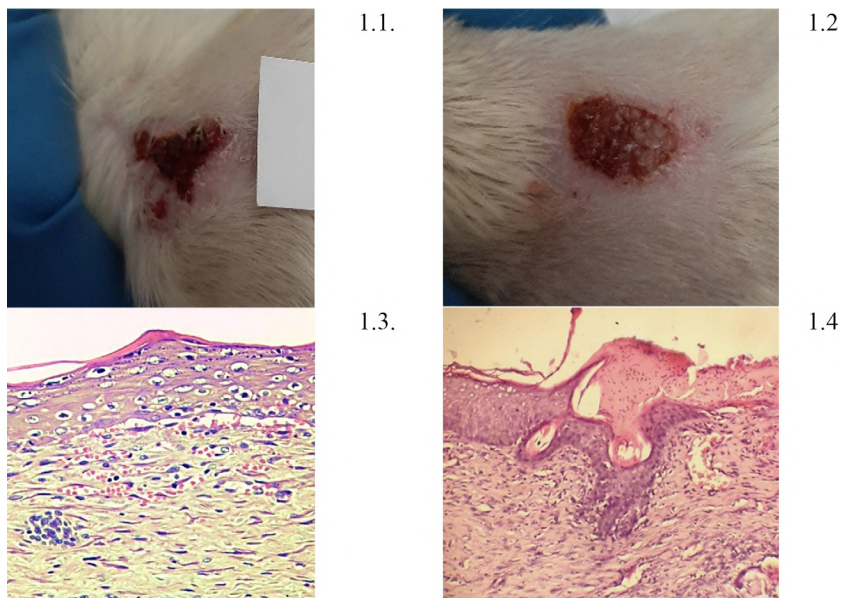


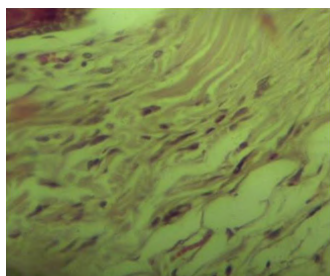
Рис. 1. Вид раны на 14 сутки (экспериментальная группа - 1.1. – в натуральную величину, 1.3. – гистологический препарат x100 с большим количеством сосудов и более выраженным слоем эпидермиса, контроль -1.2. в натуральную величину, 1.4. - гистологический препарат x100 с выраженным струпом)

У животных контрольной группы при макроанатомических исследованиях рана имела следующий вид: раневой струп по всему диаметру раны отошел, но крепко держался на поверхности раны (рис. 1.2). В контрольной группе на 14-е сутки в пределах исследуемого материала в части полей зрения эпидермис отсутствует, слои замещены соединительно-тканными тяжами, визуализируется рубцовая ткань (рис. 1).

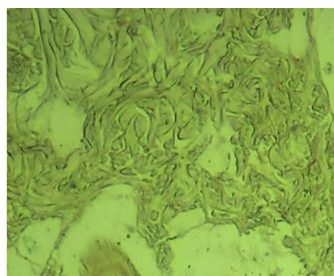
Дерма умеренно отечная, с нейтрофильной и лимфоцитарной инфильтрацией выражена слабо, в сосочковом и сетчатом слое представлена равномерно, встречаются единичные апоптотические тельца. Участков кровоизлияний не выявлено, но кровеносные сосуды расширены. В то время как в опытной группе имеются признаки восстановления микроциркуляции с большим количеством сосудов и более выраженным слоем эпидермиса.

При исследовании рубцов после нанесения линейной раны обнаружено, что у животных, не получавших терапию имеется тонкий рубец, а

у животных, получавших ПСР последствия хирургического вмешательства не визуализируются. Планиметрические исследования показали, что у животных опытных групп регенераторные процессы были намного активнее, чем в контрольной группе. Макроанатомические изменения раны отмечали на 2-й, 7-й, 14-й дни, на 2-й день отличия во всех группах незначительны, на 7-й день в опытной группе без наложения шва длина раны составила $1,16 \pm 0,23$ см, ширина $0,36 \pm 0,06$ см; с наложением шва $0,15 \pm 0,1$ см соответственно, длина, и $0,018 \pm 0,05$ см, ширина, причем у 2 животных отсутствовал рубец. В контрольной группе длина составила $0,73 \pm 0,1$ см, ширина – $0,65 \pm 0,1$ см в группе без наложения шва, а с наложением шва $0,7 \pm 0,1$ см и $0,075 \pm 0,05$ см соответственно. Морфология кожи при моделировании линейной раны с наложением шва у контрольных крыс и у опытных животных на 14-е сутки имела значительные отличия в опытных и контрольных группах, у которых визуально определялся незначительный дефект кожи в области манипуляций, в то время как у крыс опытных групп он практически не выявлялся. Процессы регенерации в опытной группе подтверждались гистологическими исследованиями: утолщение эпидермиса и увеличение количества фибробластов, а сама дерма представлена плотной неоформленной соединительной тканью, в то время как в контрольной группе волокна расположены параллельно друг другу, что характерно для рубцовой ткани (рис. 2).



1



2

Рис. 2. Дерма в контрольной (1) и опытной (2) группе на 14 сутки (гистологический препарат x100)

Обсуждение

На основании проведенных макроанатомических и гистологических исследований выявлены значительные отличия в опытных и контрольных группах. Визуальная оценка динамики смоделированного раневого процес-

са, подтвержденная планиметрическими измерениями, указывает на то, что регенеративные процессы в группах с применением экспериментального лечения протекают с более высокой скоростью. Гистологически более выраженный регенеративный эффект отмечается во всех опытных группах. В процессе регенерации помимо ускорения регенерации эпителия, также принимает огромное значение восстановление микроциркуляции в участке травмы. При стимуляции регенерации кровообращение восстанавливается как за счет увеличения количества капилляров, так и за счет скорости их роста. Выраженные процессы регенерации отмечаются сразу после травмы и продолжают нарастать к 14-му дню [5-10]. Учитывая вышесказанное, при лечении травм (ожоговых, линейных ран и др.) в настоящее время наиболее эффективны материалы, активирующие регенерацию, такие как полимеры природного происхождения (коллагены, препараты гиалуроновой кислоты, и др.) [30-33]. Эти биоактивные материалы ускоряют регенерацию и регулируют фазы заживления, взаимодействуя с клетками за счет своих структурных свойств (молекулярная масса, количество и состав функциональных групп, упругость и прочность) [23-31]. Стимуляторы регенерации также могут модулировать клеточные сигнальные пути, влияющие на процессы восстановления (рост, дифференциацию и восстановление функций коллагеновых и эластических волокон, и клеток, в первую очередь фибробластов, кератиноцитов, и эндотелиальных клеток) [23-28]. В этой связи актуальны исследования, направленные на расширение спектра действия биоактивных раневых покрытий, что открывает новые возможности для применения биоактивных полимеров (коллаген, хитозан, альгинат, ПСР из тканей земноводных и др.) при разработке раневых покрытий местного лечения ран, в том числе с признаками некроза, и инфицированных. Данные препараты, помимо стимуляции регенерации, обладают антибактериальными, противовоспалительными эффектами, ускоряют процесс заживления. Таким образом, введение ПСР позволяет сократить сроки выздоровления и минимизировать последствия травмы, поэтому дальнейшие исследования в области поиска новых активаторов регенерации крайне актуальны [30-33].

Выводы

1. Изучена динамика раневого процесса на фоне применения опытного образца ПСР (мази, с содержанием регенерационного комплекса)
2. При лечении ожоговых и линейных ран в эксперименте выявлена эффективность данного регенерационного комплекса в опытном образце в сравнении с контрольной группой у лабораторных животных.

3. Установлено, что при лечении как ожоговых, так и линейных ран при помощи экспериментальной мази с ПСР, сокращается срок заживления ран за счет более активного формирования микроциркуляторного русла и раннего начала эпителизации.

Список литературы

1. Алексеев А.А., Бобровников А.Э., Крутиков М.Г., Тюрников Ю.И., Богданов С.Б. Местное консервативное лечение ран на этапах оказания помощи пострадавшим от ожогов: клинические рекомендации / Общероссийская общественная организация «Объединение комбустиологов «Мир без ожогов». 2014. 120 с.
2. Андреева И.В., Телия В.Д. Возрастные особенности порталной гемодинамики у крыс // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 3. С. 105-122. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-105-122>
3. Гильмутдинова И.Р., Костромина Е.Ю., Якупова Р.Д., Еремин П.С. Разработка наноструктурированного биопластического материала для комбустиологии // Биотехнология. 2020. Т. 36, № 4. С. 65-68. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-4-65-68>
4. Жданова О.Б., Рыболовлева А.А., Тоинова С.А., Дунаева Е.Б., МUTOшвили Л.Р., Часовских О.В. Перспективы применения препаратов из мха в качестве стимуляторов регенерации // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Киров, 2023. С. 305-309.
5. Жданова О.Б., Дунаева Е.Б., Бизяев П.Д., Вишняков А.В., Акаева Т.В. Изучение влияния препаратов-стимуляторов на регенерацию кожи при термической травме // Вятский медицинский вестник. 2023. № 2 (78). С. 69-74.
6. Жданова О.Б., Дунаева Е.Б., Часовских О.В., Окулова И.И., Березина Ю.А., Кошурникова М.А. Влияние препарата стимулятора регенерации на заживление ран и гематологические показатели у лабораторных животных // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 255. № 3. С. 152-155.
7. Каныков В.Н. Особенности регенерации роговицы при применении биопластического материала на основе гиалуроновой кислоты // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. №12(148). С. 76-79.
8. Козвонин В.А., Анисимов А.Н., Дунаева Е.Б., Сазанов А.В. Возможность применения соединений перфторуглеродов, гиалуроновой кислоты и коллоидного серебра в новых типах раневых покрытий. экспериментальное исследование // Вятский медицинский вестник. 2022. №2. С. 67-74.

9. Костромина Е.Ю., Кудряшова И.С., Марков П.А., Еремин П.С., Гильмутдинова И.Р., Рачин А.П. Разработка перевязочного биоматериала на базе компонентов экстрацеллюлярного матрикса // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2021. Т. 98, № 3-2. С. 100-101. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
10. Руднева О.В., Жданова О.Б., Клюкина Е.С., Написанова Л.А., Мутошвили Л.Р. Влияние комплексного иммунопрепарата на лимфоидную ткань, ассоциированную со слизистой оболочкой кишечника // Морфология. 2019. Т. 155. № 2. С. 243-244.
11. Ставинская О.А., Добродеева Л.К., Патракеева В.П. Влияние некроза и апоптоза лимфоцитов на выраженность иммунных реакций // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 4. С. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
12. Хабаров В.Н., Бойков П.Я., Селянин М.А. Гиалурионовая кислота: получение, свойства, применение в биологии и медицине. М: Практическая медицина, 2012. 224 с.
13. Шашкаров В.П., Гайнутдинов Т. Р., Идрисов А.М., Низамов Р. Н., Никитин А. И., Конюхов Г. В. Мазь для лечения термических ожогов и способ их лечения // Патент России № 2682454. 2019. Бюл. № 8.
14. Тезина Е.Ю., Родина О.П., Водопьянова О.А., Семенова Е.Ф., Моисеева И.Я. Опыт сравнительного применения мазей «фузимет» и «левомеколь» в комплексном лечении ожоговых РАН // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19610> (дата обращения: 22.10.2023).
15. Петрович Ю.А., Киченко С.М., Гурин А.Н. Местное лечение термических ожогов кожи в хирургии (обзор литературы) // Хирург. 2008. № 7. С. 57-62.
16. Barrett S., Callaghan R., Chadwick P. et al. An observational study of a superabsorbent polymer dressing evaluated by clinicians and patients // Journal of Wound Care. 2018. Vol. 27(2). P. 91-100. <https://doi.org/10.12968/JOWC.2018.27.2.91>
17. Cañedo-Dorantes L., Cañedo-Ayala M. Skin Acute Wound Healing: A Comprehensive Review // International Journal of Inflammation. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3706315>
18. Chen F.M., Liu X. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering // Progress in Polymer Science. 2016. Vol. 53. P. 86-168. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2015.02.004>
19. Dabiri G., Damstetter E., Phillips T. Choosing a Wound Dressing Based on Common Wound Characteristics // Advances in Wound Care. 2016. Vol. 5(1). P. 32-41. <https://doi.org/10.1089/WOUND.2014.0586>

20. Dhivya S., Padma V.V., Santhini E. Wound dressings – a review // *BioMedicine*. 2015. Vol. 5(4). P. 24-28. <https://doi.org/10.7603/S40681-015-0022-9>
21. Gibran N.S. Current status of burn wound pathophysiology / N. S. Gibran, D. M. Heimbach // *Clin. Plast. Surg.* 2000. Vol. 27. P. 11-22.
22. Geanaliu-Nicolae R.E., Andronescu E. Blended Natural Support Materials—Collagen Based Hydrogels Used in Biomedicine // *Materials*. 2020. Vol. 13(24). P. 1-31. <https://doi.org/10.3390/MA13245641>
23. Klimek K., Ginalska G. Proteins and Peptides as Important Modifiers of the Polymer Scaffolds for Tissue Engineering Applications—A Review // *Polymers*. 2020. Vol. 12(4): 844. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040844>
24. Lin H., Zheng Z., Yuan J., Zhang C., Cao W., Qin X. Collagen Peptides Derived from *Sipunculus nudus* Accelerate Wound Healing // *Molecules*. 2021. Vol. 26(5): 1385. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26051385>
25. Manuela G. N., Radu M. N., Loida O-S., Gabriel C. Hyaluronic Acid and Wound Healing // *J Pharm Pharm Sci*. 2015. Vol. 18(1). P. 53-60. <https://doi.org/10.18433/J3K89D>
26. Negut I., Dorcioman G., Grumezescu V. Scaffolds for wound healing applications // *Polymers*. 2020. Vol. 12(9). P. 1-19. <https://doi.org/10.3390/polym12092010>
27. Reddy M.S.B., Ponnammma D., Choudhary R., Sadasivuni K.K. A Comparative Review of Natural and Synthetic Biopolymer Composite Scaffolds // *Polymers*. 2021. Vol. 13(7): 1105. <https://doi.org/10.3390/POLYM13071105>
28. Stoica A.E., Chircov C., Grumezescu A.M. Nanomaterials for Wound Dressings: An Up-to-Date Overview // *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2020. Vol. 25(11). <https://doi.org/10.3390/molecules25112699>
29. Weller C.D., Team V., Sussman G. First-Line Interactive Wound Dressing Update: A Comprehensive Review of the Evidence // *Frontiers in Pharmacology*. 2020. Vol. 11. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2020.00155>
30. Wiegand C., Abel M., Hipler U.C., Elsner P. Effect of non-adhering dressings on promotion of fibroblast proliferation and wound healing in vitro // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-019-40921-Y>
31. Zhang Y., Holl E., Chun M., O'Brien M., Nguyen A., Sun L. Just a Flesh Wound? A Detailed Review of Modern Dressings // *Health Science Journal*. 2020. Vol. 14(4). <https://doi.org/10.36648/1791-809X.14.4.730>
32. Zhao R., Liang H., Clarke E., Jackson C., Xue M. Inflammation in Chronic Wounds // *International Journal of Molecular Sciences*. 2016. Vol. 17(12). <https://doi.org/10.3390/IJMS17122085>
33. Zhdanova O., Rassochin D., Okulova I., Chasovskikh O. Biological activity of melatonin and some unexpected effects of dynamization // *International Journal of High Dilution Research*. 2016. Vol. 15. № 4. P. 55-56.

34. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects // J Am Coll Dent. 2014. Vol. 81(3). P. 14-18.

References

1. Alekseev A.A., Bobrovnikov A.E., Krutikov M.G., Tyurnikov Y.I., Bogdanov S.B. *Local conservative treatment of wounds at the stages of care for burn victims: clinical recommendations* / All-Russian public organization "Association of Combustionologists 'World without Burns', 2014, 120 p.
2. Andreeva I.V., Telia V.D. Age features of portal hemodynamics in rats. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 105-122. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-105-122>
3. Gilmutdinova I.R., Kostromina E.Yu., Yakupova R.D., Eremin P.S. Development of nanostructured bioplastic material for combustiology. *Biotechnology*, 2020, vol. 36, no. 4, pp. 65-68. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2020-36-4-65-68>
4. Zhdanova O.B., Rybolovleva AA, Toinova SA, Dunayeva E.B., Mutoshvili L.R., Chasovskikh O.V. Prospects for the use of moss preparations as stimulators of regeneration. *Ecology of the native land: problems and solutions. Proceedings of the XVIII All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Kirov, 2023, pp. 305-309.
5. Zhdanova O.B., Dunayeva E.B., Bizyaev P.D., Vishnyakov A.V., Akaeva T.V. Study of the effect of stimulant drugs on skin regeneration in thermal injury. *Vyatka Medical Bulletin*, 2023, no. 2 (78), pp. 69-74.
6. Zhdanova O.B., Dunayeva E.B., Chasovskikh O.V., Okulova I.I., Berezina Yu.A., Koshurnikova MA Effect of the preparation of regeneration stimulator on wound healing and hematological parameters in laboratory animals. *Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2023, vol. 255, no. 3, pp. 152-155.
7. Kanyukov V.N. Features of corneal regeneration in the application of bioplastic material based on hyaluronic acid. *Bulletin of Orenburg State University*, 2012, no. 12(148), pp. 76-79.
8. Kozvonin V.A., Anisimov A.N., Dunayeva E.B., Sazanov A.V. Possibility of application of perfluorocarbons, hyaluronic acid and colloidal silver compounds in new types of wound coatings. experimental study. *Vyatka Medical Bulletin*, 2022, no. 2, pp. 67-74.
9. Kostromina E.Yu., Kudryashova I.S., Markov P.A., Eremin P.S., Gilmutdinova I.R., Rachin A.P. Development of dressing biomaterial on the basis of extracellular matrix components. *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic*

- physical training*, 2021, vol. 98, no. 3-2, pp. 100-101. <https://doi.org/10.17116/kurort20219803221>
10. Rudneva O.V., Zhdanova O.B., Klyukina E.S., Nicanova L.A., Mutoshvili L.R. The effect of complex immunopreparation on the lymphoid tissue associated with the intestinal mucosa. *Morphology*, 2019, vol. 155, no. 2, pp. 243-244.
 11. Stavinskaya O.A., Dobrodeeva L.K., Patrakeeva V.P. Effect of necrosis and apoptosis of lymphocytes on the severity of immune responses. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
 12. Khabarov V.N., Boykov P.Y., Selyanin M.A. *Hyaluronic acid: production, properties, application in biology and medicine*. Moscow: Practical Medicine, 2012, 224 p.
 13. Shashkarov V.P., Gaynutdinov T.R., Idrisov A.M., Nizamov R.N., Nikitin A. I., Konyukhov G. V. Ointment for the treatment of thermal burns and the method of their treatment. *Russian Patent No. 2682454*. 2019. Bulletin No. 8.
 14. Tezina E. Y., Rodina O. P., Vodopyanova O. A., Semenova E. F., Moiseeva I. Ya. Experience of comparative application of ointments “fusimet” and “levomekol” in the complex treatment of burn RAS. *Modern problems of science and education*, 2015, no. 3. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19610>
 15. Petrovich Yu.A., Kichenko S.M., Gurin A.N. Local treatment of thermal skin burns in surgery (literature review). *Surgeon*, 2008, no. 7, pp. 57-62.
 16. Barrett S., Callaghan R., Chadwick P. et al. An observational study of a superabsorbent polymer dressing evaluated by clinicians and patients. *Journal of Wound Care*, 2018, vol. 27(2), pp. 91-100. <https://doi.org/10.12968/JOWC.2018.27.2.91>
 17. Cañedo-Dorantes L., Cañedo-Ayala M. Skin Acute Wound Healing: A Comprehensive Review. *International Journal of Inflammation*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3706315>
 18. Chen F.M., Liu X. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering. *Progress in Polymer Science*, 2016, vol. 53, pp. 86-168. <https://doi.org/10.1016/J.PROGPOLYMSCI.2015.02.004>
 19. Dabiri G., Damstetter E., Phillips T. Choosing a Wound Dressing Based on Common Wound Characteristics. *Advances in Wound Care*, 2016, vol. 5(1), pp. 32-41. <https://doi.org/10.1089/WOUND.2014.0586>
 20. Dhivya S., Padma V.V., Santhini E. Wound dressings – a review. *BioMedicine*, 2015, vol. 5(4), pp. 24-28. <https://doi.org/10.7603/S40681-015-0022-9>
 21. Gibran N.S. Current status of burn wound pathophysiology / N. S. Gibran, D. M. Heimbach. *Clin. Plast. Surg.*, 2000, vol. 27, pp. 11-22.

22. Geanaliu-Nicolae R.E., Andronesu E. Blended Natural Support Materials—Collagen Based Hydrogels Used in Biomedicine. *Materials*, 2020, vol. 13(24), pp. 1-31. <https://doi.org/10.3390/MA13245641>
23. Klimek K., Ginalska G. Proteins and Peptides as Important Modifiers of the Polymer Scaffolds for Tissue Engineering Applications—A Review. *Polymers*, 2020, vol. 12(4), 844. <https://doi.org/10.3390/POLYM12040844>
24. Lin H., Zheng Z., Yuan J., Zhang C., Cao W., Qin X. Collagen Peptides Derived from *Sipunculus nudus* Accelerate Wound Healing. *Molecules*, 2021, vol. 26(5), 1385. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26051385>
25. Manuela G. N., Radu M. N., Loida O-S., Gabriel C. Hyaluronic Acid and Wound Healing. *J Pharm Pharm Sci.*, 2015, vol. 18(1), pp. 53-60. <https://doi.org/10.18433/J3K89D>
26. Negut I., Dorcioman G., Grumezescu V. Scaffolds for wound healing applications. *Polymers*, 2020, vol. 12(9), pp. 1-19. <https://doi.org/10.3390/polym12092010>
27. Reddy M.S.B., Ponnammma D., Choudhary R., Sadasivuni K.K. A Comparative Review of Natural and Synthetic Biopolymer Composite Scaffolds. *Polymers*, 2021, vol. 13(7), 1105. <https://doi.org/10.3390/POLYM13071105>
28. Stoica A.E., Chircov C., Grumezescu A.M. Nanomaterials for Wound Dressings: An Up-to-Date Overview. *Molecules*, 2020, vol. 25(11). <https://doi.org/10.3390/molecules25112699>
29. Weller C.D., Team V., Sussman G. First-Line Interactive Wound Dressing Update: A Comprehensive Review of the Evidence. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, vol. 11. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2020.00155>
30. Wiegand C., Abel M., Hipler U.C., Elsner P. Effect of non-adhering dressings on promotion of fibroblast proliferation and wound healing in vitro. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-019-40921-Y>
31. Zhang Y., Holl E., Chun M., O'Brien M., Nguyen A., Sun L. Just a Flesh Wound? A Detailed Review of Modern Dressings. *Health Science Journal*, 2020, vol. 14(4). <https://doi.org/10.36648/1791-809X.14.4.730>
32. Zhao R., Liang H., Clarke E., Jackson C., Xue M. Inflammation in Chronic Wounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, vol. 17(12). <https://doi.org/10.3390/IJMS17122085>
33. Zhdanova O., Rassochin D., Okulova I., Chasovskich O. Biological activity of melatonin and some unexpected effects of dynamization. *International Journal of High Dilution Research*, 2016, vol. 15, no. 4, pp. 55-56.
34. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *J Am Coll Dent.*, 2014, vol. 81(3), pp. 14-18.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Жданова Ольга Борисовна, д.б.н., заведующая лабораторией фармакологической биоэнергетики и мембранологии; профессор кафедры физиологии
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России; ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ
ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Российская Федерация; Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
oliabio@yandex.ru

Дунаева Елена Борисовна, к.б.н., заведующая медико-биологическим центром
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России
ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Российская Федерация
niokgma@yandex.ru

Разин Максим Петрович, д.б.н., профессор, проректор по научной и инновационной работе и связям с практическим здравоохранением
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России
ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Российская Федерация

Окулова Ираида Ивановна, к.в.н., доцент кафедры гистологии, эмбриологии и цитологии
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России
ул. К. Маркса, 112, г. Киров, 610027, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga B. Zhdanova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Pharmacological Bioenergetics and Membranology; Professor, Department of Physiology
Kirov State Medical University; Vyatka State Agrotechnological University

*112, K. Marks Str., Kirov, 610027, Russian Federation; 133, Oktyabrsky prospect, Kirov, 610017, Russian Federation
oliabio@yandex.ru*

Elena B. Dunaeva, Candidate of Biological Sciences, Head of the Medical and Biological Center

Kirov State Medical University

112, K. Marks Str., Kirov, 610027, Russian Federation

niokgma@yandex.ru

Maxim P. Razin, Doctor of Biological Sciences, Professor, Vice-Rector for Scientific and Innovative Work and Relations with Practical Health Care

Kirov State Medical University

112, K. Marks Str., Kirov, 610027, Russian Federation

Iraida I. Okulova, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Histology, Embryology and Cytology

Kirov State Medical University

112, K. Marks Str., Kirov, 610027, Russian Federation

Поступила 15.11.2023

После рецензирования 15.02.2024

Принята 25.02.2024

Received 15.11.2023

Revised 15.02.2024

Accepted 25.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1152

УДК 612.1:616.151:636.034



Научная статья

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА НАТИВНЫХ И ДЕКОНСЕРВИРОВАННЫХ СПЕРМАТОЗОИДОВ БЫКОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА

*М.Н. Иващенко, А.В. Дерюгина, О.Н. Ермохина, П.С. Игнатьев,
М.И. Латушко, В.Б. Метелин, А.А. Белов, А.И. Ерзутов*

Обоснование. Процесс хранения спермы в глубокозамороженном состоянии вызывает структурно-функциональные нарушения сперматозоидов, что снижает их оплодотворяющую способность. Основным механизмом негативного влияния криоконсервации на сперматозоиды является развитие окислительного стресса.

Молекулярный водород обладает некоторыми преимуществами как потенциальная антиоксидантная молекула - это селективное воздействие на определенные активные формы кислорода, способностью преодолевать клеточные мембраны, отсутствие токсических эффектов.

Цель. Изучение влияния молекулярного водорода на функциональный статус нативных и деконсервированных сперматозоидов быков-производителей.

Материалы и методы. Объектом исследования были эякуляты быков до криоконсервации и после размораживания. Исследовали нативную разбавленную разбавителем «BioXcell» сперму, нативную разбавленную разбавителем «BioXcell» сперму, обогащенную молекулярным водородом, сперму после глубокой заморозки и сперму после глубокой заморозки, предварительно обработанную молекулярным водородом. В сперматозоидах определяли интенсивность протекания свободнорадикальных процессов и активность антиоксидантных ферментов.

Результаты. После криоконсервации спермы, процессы перекисного окисления липидов в сперматозоидах значительно активируются. Увеличивается содержание малонового диальдегида, диеновых и триеновых конъюгатов. Использование молекулярного водорода для коррекции качества спермопродукции после криоконсервации дало положительные результаты. Отмечено

снижение концентрации первичных и промежуточных продуктов перекисного окисления липидов. Значительно увеличивается активность супероксиддисмутазы и каталазы в сперматозоидах.

Заключение. Молекулярный водород имеет потенциал в качестве нового и эффективного антиоксиданта, широкое использование которого возможно в ветеринарных целях.

Ключевые слова: молекулярный водород; сперматозоиды; перекисное окисление липидов; малоновый диальдегид; супероксиддисмутаза; каталаза

Для цитирования. Иващенко М.Н., Дерюгина А.В., Ермохина О.Н., Игнатьев П.С., Латушко М.И., Метелин В.Б., Белов А.А., Ерзутов А.И. Изменение метаболизма нативных и деконсервированных сперматозоидов быков под действием молекулярного водорода // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 133-148. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1152

Original article

CHANGES IN THE METABOLISM OF NATIVE AND DECONSERVED BULL SPERMATOZOA UNDER THE ACTION OF MOLECULAR HYDROGEN

**M.N. Ivashchenko, A.V. Deryugina, O.N. Ermokhina, P.S. Ignatiev,
M.I. Latushko, V.B. Metelin, A.A. Belov, A.I. Erzutov**

Background. The process of storing sperm in a deeply frozen state causes structural and functional disorders of spermatozoa, which reduces their fertilizing ability. The main mechanism of the negative effect of cryopreservation on spermatozoa is the development of oxidative stress.

Molecular hydrogen has some advantages as a potential antioxidant molecule - it is a selective effect on certain reactive oxygen species, the ability to overcome cell membranes, the absence of toxic effects.

Purpose. To study the effect of molecular hydrogen on the functional status of native and deconserved sperm cells of breeding bulls.

Materials and methods. The object of the study was the ejaculates of bulls before cryopreservation and after defrosting. The native sperm diluted with the "BioXcell" diluent, the native sperm diluted with the "BioXcell" diluent enriched with molecular hydrogen, the sperm after deep freezing and the sperm after deep freez-

ing pretreated with molecular hydrogen were studied. The intensity of free radical processes and the activity of antioxidant enzymes were determined in spermatozoa.

Results. After cryopreservation of sperm, the processes of lipid peroxidation in spermatozoa are significantly activated. The content of malondialdehyde, diene and triene conjugates increases. The use of molecular hydrogen to correct the quality of sperm production after cryopreservation gave positive results. A decrease in the concentration of primary and intermediate products of lipid peroxidation was noted. The activity of superoxide dismutase and catalase in spermatozoa significantly increases.

Conclusion. Molecular hydrogen has the potential as a new and effective antioxidant, the widespread use of which is possible for veterinary purposes.

Keywords: molecular hydrogen; spermatozoa; lipid peroxidation; malondialdehyde; superoxide dismutase; catalase

For citation. Ivashchenko M.N., Deryugina A.V., Ermokhina O.N., Ignatiev P.S., Latushko M.I., Metelin V.B., Belov A.A., Erzutov A.I. Changes in the Metabolism of Native and Deconserved bull Spermatozoa under the Action of Molecular Hydrogen. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 133-148. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1152

Введение

Оплодотворяющая способность замороженных сперматозоидов до настоящего времени остается невысокой, тем не менее криоконсервация спермы является основным инструментом вспомогательных репродуктивных технологий [4, 16, 22].

Одной из ведущих причин нарушения функций сперматозоидов является окислительный стресс. Несмотря на то, что активные формы кислорода необходимы для капацитации и акросомальной реакции, их избыточная концентрация в сочетании с ослаблением антиоксидантной защиты приводит к окислительно-восстановительному дисбалансу, потери целостности клеточной мембраны, повышению ее проницаемости, снижению подвижности сперматозоидов, структурному повреждению ДНК [1, 8].

Диагностические и терапевтические стратегии при окислительном стрессе многообразны, но единый общепризнанный подход к решению этой проблемы пока не сформирован. Учитывая это, использование молекулярного водорода с широким спектром антиоксидантного действия на данный момент является обоснованным и безопасным вариантом при криоконсервации сперматозоидов на фоне развития окислительного стресса [3, 5, 10, 19].

Молекулярный водород избирательно нейтрализует агрессивные высокотоксичные $\bullet\text{OH}$ и ONOO^- , которые могут неконтролируемо вступать в реакции с нуклеиновыми кислотами, липидами и белками, вызывая фрагментацию ДНК, перекисное окисление липидов и инактивацию белков. Молекулярный водород не нарушает функционирование сигнальных активных форм кислорода. Это выделяет молекулярный водород из общего количества антиоксидантов, которые не обладают избирательным действием в отношении свободных радикалов. Известно, что, значительно снижая уровень $\bullet\text{OH}$ в клетках, молекулярный водород не влияет на уровень $\bullet\text{O}_2^-$, H_2O_2 и $\bullet\text{NO}$ [14, 18]. Следовательно, молекулярный водород может уменьшать окислительный стресс и корректировать окислительно-восстановительный статус клеток [17, 19]. Благодаря своим действенным антиоксидантным свойствам, молекулярный водород способен вызывать многочисленные метаболические эффекты в клетках [12, 15, 21].

В связи с вышеизложенным, целью нашей работы - изучение влияния молекулярного водорода на функциональный статус нативных и деконсервированных сперматозоидов быков-производителей.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были эякуляты быков до криоконсервации и после размораживания. Исследования проведены в ООО Племпредприятие «Нижегородское» на быках-производителях чёрно-пёстрой породы. Была сформирована группа из 20 чёрно-пёстрых голштигизированных быков в возрасте 3 лет с живой массой 900-1100 кг. Условия кормления и содержания животных были одинаковыми и соответствовали разработанным нормам (ФГБНУ ФНЦ животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста). Сбор спермы проводили в соответствии с Национальной технологией замораживания и использования спермы племенных быков-производителей.

В исследовании были использованы образцы спермы, полученные непосредственно перед экспериментом. От каждого быка брали два эякулята. Использовали семя с минимальным количеством аномальных форм клеток. Исследовали по 3 образца каждого эякулята.

Эякуляты разбавляли синтетической средой для разбавления спермы быков «BioXcell» (Франция). Для изучения влияния молекулярного водорода на сперматозоиды использовали разбавитель для спермы «BioXcell», разведенный на дистиллированной воде, обогащённой молекулярным водородом. Последний получали используя установку Бозон-Н- H_2/O_3 (НПП

Эконика, Украина). Прибор позволяет получать «суперсатурированную» водородом воду. Концентрация молекулярного водорода в растворе находилась в пределах 1,2-1,5 мг/л.

Далее проводили итоговое разбавление, фасовку и эквilibрацию семени. Заморозку проводили в открытых гранулах. Доза одной открытой гранулы соответствовала ГОСТу 26030-2015 и была равна 0,2 мл. Сперматозоиды замораживали в течение 7,5 минут до температуры -145°C , затем контейнер с образцами помещали в жидкий азот (-196°C). После окончания семидневного карантина семя, замороженное в открытых гранулах, было разморожено по стандартной технологии.

Освобождение сперматозоидов от семенной плазмы осуществляли путём отмывания физиологическим раствором.

В сперматозоидах определяли интенсивность протекания свободно-радикальных процессов путем определения в клетках - концентрации малонового диальдегида (МДА), диеновых (ДК), триеновых конъюгатов (ТК), оснований Шиффа (ОШ). Определяли активность антиоксидантных ферментов - супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы.

Активность СОД определяли по ингибированию образования продукта аутоокисления адреналина (Сирота, 2016) [7]. Для определения активности каталазы использовали спектрофотометрический метод, основанный на определении скорости разложения H_2O_2 каталазой исследуемого образца с образованием воды и кислорода (Рецкий, 2010) [6].

Концентрацию малонового диальдегида в половых клетках определяли при взаимодействии с тиобарбитуровой кислотой в кислой среде при температуре $90-100^{\circ}\text{C}$ (Владимиров, Арчаков, 1972) [2]. Содержание диеновых конъюгатов, триеновых конъюгатов, оснований Шиффа в сперматозоидах устанавливали по поглощению липидным экстрактом монохроматического светового потока в ультрафиолетовой области спектра (Хышиктуев и др., 1996) [9].

Исследовали нативную разбавленную разбавителем «BioXcell» сперму (группа I), нативную разбавленную разбавителем «BioXcell» сперму, обогащенную молекулярным водородом (группа II), сперму после глубокой заморозки (группа III) и сперму после глубокой заморозки, предварительно обработанную молекулярным водородом (группа IV).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica, оценку достоверности – по критерию Стьюдента. Уровень значимости устанавливался равным 0,05. При статистической обработке от одной пробы оценивали не менее 40 клеток.

Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 отображены показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ) в изученных группах. Было установлено, что в нативных сперматозоидах протекает процесс ПОЛ, что подтверждается наличием первичных и вторичных продуктов ПОЛ (группа I). Инкубация нативных сперматозоидов молекулярным водородом не оказывала влияние на интенсивность свободнорадикальных процессов (группа II), содержание продуктов ПОЛ в группе II не отличалось от группы I.

После криоконсервации спермы, процессы ПОЛ в сперматозоидах значительно активируются (группа III). Содержание диеновых и триеновых конъюгатов по сравнению с нативными образцами (группа I) было выше соответственно на 67 % и 52 % ($p \leq 0,05$). Содержание МДА в исследуемых образцах статистически достоверно было повышено в сравнении с нативным семенем в среднем на 30 %.

Таблица 1.

Влияние молекулярного водорода на перекисное окисление липидов в сперматозоидах быков

Продукты ПОЛ	Нативные сперматозоиды, (группа I)	Нативные сперматозоиды после воздействия молекулярным водородом, (группа II)	Сперматозоиды после криоконсервации, (группа III)	Сперматозоиды после воздействия молекулярным водородом и криоконсервации, (группа IV)
МДА (нМоль/мл)	0,61±0,32	0,77±0,22	0,85±0,14*	0,56±0,08*, ^Δ
Содержание ДК (ед.опт.пл/мг)	0,24±0,04	0,27±0,09	0,40±0,08*	0,19±0,03 ^Δ
Содержание ТК (ед.опт.пл/мг)	0,58±0,24	0,47±0,17	0,88±0,11*	0,27±0,05*, ^Δ
Содержание ОШ (ед.опт.пл/мг)	50,17±4,87	47,24±3,21	61,21±2,46	50,50±7,02

Примечание: среднее ± SEM, «*» – статистически значимые различия по отношению к группе I, $p \leq 0,05$; «^Δ» – статистически значимые различия между группами после криоконсервации (группа III и группа IV), $p \leq 0,05$.

Использование молекулярного водорода для коррекции качества спермопродукции после криоконсервации дало положительные результаты. Отмечено снижение концентрации первичных и промежуточных продуктов ПОЛ - МДА, диеновых, триеновых конъюгатов ($p \leq 0,05$) (табл. 1).

Повышение концентрации продуктов перекисного окисления липидов в сперматозоидах возможно связано с изменением антиоксидантной защиты

в клетках. Поэтому следующим этапом в нашей работе было исследование активности супероксиддисмутазы и каталазы в сперматозоидах (табл. 2). Супероксиддисмутаза и каталаза являются важнейшими ферменты антиоксидантной защиты клеток. Супероксиддисмутаза – фермент, играющий ключевую роль в утилизации супероксидных анион-радикалов. Каталаза катализирует двухэлектронное восстановление пероксида водорода до H_2O . Доказано, активность данных ферментов в сперматозоидах положительно коррелирует с концентрацией и подвижностью половых клеток [12,14].

Было отмечено значительное увеличение активности СОД и каталазы в сперматозоидах после воздействия молекулярным водородом и криоконсервации (группа IV). Активность СОД и каталазы увеличилась на 42 % и 74 % соответственно ($p \leq 0,05$) относительно нативных сперматозоидов (группа I). Повышенное содержание супероксиддисмутазы в сперматозоидах после криоконсервации (группа III) на 28 % вероятно является компенсаторной реакцией на усиление процессов перекисного окисления липидов в клетках, поскольку этот фермент первым вступает в процесс антиоксидантной защиты (табл. 2).

Таблица 2.

Влияние молекулярного водорода на антиоксидантную систему в сперматозоидах быков

Активность фермента, (Е, мкат)	Нативные сперматозоиды, (группа I)	Нативные сперматозоиды после воздействия молекулярным водородом, (группа II)	Сперматозоиды после криоконсервации, (группа III)	Сперматозоиды после воздействия молекулярным водородом и криоконсервации, (группа IV)
Каталаза, мкат/мг	9,03±0,76	8,76±0,54	8,48±0,82	15,78±0,71 [*] , ^Δ
СОД, ед.акт./мг белка	0,61±0,08	0,56±0,09	0,78±0,09 [*]	0,87±0,08 [*] , ^Δ

Примечание: среднее ± SEM, «*» – статистически значимые различия по отношению к группе I, $p \leq 0,05$; «Δ» – статистически значимые различия между группами после криоконсервации (группа III и группа IV), $p \leq 0,05$.

Полученные в ходе исследования результаты позволяют считать, что клеточные мембраны сперматозоидов при заморозке претерпевают значительные структурные изменения. Перекисные продукты могут оказать негативное влияние на подвижность и приводить к потере оплодотворяющей способности сперматозоидов.

Было установлено, что молекулярный водород предотвращает нарастание метаболических нарушений, а именно повышается активность каталазы и супероксиддисмутазы в сперматозоидах, снижается содержание диеновых и триеновых конъюгатов, малонового диальдегида в сперматозоидах. Таким образом, молекулярный водород оказывает положительный эффект на репродуктивные клетки – повышает антиокислительную активность и снижает липопероксидацию.

Заключение

Криоконсервация является обязательным этапом в биотехнике воспроизводства крупного рогатого скота. Сперма, не пригодная реализации, подлежит выбраковке ещё до процедуры глубокого замораживания, однако снижение качества спермы происходит после деконсервирования.

При криоконсервации спермы происходит накопление продуктов перекисного окисления липидов, в частности, малонового диальдегида, диеновых и триеновых конъюгатов. При криоконсервации спермы антиоксидантная защита клеток ослабевает, что приводит к деструкции фосфолипидов и мембранных белков, нарушениям функций мембран сперматозоидов и, как следствие, невозможности сперматозоидов полноценно выполнять свои функции [20].

Молекулярный водород способен легко проникать через клеточные барьеры, осуществлять нейтрализацию токсичных радикалов кислорода, усиливать активность антиоксидантных ферментов, выполняя цитопротекторное действие.

Предполагаемый механизм действия молекулярного водорода заключается в комплексном влиянии как на снижение продуктов свободнорадикального окисления, так и на экспрессию генов, отвечающих за антиоксидантный статус клеток организма. Все это способствует нивелированию негативного влияния оксидативного стресса на целостность структуры ДНК сперматозоидов [11, 13].

Таким образом, молекулярный водород имеет потенциал в качестве нового и эффективного антиоксиданта, широкое использование которого возможно в ветеринарных целях.

Заключение комитета по этике. Исследование проводили в соответствии с требованиями Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в научных целях (ETS №123, Страсбург, 1986) и Приказа МЗ РФ № 708 Н от 28 августа 2010 г.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00205.

Список литературы

1. Антонов М.П., Жигулина В.В. Влияние биохимических изменений липидов сперматозоидов и спермоплазмы на фертильность эякулята // Верхневолжский медицинский журнал. 2012. №3. С. 47–50.
2. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
3. Волкова Н.П., Ланкин В.З. Изменение активности антиокислительных ферментов в процессе сперматогенеза // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1984. №11. С. 546–548.
4. Дерюгина А.В., Иващенко М.Н., Людяной М.С. Оценка резистентности мембран сперматозоидов быков в процессе долгосрочного хранения // Естественные и технические науки. 2022. Т. 1 (164). С. 107-109.
5. Жабин С.Г., Артифесков С.Б., Нагайцев В.М. Современные представления о созревании сперматозоидов в придатке яичка // Проблемы репродукции. 2010. №2. С. 66–73.
6. Рецкий М.И., Шабунин С.В., Близнецова Г.Н. Методические положения по изучению процессов свободнорадикального окисления и системы антиоксидантной защиты организма. Воронеж, 2010. 69 с.
7. Сирота Т.В. Стандартизация и регуляция скорости супероксидгенерирующей реакции автоокисления адреналина, используемой для определения про/антиоксидантных свойств различных материалов // Биомедицинская химия. 2016. Т. 62, №6. С. 650–655.
8. Хышиктуев Б.С., Кошмелев А.А. Особенности изменений фосфолипидного состава семенной жидкости у мужчин с нарушением фертильности // Клиническая лабораторная диагностика. 2010. №7. С. 27–30.
9. Хышиктуев Б.С., Хышиктуева Н.А., Иванов В.Н. Методы определения продуктов перекисного окисления липидов в конденсате выдыхаемого воздуха и их клиническое значение // Клиническая лабораторная диагностика. 1996. №3. С. 13-15.
10. Aitken R.J. et al. Proteomic changes in mammalian spermatozoa during epididymal maturation / R.J. Aitken, B. Nixon, M. Lin, A.J. Koppers, Y.H. Lee, M.A. Baker // Assia J. Androlog. 2007. Vol. 9, №4. P. 16-18.
11. Artamonov M.Y. et al. Molecular Hydrogen: From Molecular Effects to Stem Cells Management and Tissue Regeneration / M.Y. Artamonov, A.K. Martuse-

- vich, F.A. Pyatakovich, I.A. Minenko, S.V. Dlin, T.W. LeBaron // *Antioxidants*. 2023. Vol. 12, №3. P. 636. <https://doi.org/10.3390/antiox12030636>
12. Hong Y. et al. Survey of Human Papillomavirus Types and Their Vertical Transmission in Pregnant Women / Y. Hong, S.O. Li, Y.L. Hu, Z.Q. Wang // *BMC Infect Dis*. 2013. №13. P. 109. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-13-109>
13. Iida A. et al. The clinical application of hydrogen as a medical treatment / A. Iida, N. Nosaka, T. Yumoto, E. Knaup, H. Naito, C. Nishiyama // *Acta Med Okayama*. 2016. Vol. 70 (5). P. 331-337.
14. Koskimaa H.M. et al. Human Papillomavirus Genotypes Present in the Oral Mucosa of Newborns and Their Concordance with Maternal Cervical Human Papillomavirus Genotypes / H.M. Koskimaa, T. Waterboer, M. Pawlita, S. Grénman, K. Syrjänen, S. Syrjänen // *J Pediatr*. 2012. Vol. 160. №5. P. 837-843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.10.027>
15. Nicolson G.L. et al. Clinical effects of hydrogen administration: from animal and human diseases to exercise medicine / G.L. Nicolson, G.F. de Mattos, R. Settineri, C. Costa, R. Ellithorpe, S. Rosenblatt, J. La Valle // *International Journal of Clinical Medicine*. 2016. Vol. 7(1). P. 32-76. <http://dx.doi.org/10.4236/ijcm.2016.71005>
16. Nongbua T. Adding bovine seminal plasma prior to freezing improves post-thaw bull sperm kinematics but decreases mitochondrial activity/ T. Nongbua // *Systems biology in reproductive medicine*. 2018. Vol. 64. №3. P. 183-190.
17. Ohta S. Recent progress toward hydrogen medicine: potential of molecular hydrogen for preventive and therapeutic application // *Current Pharmaceutical Design*. 2017. Vol. 17 (22). P. 2241-2252.
18. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine // *Pharmacology & Therapeutics*. 2014. Vol. 144 (1). P. 1-11.
19. Ohta S. Molecular hydrogen as a novel antioxidant: Overview of the advantages of hydrogen for medical applications // *Methods in Enzymology*. 2015. Vol. 555. P. 289-317.
20. Ollero M. et al. Variation in docosahexaenoic acid content in subsets of human spermatozoa at different stages of maturation: implications for sperm lipoperoxidative damage / M. Ollero, R.D. Powers, J.G. Alvarez // *Mol. Reprod. Devel*. 2000. Vol. 55. P. 326-334.
21. Pahune P.P. et al. The total antioxidant power of semen and its correlation with the fertility potential of human male subjects / P.P. Pahune, A.R. Choudhari, P.A. Muley // *J. Clin. Diagn. Res*. 2013. Vol. 7(6). P. 991-995.
22. Paudel B. et al. Sperm capacitation is associated with phosphorylation of the testis-specific radial spoke protein Rsph6a / B. Paudel, M.G. Gervasi, J. Porambo, D. Caraballo // *Biology of Reproduction*. 2018. Vol. 100. №2. P. 440-454.

References

1. Antonov M.P. et al. Vliyanie biokhimicheskikh izmeneniy lipidov spermatozoidov i spermoplazmy na fertil'nost' eyakulyata [Influence of biochemical changes in sperm and seminal plasma lipids on the ejaculate fertility] / M.P. Antonov, V.V. Zhigulina. *Verkhnevolzhskiy meditsinskiy zhurnal* [Verkhnevolzhsky Medical Journal], 2012, no. 3, pp. 47-50.
2. Vladimirov Yu.A. et al. *Perekisnoe okislenie lipidov v biologicheskikh membranah* [Lipid peroxidation in biological membranes] / Yu.A. Vladimirov, A.I. Archakov. M.: Nauka Publ., 1972, 252 p.
3. Volkova N.P. et al. Izmenenie aktivnosti antiokislitel'nykh fermentov v protsesse spermatogeneza [Changes in the activity of antioxidant enzymes in spermatogenesis] / N.P. Volkova, V.Z. Lankin. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 1984, no. 11, pp. 546-548.
4. Deryugina A.V. et al. Ocenka rezistentnosti membran spermatozoidov bykov v processe dolgosrochnogo hraneniya [Assessment of membrane resistance of bull spermatozoa during long-term storage] / A.V. Deryugina, M.N. Ivashchenko, M.S. Lodyanov. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences], 2022, vol. 1, no. 164, pp. 107-109.
5. Zhabin S.G. et al. Sovremennye predstavleniya o sozrevanii spermatozoidov v pridatke yaichka [Modern views on the sperm maturation in epididymis] / S.G. Zhabin, S.B. Artifeksov, V.M. Nagaytsev. *Problemy reproduksii* [Problems of Reproduction], 2010, no. 2, pp. 66-73.
6. Retsky M.I. et al. *Metodicheskie polozeniya po izucheniyu processov slobodnoradikal'nogo okisleniya i sistemy antioksidantnoj zashchity organizma* [Methodological provisions for the study of free radical oxidation processes and the body's antioxidant defense system] / M.I. Retsky, S.V. Shabunin, G.N. Bliznetsova. Voronezh, 2010, 69 p.
7. Sirota T.V. Standartizatsiya i regulatsiya skorosti superoksidgeneriruyushchej reakcii avtookisleniya adrenalina, ispol'zuemoj dlya opredeleniya pro/antioksidantnykh svoystv razlichnykh materialov [Standardization and regulation of the rate of superoxide-generating reaction of adrenaline autoxidation, used to determine the pro/antioxidant properties of various materials]. *Biomeditsinskaya himiya* [Biomedical chemistry], 2016, vol. 62, no. 6, pp. 650-655.
8. Khyshiktuev B.S. et al. Osobennosti izmeneniy fosfolipidnogo sostava semennoy zhidkosti u muzhchin s narusheniem fertil'nosti [Particularities of changes in phospholipid composition of semen in men with fertility disorders] / B.S. Khyshiktuev, A.A. Koshmelev. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clin-

- ical laboratory diagnostics], 2010, no. 7, pp. 27-30.
9. Khyshiktuev B.S. et al. Metody opredeleniya produktov perekisnogo okisleniya lipidov v kondensate vydyhaemogo vozduha i ih klinicheskoe znachenie [Methods for determining lipid peroxidation products in exhaled air condensate and their clinical significance] / B.S. Khyshiktuev, N.A. Khyshiktueva, V.N. Ivanov. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* [Clinical laboratory diagnostics], 1996, no. 3, pp. 13-15.
 10. Aitken R.J. et al. Proteomic changes in mammalian spermatozoa during epididymal maturation / R.J. Aitken, B. Nixon, M. Lin, A.J. Koppers, Y.H. Lee, M.A. Baker. *Assia J. Androlog*, 2007, vol. 9, no. 4, pp. 16-18.
 11. Artamonov M.Y. et al. Molecular Hydrogen: From Molecular Effects to Stem Cells Management and Tissue Regeneration / M.Y. Artamonov, A.K. Martusevich, F.A. Pyatakovich, I.A. Minenko, S.V. Dlin, T.W. LeBaron. *Antioxidants*, 2023, vol. 12, no. 3, p. 636. <https://doi.org/10.3390/antiox12030636>
 12. Hong Y. et al. Survey of Human Papillomavirus Types and Their Vertical Transmission in Pregnant Women / Y. Hong, S.O. Li, Y.L. Hu, Z.Q. Wang. *BMC Infect Dis.*, 2013, no. 13, p. 109. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-13-109>
 13. Iida A. et al. The clinical application of hydrogen as a medical treatment / A. Iida, N. Nosaka, T. Yumoto, E. Knaup, H. Naito, C. Nishiyama. *Acta Med Okayama*, 2016, vol. 70 (5), pp. 331-337.
 14. Koskimaa H.M. et al. Human Papillomavirus Genotypes Present in the Oral Mucosa of Newborns and Their Concordance with Maternal Cervical Human Papillomavirus Genotypes / H.M. Koskimaa, T. Waterboer, M. Pawlita, S. Grénman, K. Syrjänen, S. Syrjänen. *J Pediatr*, 2012, vol. 160, no. 5, pp. 837-843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpeds.2011.10.027>
 15. Nicolson G.L. et al. Clinical effects of hydrogen administration: from animal and human diseases to exercise medicine / G.L. Nicolson, G.F. de Mattos, R. Settineri, C. Costa, R. Ellithorpe, S. Rosenblatt, J. La Valle. *International Journal of Clinical Medicine*, 2016, vol. 7(1), pp. 32-76. <http://dx.doi.org/10.4236/ijcm.2016.71005>
 16. Nongbua T. Adding bovine seminal plasma prior to freezing improves post-thaw bull sperm kinematics but decreases mitochondrial activity. *Systems biology in reproductive medicine*, 2018, vol. 64, no. 3, pp. 183-190.
 17. Ohta S. Recent progress toward hydrogen medicine: potential of molecular hydrogen for preventive and therapeutic application. *Current Pharmaceutical Design*, 2017, vol. 17 (22), pp. 2241-2252.
 18. Ohta S. Molecular hydrogen as a preventive and therapeutic medical gas: initiation, development and potential of hydrogen medicine. *Pharmacology & Therapeutics*, 2014, vol. 144 (1), pp. 1-11.

19. Ohta S. Molecular hydrogen as a novel antioxidant: Overview of the advantages of hydrogen for medical applications. *Methods in Enzymology*, 2015, vol. 555, pp. 289-317.
20. Ollero M. et al. Variation in docosahexaenoic acid content in subsets of human spermatozoa at different stages of maturation: implications for sperm lipoper-oxidative damage / M. Ollero, R.D. Powers, J.G. Alvarez. *Mol. Reprod. Devel.*, 2000, vol. 55, pp. 326-334.
21. Pahune P.P. et al. The total antioxidant power of semen and its correlation with the fertility potential of human male subjects / P.P. Pahune, A.R. Choudhari, P.A. Muley. *J. Clin. Diagn. Res.*, 2013, vol. 7(6), pp. 991-995.
22. Paudel B. et al. Sperm capacitation is associated with phosphorylation of the testis-specific radial spoke protein Rspha / B. Paudel, M.G. Gervasi, J. Porambo, D. Caraballo. *Biology of Reproduction*, 2018, vol. 100, no. 2, pp. 440-454.

ВКЛАД АВТОРОВ

Ивашенко М.Н., Дерюгина А.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Ермохина О.Н., Белов А.А., Латушко М.И., Метелин В.Б., Игнатьев П.С., Ерзутов А.И.: сбор и анализ данных, статистическая обработка полученных результатов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Marina N. Ivashchenko, Anna V. Deryugina: development of the concept of scientific work, drafting of the manuscript.

Olga N. Ermokhina, Andrey A. Belov, Mikhail I. Latushko, Vladislav B. Metelin, Pavel S. Ignatiev, Alexey I. Erzutov: data collection and analysis, statistical processing.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ивашенко Марина Николаевна, кандидат биологических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»
пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
kafedra2577@mail.ru

Дерюгина Анна Вячеславовна, доктор биологических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследователь-

ский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского”

*пр. Гагарина, 23, г. Нижний Новгород, 603022, Российская Федерация
deryugina@ibbm.unn.ru*

Ермохина Ольга Николаевна, магистрант

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»

*пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
olya.ermoxina@list.ru*

Игнатьев Павел Сергеевич, кандидат физико-математических наук

Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова

*ул. Восточная, 33 Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация
ignasha2000@yandex.ru*

Латушко Михаил Иванович, кандидат технических наук

Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова

*ул. Восточная, 33 Б, г. Екатеринбург, 620100, Российская Федерация
ancord.m@yandex.ru*

Метелин Владислав Борисович, кандидат биологических наук

Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»

*ул. Щепкина 61/2, г. Москва, 129110, Российская Федерация
verrv01@gmail.com*

Белов Андрей Александрович, кандидат биологических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»

*пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
andrey.raven@gmail.com*

Ерзутов Алексей Иванович, аспирант

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет»

*пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, 603107, Российская Федерация
aerzutov@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Marina N. Ivashchenko, Cand. of Bio. Sc., Associate Professor

*Nizhny Novgorod State Agrotechnological University
97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation
kafedra2577@mail.ru
SPIN-code: 8510-8676
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-8518>*

Anna V. Deryugina, Dr. of Bio. Sc., Associate Professor

*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation
deryugina@ibbm.unn.ru
SPIN-code: 7974-4600
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8812-8559>*

Olga N. Ermokhina, Master's student

*National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603022, Russian Federation
olya.ermoxina@list.ru
SPIN-code: 7974-4600
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7556-4648>*

Pavel S. Ignatiev, Cand. of Physical and Mathematical Sc.

*Production Association "Ural Optical and Mechanical Plant" named
after E.S. Yalamov
33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
ignasha2000@yandex.ru
SPIN-code: 7956-1778
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5075-7034>*

Mikhail I. Latushko, Candidate of Technical Sciences

*Production Association "Ural Optical and Mechanical Plant" named
after E.S. Yalamov
33B, Vostochnaya Str., Yekaterinburg, 620100, Russian Federation
ancord.m@yandex.ru*

Vladislav B. Metelin, Cand. of Bio. Sc.

Moscow Regional Research Clinical Institute named after M.F. Vladimirovsky

61/2, Shchepkina Str., Moscow, 129110, Russian Federation

verrv01@gmail.com

SPIN-code: 6277-6230

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0600-5729>

Andrey A. Belov, Cand. of Bio. Sc., Associate Professor

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University

97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation

andrey.raven@gmail.com

SPIN-code: 1394-7694

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4869-5054>

Alexey I. Erzutov, Graduate Student

Nizhny Novgorod State Agrotechnological University

97, Gagarin Ave., Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation

aerzutov@mail.ru

SPIN-code: 5401-2678

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6175-4820>

Поступила 27.11.2023

После рецензирования 25.12.2023

Принята 30.12.2023

Received 27.11.2023

Revised 25.12.2023

Accepted 30.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-773

УДК 612.8:615.2



Научная статья

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРАКТА SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI НА СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ «СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА

В.В. Уранова, Н.А. Ломтева, Е.И. Кондратенко, С.В. Комаров

Обоснование. Изучение влияния «социального» стресса на биогенные элементы, участвующие в минеральном обмене и играющие важную роль в жизнедеятельности организма человека, поиск средств, обладающих нивелирующим действием на их содержание, является актуальной проблемой современной фармакологической науки.

Цель. Изучить изменение содержания биогенных элементов в ходе минерального обмена в сыворотке крови крыс в условиях «социального» стресса и под воздействием экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проведены на 96 половозрелых самцах нелинейных крыс массой $295 \pm 12,17$ г. в возрасте 7-9 месяцев. Первый этап эксперимента предполагал изучение показателей минерального обмена в норме. Особям первой группы животных вводили воду для инъекций; второй – экстракт *Scutellaria baicalensis* Georgi (100 мг/кг/сут); третьей – лекарственный препарат (ЛП) «Мебикар®» (25 мг/кг/сут) и четвертой – ЛП «Фезам®» (45 мг/кг/сут). На втором этапе эксперимента воспроизводили «социальный» стресс на животных, в группах которых были определены агрессоры и жертвы после формирования межсамцовых конфронтаций в течении 21 дня. Данные особи получали растворы, использованные ранее (I этап), на протяжении двух недель. Содержание ионов натрия и калия в плазме определяли методом пламенной фотометрии; уровня общего кальция – фотометрическим методом; концентрацию фосфора и магния – биохимическим анализом; количество хлорид-ионов – меркуриметрическим титрованием. Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета «Statistica 10».

Результаты. Установлено, что введение экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi, ЛП «Мебикар®» и «Фезам®» в норме не влияет на содержание ми-

неральных веществ в плазме. Показано, что моделирование «социального» стресса у контрольных животных, имеющих как доминантный, так и субмиссивный тип характера, способствует достоверному уменьшению концентрации ионов кальция, фосфора и магния сравнительно с особями интактной группы. Доказано статистически значимое различие в содержании хлорид-ионов только в случае группы жертв. Получены соразмерные значения показателей минерального обмена группы, получавшей извлечение в условиях стресса, с первым этапом эксперимента в норме как интактных, так экспериментальных животных, вследствие чего обосновано нивелирующее действие экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi. Определены статистически значимые различия в концентрации ионов магния в группе жертв, подвергающихся «социальному» стрессу под влиянием типа поведения.

Заключение. Анализ полученных данных формирует представление о минеральном составе плазмы крови в норме и в условиях «социального» стресса. Результаты исследования характеризуют экстракт *Scutellaria baicalensis* Georgi как средство, обладающее нивелирующим действием в условиях тревожно-депрессивного состояния, вызванного межсамцовыми конфронтациями.

Ключевые слова: минеральный обмен; *Scutellaria baicalensis* Georgi; экстракт; «социальный» стресс; биологически активные вещества; биогенные элементы; растительное сырье; агрессоры; жертвы

Для цитирования. Уранова В.В., Ломтева Н.А., Кондратенко Е.И., Комаров С.В. Изучение действия экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi на содержание минеральных веществ в сыворотке крови крыс в условиях «социального» стресса // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 149-166. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-773

Original article

STUDY OF THE EFFECT OF THE SCUTELLARIA BAICALENSIS GEORGI EXTRACT ON THE CONTENT OF MINERALS IN THE BLOOD SERUM OF RATS UNDER “SOCIAL” STRESS

V.V. Uranova, N.A. Lomteva, E.I. Kondratenko, S.V. Komarov

Background. The study of the influence of “social” stress on biogenic elements involved in mineral metabolism and playing an important role in the life of

the human body, the search for agents that have a leveling effect on their content, is an urgent problem of modern pharmacological science.

Purpose. *To study changes in the content of biogenic elements in the course of mineral metabolism in the blood serum of rats under conditions of “social” stress and under the influence of *Scutellaria baicalensis* Georgi extract.*

Materials and methods. *Experimental studies were carried out on 96 mature male non-linear rats weighing 295 ± 12.17 g at the age of 7-9 months. The first stage of the experiment involved the study of mineral metabolism in the norm. Individuals of the first group of animals were injected with water; the second was an extract of *Scutellaria baicalensis* Georgi (100 mg/kg/day); the third – medicinal product (MP) “Mebicar®” (25 mg/kg/day) and the fourth - MP “Phezam®” (45 mg/kg/day). At the second stage of the experiment, “social” stress was reproduced on animals, in groups of which aggressors and victims were identified after the formation of inter-male confrontations for 21 days. These individuals received the solutions used earlier (stage I) for two weeks. The content of sodium and potassium ions in plasma was determined by flame photometry; the level of total calcium - by the photometric method; the concentration of phosphorus and magnesium - by biochemical analysis; the amount of chloride ions - by mercurimetric titration. Statistical data processing was performed using the Statistica 10 package.*

Results. *It was found that the introduction of the extract of *Scutellaria baicalensis* Georgi, MP “Mebicar®” and “Phezam®” normally does not affect the content of minerals in plasma. It has been shown that modeling of “social” stress in control animals with both dominant and submissive types of character contributes to a significant decrease in the concentration of calcium, phosphorus and magnesium ions compared with individuals of the intact group. A statistically significant difference in the content of chloride ions was proved only in the case of a group of victims. Comparable values of mineral metabolism parameters of the group that received the extract under stress conditions were obtained with the first stage of the experiment in the norm of both intact and experimental animals, as a result of which the leveling effect of the extract of *Scutellaria baicalensis* Georgi was substantiated. Statistically significant differences in the concentration of magnesium ions in the group of victims exposed to “social” stress under the influence of the type of behavior were determined.*

Conclusion. *The analysis of the data obtained forms an idea of the mineral composition of blood plasma in normal conditions and under conditions of “social” stress. The results of the study characterize the extract of *Scutellaria baicalensis* Georgi as a remedy that has a leveling effect in conditions of anxiety-depressive state caused by inter-male confrontations.*

Keywords: mineral metabolism; *Scutellaria baicalensis* Georgi; extract; “social” stress; biologically active substances; nutrients; plant materials; aggressors; victims

For citation. Uranova V. V., Lomteva N. A., Kondratenko E. I., Komarov S. V. Study of the Effect of *Scutellaria baicalensis* Georgi Extract on the Content of Mineral Substances in the Blood Serum of Rats Under Conditions of “Social” Stress. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 149-166. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-773

Введение

Данные, полученные отечественными и зарубежными учеными, свидетельствуют о повышении уровня патологических состояний, этиологическим фактором которых является стресс [10, с. 42-43]. Доказано, что нейродегенеративные изменения, происходящие в системах органов и приводящие к нарушениям гормонального и минерального обмена, являются результатом их воздействия на организм [4, с. 667]. Показано, что характерными особенностями хронического стресса, помимо психологических и психосоматических осложнений, является дезадаптация организма к условиям окружающей среды и снижение содержания эссенциальных биологически активных веществ [7, с. 25-26].

Известно, что воздействие стресса приводит к мобилизации сил организма за счет функционирования нейроэндокринной системы, которая позволяет расширить диапазон физиологических способностей человека и противостоять иным поражающим факторам [17, с. 12-14]. Обосновано неравномерное перераспределение крови между головным мозгом и мышцами при участии эндокринной системы, вследствие чего происходит существенное снижение кровоснабжения внутренних органов, приводящее к функциональным патологиям, а также ускорению выброса глюкозы и жирных кислот в кровоток и понижению скорости метаболических процессов, одним из которых является обмен минеральными веществами [20, с. 452; 28, с. 85]. Показано, что всасывание, усвоение, распределение, превращение и выделение из организма неорганических соединений играет важную роль при протекании физиологических процессов [21, с. 72; 24, с. 689]. Описано поддержание на должном уровне водно-энергетического баланса клеточных структур в ходе минерального обмена, содержания микроэлементов в крови человека и ее биохимических параметров за счет регуляции осмотического давления, ее кислотности и щелочности [1, с. 156-157; 5, с. 23-24].

Наличие необходимого количества макро- и микронутриентов считается основой физиологического здоровья организма, выполняя пластическую, энергетическую и каталитическую функции [2, с. 45-46]. Основными представителями группы микроэлементов являются: калий, магний, натрий, фосфор, кальций и хлор [3, с. 183-185]. Известно, что они входят в состав межклеточной жидкости и различных структур клетки, контролируя ее структурную целостность и принимая участие в процессах саморегуляции организма [7, с. 24-25; 12, с. 156]. Обоснована значимая роль макро- и микроэлементов в обеспечении протекания биохимических процессов, опосредующих функционирование органов и систем органов организма [16, с. 82; 18, с.194, 19, с. 126, 23, с. 10-12, 25, с. 65-66].

Показано, что отличительной особенностью минерального обмена веществ в организме является невозможность их синтеза в организме человека. Определены их источники в виде биологически активных (БАД) или продуктов пищевого рациона [22, с. 1023]. Однако использование добавок, содержащих минеральные компоненты, может вызвать как потенцирующий, так и ингибирующий эффекты, конечный результат которых проявляется в ходе протекания вторичных опосредованных реакций в органах пищеварения, гипоталамусе и центральной нервной системе вследствие интеграции клеток нейрогуморальной регуляцией. Описаны механизмы действия БАД, которые оказывают метаболическое и гомеостатическое действие на организм человека. Отмечается возникновение побочных эффектов при приеме растительных добавок в виде их воздействия на желудочно-кишечный тракт [26, с. 79-80]. Обоснована необходимость изучения не только минерального состава сырья, используемого в качестве источника микроэлементов, но и причины и природы пусковых механизмов, действующих на состояние клетки [13, с. 67-68].

На сегодняшний день предпочтение отдается лекарственным средствам, на основе лекарственного растительного сырья и натуральным добавкам к пище, как объектам богатым микроэлементами и минимально оказывающим побочные эффекты на организм человека. Поиск новых источников биогенных элементов является перспективным направлением медико-биологических наук [4, с. 667; 8, с. 96-98].

Большой интерес исследователей направлен на изучение представителей семейства яснотковых (*Lamiaceae*) рода шлемник (*Scutellaria*), а именно шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*). Уникальный фитохимический состав данного растения, включающий смоляные соединения, биогенные элементы, полифенольные вещества, делает его перспективным

объектом изучения при поиске веществ, проявляющих анксиолитическое и нейропротективное действие [11, с. 30-33; 27, с. 14-15]. Установлено, что БАВ, содержащиеся в растении, проявляют тонизирующее, седативное, антиоксидантное, иммуностропное, антибактериальное и нейропротекторное действие [14, с. 38; 26, с. 79-80]. Анализ литературных данных свидетельствует о наибольшем содержании БАВ в подземной части *Scutellaria baicalensis* Georgi, в связи с чем она используется для приготовления настоев, отваров и экстрактов [9, с. 88; 15, с. 90-92]. Экстракт, полученный из корней шлемника байкальского, использовали в качестве нивелирующего агента для изучения изменения содержания биогенных элементов в сыворотке крови крыс при действии «социального» стресса.

Цель работы

Изучить изменение содержания биогенных элементов в ходе минерального обмена в сыворотке крови крыс в условиях «социального» стресса и под воздействием экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на 96 половозрелых самцах нелинейных крыс массой $295 \pm 12,17$ г. в возрасте 7-9 месяцев. Животные в эксперименте были разделены на группы, которые участвовали в двух этапах – норма и стресс. Все проводимые манипуляции с животными выполняли согласно с Межгосударственным стандартом «Принципы надлежащей лабораторной практики» (ГОСТ 33044-2014). Первый этап эксперимента предполагал введение растворов внутривенно с помощью зонда один раз в день на протяжении 14 дней животными четырех сформированных групп, которые находились в условиях отсутствия стресса. В качестве препаратов сравнения, проявляющих анксиолитический и нейропротективный эффект, использовали «Мебикар®» (Татхимфармпрепараты АО, Россия) и «Фезам®» (Балканфарма Дупница АД, Болгария). Представителям первой группы животных вводили воду для инъекций (Гротекс ООО, Россия); второй – экстракт *Scutellaria baicalensis* Georgi (100 мг/кг/сут); третьей – ЛП «Мебикар®» (25 мг/кг/сут) и четвертой – ЛП «Фезам®» (45 мг/кг/сут). На втором этапе эксперимента воспроизводили «социальный» стресс на животных, в группах которых были определены агрессоры и жертвы после формирования межсамцовых конфронтаций в течении 21 дня. Данные особи получали растворы, использованные ранее (I этап), на протяжении двух недель [29, с. 224-230].

Подземную часть шлемника байкальского, культивируемого в Астраханской области, использовали для изготовления лекарственной формы в виде экстракта методом мацерации [6, с. 1980-1986]. Устранение этилового спирта из лекарственной формы проводили, используя ротационный испаритель (Hei-VAP Expert Control, Германия).

В качестве объекта исследования использовали плазму крови животных, полученную методом декапитации при предварительном действии эфирного наркоза. Сбор крови осуществлялся в стеклянные центрифужные пробирки, стенки которых были обработаны антикоагулянтом («Гепарин», раствор для внутривенного и подкожного введения, «Московский Эндокринный Завод», Россия), после чего кровь центрифугировали и отбирали плазму, которую применяли для дальнейшего исследования содержания минеральных веществ.

Концентрацию ионов натрия и калия в плазме определяли методом пламенной фотометрии (BWB-XP Performance Plus, Великобритания). Анализ уровня общего кальция выполняли, используя фотометрический метод (спектрофотометр ПЭ-5400УФ, Россия), в основе которого лежит реакция с глиоксаль-бис-(2-оксанилом), тогда как концентрацию таких элементов как фосфор и магний устанавливали в ходе биохимического анализа (анализатор «BS-200E», Китай). Количество хлорид-ионов рассчитывали объемным методом (меркуриметрия) в присутствии индикатора дифенилкарбазона.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием пакета «Statistica 10». Вычисляли среднее арифметическое значение (M), ошибку среднего арифметического значения (m) и представляли в виде доверительного интервала среднего $M \pm m$. Различия между показателями в группах оценивали с помощью непараметрического анализа сравнения совокупностей по количественным признакам критерия Манна-Уитни. Различия между показателями групп признавались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Данные первого этапа анализа свидетельствуют об отсутствии статистически значимых различий биохимических показателей минерального обмена у групп экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi, ЛП «Мебикар®», ЛП «Фезам®» относительно интактной группы. Установлена тенденция к увеличению концентрации ионов натрия в плазме крови животных, которые были подвержены «социальному» стрессу, относительно

особей, пребывавших без стрессового воздействия, однако, статистически значимых результатов не выявлено (табл. 1). Доказано отсутствие достоверных различий в содержании ионов калия у особей интактной группы сравнительно с контрольной. Показаны статистически значимые различия контрольной группе в количестве кальция, фосфора и магния, содержащихся в крови животных, относительно интактных особей. Определено уменьшение в 1,2 раза ($p < 0,05$) концентрации ионов кальция в плазме у особей контрольной группы, имеющих доминантный характер поведения, и снижение в 1,3 раза ($p < 0,05$) у животных субмиссивного типа относительно интактной группы. Зафиксировано уменьшение содержания фосфора в анализируемом биологическом материале в 1,3 раза ($p < 0,05$) в контрольной группе животных-агрессоров и 1,4 раза – особей-жертв, в сравнении группой, подверженной влиянию «социального» стресса. Установлено, что действие межсамцовых конфронтаций в группе контроля привело к снижению количества магния в плазме крови в 1,2 раза ($p < 0,05$) у особей, имеющих доминантное поведение, и 1,4 раза ($p < 0,05$) у животных с субмиссивным типом поведения относительно интактной группы. Выявили, что концентрация хлора в анализируемых образцах статистически значимо изменилась только для животных, которые имели субмиссивный тип поведения в 1,2 раза ($p < 0,05$) (контрольная группа) относительно той же группы в норме. Вместе с тем наблюдали достоверные различия в количестве магния: уменьшение его концентрации в 1,2 раза ($p < 0,05$) для агрессоров относительно жертв.

Таблица 1.

**Параметры минерального обмена в плазме у крыс
в условиях «социального» стресса**

Группа	Показатель минерального обмена, ммоль/л					
	Na	K	Ca	P	Cl	Mg
I этап – норма						
Интактная (n=10)	135,9±8,91	4,3±0,21	2,4±0,11	1,5±0,06	98,6±5,14	0,7±0,03
Экстракт (n=10)	134,1±7,67	4,2±0,19	2,7±0,09 ☼▲	1,4±0,05 ☼▲	95,1±4,97	0,8±0,02 ☼▲
ЛП «Мебикар®» (n=10)	136,3±8,43	4,3±0,24	2,5±0,13 ☼▲	1,5±0,09 ☼▲	93,9±5,93	0,7±0,04 ☼▲
ЛП «Фезам®» (n=10)	130,4±7,99	4,2±0,28	2,5±0,14 ☼▲	1,4±0,05 ☼▲	97,7±6,03	0,7±0,02 ☼▲

II этап – «социальный» стресс						
Контрольная						
Агрессор (n=7)	141,3±9,55	4,1±0,25	2,0±0,09*	1,2±0,07*	92,6±5,53	0,6±0,02*▲
Жертвы (n=7)	150,5±9,43	4,6±0,30	1,9±0,08*	1,1±0,05*	80,9±5,01*	0,5±0,02*
Экстракт						
Агрессор (n=7)	137,1±7,23	4,3±0,19	2,6±0,08☼	1,5±0,06☼	94,0±4,29	0,7±0,02☼
Жертвы (n=7)	139,7±6,99	4,4±0,27	2,5±0,10▲	1,5±0,05▲	93,1±4,56	0,7±0,03▲
ЛП «Мебикар®»						
Агрессор (n=7)	140,5±8,21	4,0±0,29	2,4±0,07☼	1,5±0,07☼	96,7±4,83	0,7±0,04☼
Жертвы (n=7)	145,8±7,83	4,2±0,23	2,4±0,08▲	1,5±0,09▲	95,4±5,17	0,7±0,03▲
ЛП «Фезам®»						
Агрессор (n=7)	136,1±6,57	4,3±0,18	2,6±0,12☼	1,5±0,08☼	94,1±5,46	0,6±0,03
Жертвы (n=7)	137,9±6,22	4,5±0,21	2,4±0,10▲	1,4±0,07▲	91,5±4,83	0,5±0,04

Источник: «Составлено авторами»

Примечание: * - статистически значимые различия относительно интактной группы * - при $p < 0,05$. ☼ - статистически значимые различия относительно группы «социальный» стресс агрессоры ☼ - при $p < 0,05$. ▲ - статистически значимые различия относительно группы «социальный» стресс жертвы ▲ - при $p < 0,05$.

Анализ данных экспериментальных групп в норме относительно контрольной группы в стрессе продемонстрировал достоверные различия в концентрации определяемых минеральных составляющих плазмы нелинейных крыс. Сравнение данных количества кальция указало на увеличение его в отношении контрольной группы при действии стресса в 1,4 раза ($p < 0,05$) у агрессоров и жертв, получавших извлечение, соответственно; в 1,3 раза ($p < 0,05$) для особей доминантного и субмиссивного типов, которым вводили ЛП «Мебикар®» и «Фезам®». Выявили рост содержания фосфора в плазме экспериментальных животных в отношении к группе, подверженной «социальному» стрессу, в 1,2 раза ($p < 0,05$) у животных победителей и в 1,3 раза ($p < 0,05$) для побежденных, получавших экстракт и ЛП «Фезам®»; данные по особям, получавшим ЛП «Мебикар®», свидетельствуют об увеличении количества фосфора в 1,3 раза ($p < 0,05$) для агрессоров и 1,4 раза ($p < 0,05$) у жертв. Зарегистрировали рост концентрации

магния в биологическом материале относительно группы, в которой проводили развитие межсамцовых конфронтаций в 1,3 раза для доминантов и 1,6 раза для жертв, получавших экстракт шлемника байкальского, а для групп, принимавших ЛП «Мебикар®» и ЛП «Фезам®» увеличение произошло на 1,2 и 1,4 раза соответственно.

Второй этап характеризовался моделированием экспериментальной модели стресса, основанной на развитии межсамцовых конфронтаций. Показано, что введение экстракта шлемника байкальского, ЛП «Мебикар®», ЛП «Фезам®» привело к сглаживающему действию, что подтверждается изменением показателей, которые стали соразмерны с первым этапом анализа в норме. Относительно группы «социальный» стресс концентрация кальция в плазме увеличилась в 1,3 раза ($p < 0,05$) для жертв и агрессоров у группы, получавшей экстракт *Scutellaria baicalensis* Georgi; в 1,2 раза ($p < 0,05$) у особей с доминантным и субмиссивным типом поведения, принимавших ЛП «Мебикар®»; в 1,3 раза ($p < 0,05$) при внутрижелудочном введении ЛП «Фезам®» (победители и побежденные). Моделирование сенсорного контакта у особей, которые получали экстракт и ЛП, привело к достоверным отличиям в количестве фосфора, находящегося в плазме крови, относительно контрольной группы на втором этапе анализа. В группе животных, которые получали экстракт, увеличение концентрации фосфора произошло в 1,3 раза ($p < 0,05$) для доминантов и в 1,4 раза ($p < 0,05$) особей субмиссивного типа поведения. Группа, принимавшая ЛП «Мебикар®», отличалась от контрольной группы в стрессе так же увеличением содержания фосфора в исследуемом биологическом материале в 1,3 раза ($p < 0,05$) у агрессоров и в 1,4 раза ($p < 0,05$) побежденных животных. Применение ЛП «Фезам®» вызвало рост количества фосфора в 1,3 раза ($p < 0,05$) для доминантов и жертв. Статистически значимое увеличение было выявлено для концентрации магния в изучаемом биологическом материале у животных, получавших экстракт шлемника байкальского и ЛП «Мебикар®» относительно контрольной группы в условиях стресса в 1,2 раза ($p < 0,05$) особей доминантного типа и 1,4 раза ($p < 0,05$) самцов, потерпевших поражение. Анализ результатов проведенного исследования показал, что действие экстракта шлемника байкальского и препаратов сравнения привело к нормализации содержания биогенных элементов, а именно концентраций кальция и фосфора. Показано, что нивелирующий эффект, оказываемый ионом магния, статистически значим только при введении экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi и ЛП «Мебикар®». Таким образом, в ходе проведенных исследований доказано, что в условиях длительных

межсамцовых конфронтаций возникают отклонения в содержании биогенных элементов: кальция, фосфора и магния. Установлено, что действие экстракта приводит к нормализации данного патологического состояния.

Обсуждение

В проведенном исследовании было определено, что на первом этапе эксперимента, который был реализован по типу нормы, содержание показателей минерального обмена статистически значимо не различались относительно группы интактных животных. Таким образом, установили, что получение особями экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi, ЛП «Мебикар®» и «Фезам®» не влияют на нормальные значения минеральных веществ в плазме крови, что является важным, поскольку соблюдение баланса биогенных элементов характеризует нормальную жизнедеятельность организма, тогда как его нарушение приводит к патологическим состояниям.

Исследование показало, что при моделировании патологического состояния в виде «социального» стресса у контрольных животных, имеющих как доминантный, так и субмиссивный тип характера, происходило достоверное уменьшение концентрации ионов кальция, фосфора и магния относительно интактной группы. Статистически значимое различие в содержании хлорид-ионов было характерно только для особей – жертв.

Установлено, что введение экстракта *Scutellaria baicalensis* Georgi, ЛП «Мебикар®» и ЛП «Фезам®» привело к нивелирующему эффекту, что доказывается соразмерными значениями показателей минерального обмена с первым этапом эксперимента в норме. Определено, что стресс, имеющий природу межсамцовых конфронтаций, и применение ЛП, а также экстракта шлемника байкальского значимо не влияет на концентрации ионов натрия и калия. Следует отметить, что оценка влияния типа поведения особей имела статистически значимые различия относительно группы «социальный» стресс жертвы для ионов магния.

Заключение

Современное лечение стресса включает в себя не только лекарственную терапию и психологическую помощь, но и использование профилактической терапии, предполагающей применение витаминов, биологически активных добавок к пище, а также коррекцию рациона питания. Биогенные элементы – кальций, магний, фосфор, калий и натрий определяют постоянство внутренней среды организма, регулируя водно-солевой об-

мен и метаболические процессы. Использование в качестве пищевой добавки растительного сырья позволяет обеспечить организм необходимым количеством минеральных и органических элементов и положительно воздействовать на все структуры и системы. Изучение экстракта, изготовленного на основе корней шлемника байкальского, позволило установить его нивелирующее действие в условиях тревожно-депрессивного состояния, вызванного межсамцовыми конфронтациями, как перспективного растительного объекта, который может быть рекомендован для регуляции минерального обмена в организме человека.

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

Список литературы

1. Барменкова А. В. Показатели липидного обмена и минеральная плотность костной ткани у женщин с ревматоидным артритом / А. В. Барменкова, О. Ф. Калев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2006. № 7-1. С. 156-158.
2. Витамин Д и показатели минерального обмена после родов при применении профилактических доз холекальциферола / Т. В. Новикова, И. Е. Зазерская, Л. В. Кузнецова [и др.] // Журнал акушерства и женских болезней. 2019. Т. 68, № 5. С. 45-53. <https://doi.org/10.17816/JOWD68545-53>
3. Влияние ацизола на содержание биоэлементов в плазме крови, паренхиматозных органах и головном мозге крыс / А. Ф. Якимовский, И. И. Шантырь, М. А. Власенко [и др.] // Биомедицинская химия. 2018. Т. 64, № 2. С. 183-187. <https://doi.org/10.18097/PBMC20186402183>
4. Влияние сухого экстракта из корней шлемника Байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) на развитие окислительного стресса, вызванного циклофосфаном / Потапова А. А., Доркина Е. Г., Сергеева Е. О., Саджая Л. А. // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 667.
5. Гасанова А. Г. Исследование показателей минерального обмена у больных с дегенеративно-дистрофическими поражениями суставов / А. Г. Гасанова, Е. Л. Матвеева, Е. С. Спиркина // Клиническая лабораторная диагностика. 2015. Т. 60, № 12. С. 23-25.
6. Государственная фармакопея XIV издание. 2018. <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (дата обращения 22.11.2022).
7. Динамика осмолярности и электролитного состава плазмы крови у больных с травматическим шоком при проведении различных вариантов ин-

- фузионной терапии / А. О. Гирш, М. М. Стуканов, С. В. Черненко [и др.] // Политравма. 2016. № 1. С. 24-32.
8. Дудецкая Н. А. Состав и содержание фенольных соединений в надземной части *Scutellaria galericulata* (Lamiaceae) / Дудецкая Н. А., Теслов Л. С., Сипкина Н. Ю. // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47, № 4. С. 95-104.
 9. Изучение антиоксидантного действия сухого экстракта шлемника Байкальского / Потапова А. А., Кобин А. А., Доркина Е. Г. [и др.] // Фармация и фармакология. 2015. №1. С. 87-88.
 10. Изучение влияния экстракта *Astragalus physodes* L. на психоэмоциональное состояние животных в условиях «социального» стресса / Мурталиева В. Х., Цибизова А. А., Сергалиева М. У. [и др.] // Дальневосточный медицинский журнал. 2022. № 3. С. 40-46. <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2022-3-7>
 11. Исследование содержания физиологически активных флавонов в культурах *in vitro* шлемника байкальского (*Scutellaria baicalensis* Georgi) / Олина А. В., Соловьева А. И., Соловченко А. Е. [и др.] // Биотехнология. 2017. Т. 33. № 3. С. 29-37. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2017-33-3-29-37>
 12. Келейников С. Б. Влияние мексидола и альфа-токоферола ацетата на показатели липидного, белкового и минерального обмена при экспериментальной гиперлипидемии // Медицинский альманах. 2008. № S. С. 156-157.
 13. Маняхин А. Ю. Биологическая активность сухого экстракта шлемника Байкальского / Маняхин А. Ю., Зорикова С. П., Зорикова О. Г. // Тихоокеанский медицинский журнал. 2010. № 2(40). С. 66-69.
 14. Модулирующие эффекты препаратов шлемника байкальского на реакции эритронов в условиях невротических воздействий / А. М. Дыгай, Н. И. Суслов, Е. Г. Скурихин [и др.] // Экспериментальная и клиническая фармакология. 1998. Т. 61, № 1. С. 37-39.
 15. Оленников Д. Н. Фенольные соединения шлемника байкальского (*Scutellaria Baicalensis* Georgi) / Оленников Д. Н., Чирикова Н. К., Танхаева Л. М. // Химия растительного сырья. 2009. № 4. С. 89-98.
 16. Особенности состояния и возможность коррекции дисбаланса некоторых показателей минерального обмена больных тяжелыми формами чешуйчатого лишая / Е. А. Есипова, Л. В. Силина, В. А. Новикова, А. С. Шевелев // Успехи современного естествознания. 2006. № 5. С. 82-83.
 17. Особенности стресс-индуцированных изменений сердечного ритма, адренореактивности эритроцитов и свободнорадикальных процессов в крови на фоне стимуляции центральных нейромедиаторных систем / Курьянова Е. В., Трясучев А. В., Ступин В. О., Теплый Д. Л. // Сибирский научный медицинский журнал. 2017. Т. 37. № 1. С. 11-20.

18. Показатели минерального обмена у подростков с патологией щитовидной железы в Горном Алтае / Т. П. Маклакова, Т. В. Аппельганс, О. В. Подхомутникова, О. Н. Бойко // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2005. № 2(40). С. 193-195.
19. Регуляция транспорта натрия в клетках собирательных трубок почки мышей с мутацией Agouti yellow (Ay) / Н. С. Логвиненко, Л. Е. Каткова, Е. И. Соленов, Г. С. Батурина // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021. Т. 7, № 3. С. 124-129. <https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-18>
20. Роль окислительного стресса в патогенезе социально значимых заболеваний человека и пути его медикаментозной коррекции / Олефир Ю. В., Романов Б. К., Кулес В. Г. [и др.] // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2021. Т. 16. № 4. С. 450-455. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16109>
21. Смолева Е. О. Измерение социального стресса: анализ методик и опыта исследований // Социально-гуманитарные технологии. 2020. № 3(15). С. 70-79.
22. Содержание биоэлементов в плазме крови и тканях крыс в норме и после избыточного поступления кальция и магния с питьевой водой / С. А. Недовесова, А. В. Аношин, А. П. Козлова, Р. И. Айзман // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2019. Т. 105, № 8. С. 1021-1030. <https://doi.org/10.1134/S0869813919080090>
23. Состояние минерального обмена и минеральная плотность кости у пациентов с центральным гипогонадизмом как показатели преждевременного старения / И. А. Иловайская, Л. Б. Лазебник, В. Ю. Зекцер [и др.] // Остеопороз и остеопатии. 2015. Т. 18, № 1. С. 10-13.
24. Социальные и когнитивные нарушения у потомства после воздействия ультразвукового стресса на крыс во время беременности / Абрамова О. В., Зубков Е. А., Зоркина Я. А. [и др.] // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2019. Т. 168. № 12. С. 687-691.
25. Столповская Е. В. Оценка антиоксидантной активности комплексных соединений дигидрокверцетина с ионами биогенных металлов / Е. В. Столповская, Н. Н. Трофимова, В. А. Бабкин // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 65-70.
26. Уранова В. В. Исследование содержания важнейших макро- и микроэлементов в растительном сырье *Scutellaria baicalensis* Georgi и *Scutellaria galericulata* L., произрастающих на территории Астраханской области / Уранова В. В., Ломтева Н. А., Близняк О. В. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 5. С. 77-94. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-77-94>

27. Уранова В. В. Определение содержания тритерпеновых сапонинов растительного сырья *Scutellaria baicalensis* Georgi и *Scutellaria galericulata* L. в зависимости от возраста растения / В. В. Уранова, И. Е. Лепехина, Н. А. Ломтева // *Chemical Bulletin*. 2023. Т. 6. № 1. С. 13-20.
28. Хмель А. А. Развитие теоретических взглядов на воздействие социально-го стресса как фактора риска здоровью в начале XXI века // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 7. С. 84-88.
29. Glyprolines as modulators of immunoreactivity within conditions of “social” stress / Samotrueva M. A., Yasenyavskaya A. L., Bashkina O. A. [et al.] // *Pharmacy & Pharmacology*. 2019. Vol. 7. No 4. pp. 224-230. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2019-7-4-224-230>

References

1. Barmenkova A. V., Kalev O. F. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravooxranenie, fizicheskaya kul'tura*, 2006, no. 7-1. pp. 156-158
2. Novikova T.V., Zazerskaya I.E., Kuznetsova L.V., Shelepova E.S., Khazova E.L. *Zhurnal akusherstva i zhenskikh boleznej*, 2019, vol. 68, no. 5, pp. 45-53. <https://doi.org/10.17816/JOWD68545-53>
3. Yakimovsky A.F., Shantyr I.I., Vlasenko M.A., Yakovleva M.V., Kryzhanovskaya S.Yu. *Biomeditsinskaya ximiya*, 2018, vol. 64, no. 2, pp. 183-187. <https://doi.org/10.18097/PBMC20186402183>.
4. Potapova A. A., Dorkina E. G., Sergeeva E. O., Sadzhaya L. A. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6, p. 667.
5. Gasanova A. G., Matveeva E. L., Spirikina E. S. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, 2015, vol. 60, no. 12, pp. 23-25.
6. State Pharmacopoeia XIV edition. 2018. <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>, free (accessed 11/22/2022).
7. Girsh A. O., Stukanov M. M., Chernenko S. V., Korzhuk M. S., Stepanov S. S., Malyuk A. I. *Politravma*, 2016, no. 1, pp. 24-32.
8. Dudetskaya N. A., Teslov L. S., Sipkina N. Yu. *Rastitel'nye resursy*, 2011, vol. 47, no. 4, pp. 95-104.
9. Potapova A. A., Kobin A. A., Dorkina E. G. et al. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2015, no. 1, pp. 87-88.
10. Murtalieva V. Kh., Tsibizova A. A., Sergalieva M. U. et al. *Dal'nevostochny'j medicinskij zhurnal*, 2022, no. 3, pp. 40-46. <https://doi.org/10.35177/1994-5191-2022-3-7>
11. Olina A. V., Solov'eva A. I., Solovchenko A. E. et al. *Biotekhnologiya*, 2017, vol. 33, no. 3, pp. 29-37. <https://doi.org/10.21519/0234-2758-2017-33-3-29-37>

12. Keleinikov S. B. *Medicinskij al'manax*, 2008, no. S. pp. 156-157.
13. Manyakhin A. Yu., Zorikova S. P., Zorikova O. G. *Tikhookeanskiy meditsinskij zhurnal*, 2010, no. 2(40), pp. 66-69.
14. Dygay A. M., Suslov N. I., Skurikhin E. G. et al. *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya*, 1998, vol. 61, no. 1. pp. 37-39.
15. Olennikov D. N., Chirikova N. K., Tankhaeva L. M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2009, no. 4. pp. 89-98.
16. Esipova E. A., Silina L. V., Novikova V. A., Shevelev A. S. *Uspekhi sovremenno estestvoznaniya*, 2006, no. 5, pp. 82-83.
17. Kuryanova E. V., Tryasuchev A. V., Stupin V. O., Teplyi D. L. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskij zhurnal*, 2017, vol. 37, no. 1. pp. 11-20.
18. Maklakova T. P., Appelgans T. V., Podkhomutnikova O. V., Boyko O. N. *Byulleten Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii medicinskix nauk*, 2005. no. 2(40), pp. 193-195.
19. Logvinenko N. S., Katkova L. E., Solenov E. I., Baturina G. S. *Pisma v Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2021, vol. 7, no. 3, pp. 124-129. <https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-18>
20. Olefir Yu. V., Romanov B. K., Kukes V. G. et al. *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 450-455. <https://doi.org/10.14300/mnnc.2021.16109>
21. Smoleva E. O. *Socialno-gumanitarnye texnologii*, 2020, no. 3(15), pp. 70-79.
22. Nedovesova, S. A. Anoshin A. V., Kozlova A. P., Aizman R. I. *Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova*, 2019, vol. 105, no. 8, pp. 1021-1030. <https://doi.org/10.1134/S0869813919080090>
23. Ilovaishkaya I. A., Lazebnik L. B., Zektser V. Yu. et al. *Osteoporozy i osteopatii*, 2015, vol. 18, no. 1. pp. 10-13.
24. Abramova O. V., Zubkov E. A., Zorkina Ya. A. et al. *Byulleten eksperimentalnoj biologii i mediciny*, 2019, vol. 168, no. 12, pp. 687-691.
25. Stolpovskaya E. V., Trofimova N. N., Babkin V. A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* 2016, no. 4, pp. 65-70.
26. Uranova V. V., Lomteva N. A., Bliznyak O. V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 77-94. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-77-94>
27. Uranova V. V., Lepekhina I. E., Lomteva N. A. *Chemical Bulletin*, 2023, vol. 6, no. 1, pp. 13-20.
28. Khmel A. A. *Innovacii i investicii*, 2020, no. 7, pp. 84-88.
29. Samotrueva M. A., Yasenyavskaya A. L., Bashkina O. A. et al. *Pharmacy & Pharmacology*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 224-230. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2019-7-4-224-230>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Уранова Валерия Валерьевна, ассистент кафедры химии фармацевтического факультета

*Астраханский государственный медицинский университет
ул. Бакинская, 121, Астрахань, 414000, Российская федерация
fibi_cool@list.ru*

Ломтева Наталья Аркадьевна, и. о. заведующего кафедрой физиологии, морфологии, генетики и биомедицины, доктор биологических наук, доцент
*Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева
ул. Татищева, 20А, Астрахань, 414056, Российская федерация
molecula01@yandex.ru*

Кондратенко Елена Игоревна, декан биологического факультета, доктор биологических наук, профессор
*Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева
ул. Татищева, 20А, Астрахань, 414056, Российская федерация
condr70@mail.ru*

Комаров Степан Валерьевич, студент 6 курса лечебного факультета
*Астраханский государственный медицинский университет
ул. Бакинская, 121, Астрахань, 414000, Российская федерация
komarovs2001@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valeria V. Uranova, Assistant of the Chemistry Department at the Faculty of Pharmacy

*Astrakhan State Medical University
121, Bakinskaya Str., Astrakhan, 414000, Russian Federation
fibi_cool@list.ru
SPIN-code: 3601-7336
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2114-1286>*

Natalya A. Lomteva, Acting Head of the Department of Physiology, Morphology, Genetics and Biomedicine, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

*Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev
20A, Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russian Federation*

molecula01@yandex.ru

SPIN-code: 1629-6211

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8336-7726>

Elena I. Kondratenko, Dean of the Faculty of Biology, Doctor of Biology,
Professor

Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev

20A, Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russian Federation

condr70@mail.ru

SPIN-code: 5968-1222

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8988-5022>

Stepan V. Komarov, 6th year student of the Faculty of Medicine

Astrakhan State Medical University

121, Bakinskaya Str., Astrakhan, 414000, Russian Federation

komarovs2001@gmail.com

Поступила 05.08.2023

После рецензирования 17.10.2023

Принята 31.10.2023

Received 05.08.2023

Revised 17.10.2023

Accepted 31.10.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1155

УДК 616.619:611.018



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНВАЗИИ *T. PSEUDOSPIRALIS* НА МОРФОЛОГИЮ СЕЛЕЗЁНКИ КУРИЦ (*GALLUS DOMESTICUS*)

О.Б. Жданова, О.В. Часовских, А.В. Успенский

Обоснование. Изучение реакции органов иммунной системы птиц при нематодозах является актуальным для разработки схем лечения. Разработаны многочисленные модели на лабораторных животных (мыши и крысы), на плотоядных (хори и др.) и птице (перепела, курицы). У последних паразитирует бескапсульный вид трихинелл, который имеет ряд особенностей воспроизведения. В настоящем исследовании была использована модель экспериментальной инвазии *T. pseudospiralis*. Изучена роль в формировании противонематодозного иммунитета селезенки и ее реакция на внедрение паразита у куриц (*Gallus domesticus*).

Целью проведенного исследования было изучение морфологических изменений в структуре селезенки при трихинеллезе, вызванном *T. pseudospiralis* у куриц в мышечную стадию инвазионного процесса.

Материалы и методы. Методом аналогов сформированы 2 группы по 6 голов. Птиц опытной группы взвешивали и внутрь зоба вводили изолят личинок *T. pseudospiralis* в дозе 2 лич./г массы тела. Личинки *T. pseudospiralis*, которых использовали для воспроизведения экспериментальной инвазии у птиц, были выделены из мышц кошачьих и птиц Дальнего Востока, и поддерживались на лабораторных животных и птицах в лаборатории ВНИИП-филиал ВИЭВ. Содержание и кормление всех куриц осуществляли в идентичных условиях. С целью определения распределения личинок в мышцах птицы *T. pseudospiralis* через 3,5 мес. после экспериментального заражения 6 куриц опытной группы подвергли эвтаназии. Птиц из эксперимента выводили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Определяли интенсивность инвазии (ИИ) по количеству личинок

на грамм для каждой курицы и среднюю по группе и изучали особенности распределения личинок в срезе. Гистологические препараты селезенки готовили по классической методике (парафиновая проводка), с последующей резкой на ротационном микротоме и окраской гематоксилин – эозином.

Результаты исследований. После переваривания в искусственном желудочном соке мышечной массы количество личинок составило 2570 ± 640 лич./г мышц (средняя ИИ от проб мышц исследуемых групп), в контрольной группе личинки трихинелл не обнаружены. Методом КТ наибольшая ИИ установлена в мышцах головы ($5,5 \pm 1,5$ личинок в срезе). Как и у млекопитающих, в селезенке здоровых и инвазированных птиц выявляется красная и белая пульпа, у здоровых птиц площадь красной пульпы составила $10 \pm 5\%$ от площади органа, а белой пульпы $76,5 \pm 5\%$, от массы органа. У инвазированных личинками трихинелл курей отмечали значительное увеличение площади белой пульпы (до 90% от площади органа и более).

Заключение. Селезенка курей активно вовлекается в патогенез при гельминтозах птиц. Фолликулы белой пульпы, как и при трихинеллезе белых мышей разрастаются, сливаясь в крупные конгломераты. У птиц, также как и у млекопитающих, увеличивается количество больших лимфоцитов и плазмочитов, что свидетельствует о схожести межклеточных взаимодействий и реакции иммунокомпетентных клеток на внедрение паразита.

Ключевые слова: зоонозы; трихинеллез; селезенка; экспериментальная модель; курица

Для цитирования. Жданова О.Б., Часовских О.В., Успенский А.В. Влияние экспериментальной инвазии *T. pseudospiralis* на морфологию селезенки курей (*Gallus domesticus*) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 167-185. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1155

Original article

THE EFFECT OF THE EXPERIMENTAL INVASION OF *T. PSEUDOSPIRALIS* ON THE MORPHOLOGY OF THE SPLEEN OF LAYING HENS (*GALLUS DOMESTICUS*)

O.B. Zhdanova, O.V. Chassokikh, A.V. Uspensky

Background. The study of the reaction of the organs of the immune system of birds with nematodes is relevant for the development of treatment regimens.

Numerous models have been developed for laboratory animals (mice and rats), carnivores (hori, etc.) and birds (quails, chickens). In the latter, a capsule-free type of trichinella parasitizes, which has a number of reproduction features. In this study, a model of experimental invasion of *T. pseudospiralis* was used. The role of the spleen in the formation of anti-nematodosis immunity and its reaction to the introduction of the parasite in chicken (*Gallus domesticus*) has been studied.

The **purpose** of this study was to investigate morphological changes in the structure of the spleen in trichinellosis caused by *T. pseudospiralis* in chickens in the muscular stage of the invasive process.

Materials and methods. By the method of analogues, 2 groups of 6 heads were formed. The birds of the experimental group were weighed and *T. pseudospiralis* larvae isolate was injected into the goiter at a dose of 2 lich. / g of body weight (3200-3600 thousand larvae per bird). *T. pseudospiralis* larvae used for experimental infection of poultry were previously isolated from the muscles of birds, and were maintained on laboratory animals. All chickens were kept and fed under identical conditions. In order to determine the distribution of larvae in the muscles of *T. pseudospiralis* poultry, 6 chickens of the experimental group were euthanized 3.5 months after experimental infection. The birds were removed from the experiment in accordance with the "Rules for carrying out work using experimental animals" and in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board. The intensity of invasion (AI, lich./g) for each chicken and the average for the group and AI by the distribution of larvae in the slice were determined. Histological preparations of the spleen were prepared according to the classical method and stained with hematoxylin – eosin.

Results. After digestion of muscle mass in artificial gastric juice, the number of larvae was 2570 ± 640 l./g of muscles (average AI from muscle samples of the studied groups), no trichinella larvae were found in the control group. By CT, the largest AI was found in the muscles of the head (5.5 ± 1.5 larvae in the section). The parenchyma of the organ of the spleen is represented by red and white pulp, in healthy birds the area of the red pulp was $10 \pm 5\%$ of the area of the organ, and the white pulp $76.5 \pm 5\%$ of the mass of the organ. In chickens infected with trichinella larvae, the area of the white pulp increased dramatically to 90% of the organ area and more.

Conclusion. The chicken spleen is actively involved in the pathogenesis of helminthiasis of birds. The follicles of the white pulp, as in the trichinosis of white mice, grow, merging into large conglomerates. In birds, as well as in mammals, the number of large lymphocytes and plasmocytes increases, which indicates the

similarity of intercellular interactions and the reaction of immunocompetent cells to the introduction of the parasite.

Keywords: zoonoses; trichinosis; spleen; experimental model; chicken

For citation. Zhdanova O.B., Chassokikh O.V., Uspensky A.V. The Effect of the Experimental Invasion of *T. pseudospiralis* on the Morphology of the Spleen of Laying Hens (*Gallus domesticus*). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 167-185. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1155

Введение

Трихинеллез чаще, чем другие нематодозы, используется в паразитологии в качестве экспериментальной модели для изучения реакции иммунной системы на внедрение гельминта. В настоящее время разработаны многочисленные модели на лабораторных животных (мыши и крысы), на плотоядных (хори и др.) и птице (перепела, курицы) [2-5]. У последних паразитирует бескапсульный вид трихинелл, который имеет ряд особенностей при воспроизведении инвазии. У большинства видов птиц может встречаться особый вид бескапсульных трихинелл (*T. pseudospiralis*), обладающий морфологическими и физиологическими отличиями от других представителей рода *Trichinella*. Б.Л. Гаркави впервые обнаружил данную нематоду в мышечной ткани енота из Дагестана (*Procyon lotor*), при этом главной особенностью всех обнаруженных личинок стало то, что у 100% трихинелл отсутствовали капсулы. После пептолиза выделенные личинки были несколько меньше, чем личинки других вариантов *T. spiralis*, а также они отличались формой спирали. Выделенный вариант использовали для последующего заражения лабораторных животных (кролики, морские свинки и т.д.). Затем те же виды животных параллельно были инвазированы личинками трихинелл *T. spiralis*, полученными от домашней свиньи. В итоге, все трихинеллы, находящиеся в мышечных волокнах, полученные в результате экспериментальной инвазии лабораторных животных вышеуказанными нематодами, полученными от домашней свиньи, были скручены в классическую спираль и все личинки, без исключения, заключались в капсулы [5, 10]. При инвазии нематодами, выделенными от енота полоскуна, у всех лабораторных животных абсолютно все личинки трихинелл оказались бескапсульными. Кроме того, они не были свернуты в спираль, а приближаясь к форме эллипса, вытянутого в длину по ходу миосимпласта. На основании главного признака данного гельминта, для нового вида Б.Л. Гаркави предложил название *T. pseudospiralis*. Оба вы-

шеуказанных вида (*T. spiralis* и *T. pseudospiralis*) морфологически очень похожи, они обладают характерными для нематод органами и половыми различиями, также оба вида живородящи. Однако, *T. pseudospiralis*, помимо отсутствия капсулы, обладает несколько меньшими размерами, а главным признаком различия этих видов является то, что при скрещивании у данных нематод не появляется жизнеспособное потомство [5-7, 27]. Позже, при анализе генетического родства с использованием ПЦР, были выявлены и другие отличия этих видов. Помимо вышеупомянутого вида *T. pseudospiralis*, имеются и другие виды, и варианты бескапсульных трихинелл, так, например, *T. papua* не имеют капсул и не скрещиваются со взрослыми трихинеллами других видов и вариантов [5-7, 20-25]. Однако, в отличие от *T. pseudospiralis*, *T. papua* не встречаются у птиц, и не воспроизводятся у них в эксперименте. В естественных условиях вид *T. papua* распространен в Папуа Новая Гвинея и встречается, главным образом, у крокодилов (*Crocodilus porosus*), у которых может развиваться потеря веса, вялость, снижение аппетита, диарея и проблемы с дыханием. В некоторых, более тяжелых случаях инвазия может привести к летальному исходу зараженного животного (Pozio et al., 2004- 2005).

Еще один вид трихинелл (*T. zimbabwensis*), был описан ранее Pozio et al. (1998-2002), у *T. zimbabwensis* личинки также не образуют капсулы в мышцах хозяина, и обладают способностью заражать несколько видов позвоночных, в том числе крокодилов различных видов. Этот вид был выделен от крокодила *Crocodiles niloticus* из Зимбабве [5-7, 20-25]. Личинки этого вида, как и других бескапсульных трихинелл, также развиваются в кишечнике животного-хозяина, куда попадают с инвазированным мясом, где они становятся половозрелыми, сокоупляются и рожают личинок, которые мигрируют в мышцы крокодила-хозяина, вызывая повреждение тканей. Вид *T. zimbabwensis* широко распространен не только в дикой природе, но и на фермах крокодилов, и известно, что более трети крокодилов Зимбабве инвазированы этим бескапсульным изолятом. Последующие биохимическое исследования ПЦР подтвердили его отличия от других бескапсульных трихинелл [21-25]. Сходством является *T. zimbabwensis* и *T. papuae* является то, что личинки обоих видов трихинелл не имеют капсул и инвазируют рептилий, а также личинки *T. zimbabwensis* не встречаются у птиц. Несмотря на то, что они могут скрещиваться между собой, гибриды *T. zimbabwensis* и *T. papuae* дают очень малочисленное потомство, и имеют 3 отличных аллоэнзима из исследованных 10 от *T. papuae* и 5 аллоэнзимов отличных от *T. pseudospiralis* [5-7, 20-25].

Таким образом, различные бескапсульные представители рода *Trichinella* способны паразитировать и у рептилий, и у млекопитающих, а у птиц встречается только *T. pseudospiralis*. Применение полимеразной цепной реакции (ПЦР) при классификации и дифференциации значительно расширило возможности изучения видообразования и генома нематод. Исследование с помощью RAPD-метода и анализ отдельных генов у вышеуказанных видов трихинелл, позволяет выявить основные дифференцирующие признаки. Имеющиеся RAPD-маркеры обладают видовой а, иногда и штаммовой, специфичностью, с использованием ПЦР были продемонстрированы отличия *T. spiralis* и *T. pseudospiralis* при паразитировании на одном и том же виде (Bandi et al., 1995; Zarlenga et al., 1990; Семенова и др., 1996; Хрисафова и др., 2000) [5-7, 20-25, 28].

После открытия данного возбудителя Б.Л. Гаркави (1972) псевдоспиральный трихинеллез был неоднократно воспроизведен экспериментально на модели инвазии птиц личинками *T. pseudospiralis*. Экспериментальное заражение (Pozio et al., 2004) *T. spiralis*, *T. pseudospiralis*, и африканскими видами трихинеллами, различных пресмыкающихся животных в природных условиях (*Caiman crocodiles*, *Varanus exathematicus*, *Pithon molurus bivittatus*, *Pelamedusa subrufa*), в качестве контроля заражали аналогичными дозами мышей и кур. Через неделю взрослые особи трихинелл (*T. papuae* и *T. zimbabwensis*) обнаружены в тонком отделе кишечника у всех рептилий, через 2 месяца после заражения данные нематоды обнаруживались как в кишечнике рептилий, так и в мышцах. *T. pseudospiralis* через неделю обнаружили только в кишечнике кур, через 2 месяца личинки *T. pseudospiralis* были найдены только в мышцах птиц. В то же время лабораторные мыши заражались всеми видами трихинелл (*T. spiralis*, *T. pseudospiralis*, *T. papuae* и *T. zimbabwensis*), которых находили через неделю в кишечнике, а через 2 месяца в мышечной ткани [5-7, 9, 10]. Вышесказанное объясняется тем, что для трихинелл *T. papuae* и *T. zimbabwensis* оптимальной является температура 27 – 40°C, которая характерна для рептилий и млекопитающих, в то время как для необходимая для развития *T. pseudospiralis* температура 37-42°C характерна для млекопитающих и птиц. Инкапсулирующиеся виды трихинелл наблюдаются только у млекопитающих так как их температурный диапазон меньше, чем у бескапсульных трихинелл и составляет лишь 4 градуса (от 36 до 39° C). Б.Л. Гаркави (1994, 1996) указал, что *T. pseudospiralis* является наиболее примитивным в роде *Trichinella*. Это подтверждается обнаружением данного вида в Австралии у сумча-

тых и птиц. Также отсутствие капсулообразования и отличия в формировании классической спирали в миосимпласте тоже подтверждают что *T. pseudospiralis* имеют более древнее происхождение. Трихинеллы, не образующие капсулу в мышечных волокнах, предложено выделить в самостоятельный подрод *Bessonoviella subgenus*, Garkavi, 1994. Механизмы защиты нематод *Bessonoviella subgenus*, Garkavi, 1994 от иммунной системы хозяина и его защитных реакций отличаются от таковых *T. spiralis*, эти различия формировались длительное время в процессе филогенеза. [2, 4, 6, 7, 16-20]. Изучению иммунного ответа при трихинеллезе, вызванном *T. spiralis*, посвящено достаточное количество работ, в то же время, имеются лишь фрагментарные сведения о защитных реакциях организма птиц на инвазию *T. pseudospiralis*. Имеются немногочисленные сообщения об изучении патогенетических механизмов при трихинеллезе птиц, однако большинство этих работ посвящено гематологическим и биохимическим показателям, в то время как сведений о реакции селезенки на внедрение паразита не обнаружены [21-25, 28]. Учитывая вышесказанное, считаем, что изучение иммунных механизмов хозяина на модели псевдоспирального трихинеллеза является актуальным для современной паразитологии.

Цель исследования – изучение морфологических изменений в структуре селезенки при трихинеллезе, вызванном *T. pseudospiralis* у курец (*Gallus domesticus*) в мышечную стадию инвазионного процесса.

Материалы и методы исследования

Работа проведена на базе ФГБОУ ВО «Вятский агротехнологический университет» и центра ВНИИП - филиала ФГБНУ «Федеральный научный центр – ВНИИЭВ им. К.И. Скрябина. Птица содержалась в стандартных условиях (при температуре воздуха +20°C, влажности 60%), с дачей стандартизированного рациона.

Методом аналогов сформированы 2 группы по 6 голов. Куриц опытной группы взвешивали и внутризобно вводили полученные при пассивировании на лабораторных животных личинки *T. pseudospiralis* в дозе по 2 личинки на 1 г массы птиц. Личинки *T. pseudospiralis* предварительно были выделены из мышц птиц и животных сем. Felidae Дальнего Востока, и поддерживались на животных в условиях лаборатории ВНИИП-филиал ВИАВ [7, 8]. Для кормления птицы использовали идентичные стандартные рационы на основе комбинированных кормов, сбалансированных по витаминам и макро- и микроэлементам. Для изучения

распределения личинок в различных группах мышц у птиц, после экспериментального заражения *T. pseudospiralis*, через 3,5 мес. 6 куриц опытной группы вывели из эксперимента [7, 8]. Птиц подвергли эвтаназии в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных», учитывая все основные положения из Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Мышцы различных групп препарировали и подвергали пептолизу в искусственном желудочном соке (ИЖС) по методу П. А. Владимировой. ИЖС готовили по стандартизированной методике, переваривание проводили при температуре 37°C в термостате. Также проводили компрессорную трихинеллоскопию (КТ) различных групп мышц головы и шейного отдела с целью выделения личинок трихинелл. [1, 4, 10, 11]. Определяли интенсивность инвазии (ИИ, лич./г) для каждой курицы и среднюю по группе и ИИ по распределению личинок в срезе (при КТ). Далее проводили макро- и микроанатомическое исследование селезенки у инвазированных птиц, для этого готовили по классической методике, с применением парафиновой проводки, гистологические препараты. Фрагменты селезенки (0,5x0,5) фиксировали в 10 % забуференном формалине, по мере приготовления тонких срезов их окрашивали по классической методике гематоксилин – эозином [7, 8]. Препараты исследовали под большим (x100 увеличением) и подсчитывали общее количество клеток лимфоидного ряда в белой и красной пульпе. Отмечали общие особенности паренхимы и стромы селезенки, и определяли процентное содержание лимфоцитов и плазмобластов [1, 8]. Подсчет клеток на каждом гистопреparate производили по методу Г.Г. Автандилова (1991) на микроскопе МБИ – 3У42, не менее, чем в 10 полях зрения препарата, при произвольном передвижении, использовали специальную окулярную измерительную сетку для цитостереометрических исследований, предложенную вышеуказанным автором, при следующих оптических параметрах: объектив 100/1.25.OIL, окуляр WF 10x18 [1, 8, 11, 12]. Все морфометрические показатели и микрофотографии получены с использованием системы Vision Bio (Epi 2014г.) с автоматической обработкой сигнала при увеличении микроскопа x10; x200 [7, 8]. Полученные данные обрабатывали с использованием пакетов программ MS Excel и Statgraphics общепринятыми методами вариационной статистики, сравнение различий между группами проводили с применением непараметрического критерия (U) Вилкоксона-Манна-Уитни. Статистически значимыми считали различия с $p < 0,05$. [1, 8, 11-15].

Результаты исследования

Личинки трихинелл в мышцах птицы имеют большую вариативность по морфометрическим параметрам и расселению по группам мышц. При подсчете личинок в компрессориуме отмечали наличие свернутых личинок и расположенных вдоль мышечных волокон. После переваривания в искусственном желудочном соке мышечной массы количество личинок составило 2570 ± 640 лич./г мышц (средняя ИИ от проб мышц исследуемых групп), в контрольной группе личинки трихинелл не обнаружены. Методом КТ наибольшая ИИ установлена в мышцах головы ($5,5 \pm 1,5$ личинок в срезе).

В отличие от селезенки млекопитающих, выполняющих помимо иммунной функции и функции депо крови, селезенка у птиц является исключительно иммунокомпетентным органом [7, 8]. Поэтому структурные перестройки белой пульпы (увеличение лимфоцитов и макрофагов) в первую очередь отражают реакцию иммунной системы на внедрение паразита.

У куриц-несушек контрольной группы визуализируется хорошо оформленная структура герминативных центров, имеется четкая градация пульпарных и трабекулярных сосудов, имеются малые, средние и большие лимфоидные фолликулы. При микроскопировании выявляются герминативный центр, где помимо ретикулярных клеток, имеются в большом количестве лимфоциты, лимфобласты, плазмциты и макрофаги. В небольшом количестве визуализируется гемосидерин, частично фагоцитированный макрофагами.

Таблица 1.

Изменения основных морфологических показателей селезенки куриц при трихинеллезной инвазии

Показатель	Инвазированные <i>T. pseudospiralis</i> куры	Контрольные куры
Выраженность зоны периартериальных влагалищ и белой пульпы	++	+++
Выраженность пульпарных артерий	+++	+++
Наличие центров размножения	++++	++
Выраженность вторичных лимфоидных фолликулов	+++	++
Увеличение размера трабекул	++	+++
Наличие спленомегалии	++++	++

У птиц с трихинеллезной инвазией имеются многочисленные узелки со светлой центральной частью, что свидетельствует об активации иммунных перестроек. Толщина маргинальной зоны фолликулов в сравнении с

показателями контрольной группы увеличено. Увеличена общая площадь герминативных центров с резким увеличением их диаметра. В результате увеличения площади белой пульпы, увеличивается и селезенка птицы при данной инвазии. При патанатомическом осмотре органа выявляется увеличение селезенки в 1,2 раза, фолликулы визуализируются невооруженным глазом, капсула легко снимается (рис. 1).



1.1. Селезенка при 3,5 месячной инвазии курицы *T. pseudospiralis*



1.2. Селезенка курицы контрольной группы

Рис. 1. Селезенка курицы на разрезе при трихинеллезе (1.1) и у контрольных птиц (1.2)

При сравнении морфологии селезенки у инвазированных птиц с контрольной группой отмечали изменение соотношения белой пульпы к красной. У всех инвазированных курей лучше развита белая пульпа, состоящая преимущественно из средних и больших лимфоцитов, с преобладанием плазмобластов над плазмочитами. Также визуализируются макрофаги и дендритные клетки (ДК). У инвазированных личинками трихинелл птиц площадь белой пульпы достигает 90% и более от площади органа, что практически не отличается от реакции селезенки на трихинеллезную инвазию у млекопитающих, у которых также отмечается увеличение лимфоидной ткани. В то время как у здоровых птиц площадь белой пульпы составила $76,5 \pm 5\%$ от площади органа, а красной пульпы $10 \pm 5\%$. Увеличивается количество больших (активированных) лимфоцитов и плазмочитов, подтверждая активное участие селезенки в иммунных реакциях. У инвазированных птиц хорошо выражены периартериальные лимфоидные влаглища (ПАЛВ). У млекопитающих ПАЛВ являются Т-зависимой зоной селезенки, поэтому в предыдущих исследованиях у инвазированных трихинеллами мышей они четко визуализируются. По периферии ПАЛВ у мышей выявляли первичные и вторичные лимфоидные узелки, которые

являются скоплениями неактивированных лимфоцитов [5, 8, 27, 28]. При гистологическом исследовании селезенки у инвазированных птиц, также было отмечена активация ПАЛВ и увеличение количества клеток лимфоидного ряда при инвазии, в белой пульпе появляются макрофаги и плазмодциты, которые у птиц контрольной группы главным образом расположены в красной пульпе (рис. 2а).

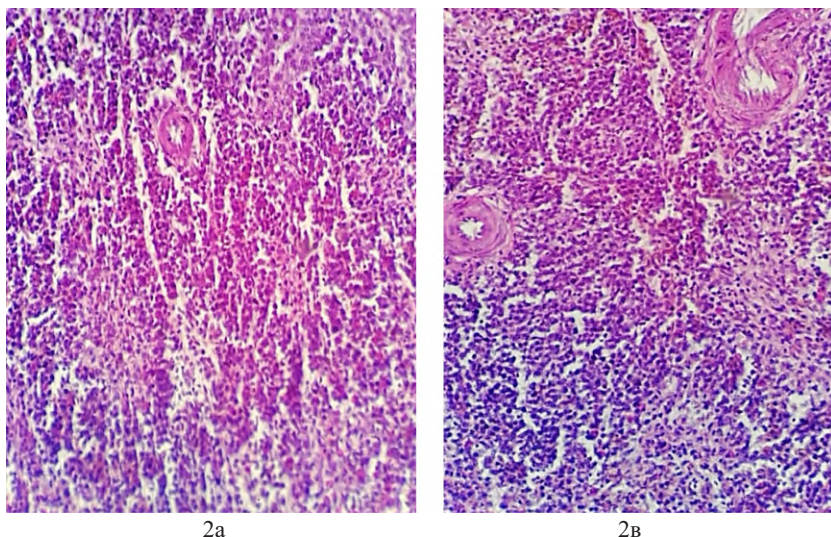


Рис. 2. Селезенка курицы инвазированной *T. pseudospiralis* – 2а и контрольной группы – 2б, на границе белой и красной пульпы (гистологическое исследование ув. х40, гематоксилин-эозин)

Помимо изменений в соотношении площади красной и белой пульпы, также изменялся и их клеточный состав при инвазии нематодами увеличилось количество больших лимфоцитов как в белой, так и в красной пульпе (рис 2). В красной пульпе оно составило $10,3 \pm 2,4$ в поле зрения контрольной группы, и $28,5 \pm 3,4$ в опытной. В белой пульпе наибольшее количество больших лимфоцитов $12,6 \pm 2,4$ отмечали у инвазированных трихинеллами птиц, с одновременным увеличением количества плазмодцитов до $7,3 \pm 0,4$.

Обсуждение

У всех кур при инвазии *T. pseudospiralis* отмечали перестройку структуры селезенки под действием антигенов и продуктов обмена личинок

трихинелл. Особенно выражены изменения в фолликулах белой пульпы и ПАЛВ. Под действием антигенной стимуляции активируются внутриклеточные взаимодействия иммунокомпетентных клеток, у зараженных птиц лимфоидные элементы разрастаются, сливаются и становятся видны на разрезе невооруженным глазом (рис.1). При микроскопическом анализе препаратов селезенки также выявляется реакция лимфоидной ткани селезенки на инвазию *T. pseudospiralis*, отмечено значительное увеличение количества активированных (больших) лимфоцитов и плазматических клеток как в красной пульпе, так и в белой. Также как и у других лабораторных животных при экспериментальном трихинеллезе, селезенка, в первую очередь, реагировала увеличением своего объема [8, 21, 25-29, 31]. Активированные макрофаги появляются и в красной, и в белой пульпе [6, 14-16]. У птиц контрольной группы также отмечали явное преобладание белой пульпы над красной, что является видовой особенностью для куриц, однако, у инвазированных птиц отмечали большее увеличение белой пульпы, чем у контрольной группы. [2, 3, 8-10, 15-18].

Заключение

Селезенка у куриц активно вовлекается в патогенез при гельминтозе вызванном *T. pseudospiralis*. Фолликулы белой пульпы селезенки птиц как и при трихинеллезной инвазии белых мышей разрастаются, сливаясь в крупные конгломераты. У птиц, также как и у млекопитающих, увеличивается количество больших лимфоцитов и плазмоцитов, что свидетельствует о схожести межклеточных взаимодействий и реакции иммунокомпетентных клеток на внедрение паразита.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Источник финансирования научной работы и процесса публикации статьи: государственное задание Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, № госрегистрации 122032900045-2.

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.в.н. Окуловой И.И., с.н.с. лаборатории ветеринарии ФГБНУ ВНИИОЗ.

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия: руководство. М.: Изд. «Медицина», 1990. 384 с.

2. Асатрян А.М. Биологические и морфологические особенности *Trichinella spiralis* и *T. pseudospiralis* у различного вида хозяев: дисс... док. биол. наук. М., 1998 с.
3. Боляхина С.А., Ефремова Е.А. Сравнение морфологических изменений в крови кур при экспериментальном заражении *T. spiralis* и *T. pseudospiralis* // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2023. № 24. С. 95-99.
4. Бритов В.А. Гельминты Дальнего Востока. Хабаровск, 1973. С. 19-22.
5. Бритов В.А. Возбудители трихинеллеза. М.: Наука, 1982. 272 с.
6. Гаркави Б.Л. Трихинеллез, вызываемый *Trichinella pseudospiralis* (морфология и биология возбудителя, эпизоотология и эпидемиология, диагностика, меры борьбы и профилактика) // Российский паразитологический журнал. 2007. № 2. С. 35-116.
7. Гаркави Б.Л. Гельминтозоозы: меры борьбы и профилактика. М., 1994. 50 с.
8. Жданова О.Б., Часовских О.В., Руднева О.В., Успенский А.В. К вопросу об изменении морфологии селезенки при нематодозах у мышей при иммуностимуляции // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 3. С. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25>
9. Жданова О.Б., Распутин П.Г., Масленникова О.В. Трихинеллез плотоядных и биобезопасность окружающей среды // Экология человека. 2008. № 1. С. 9-11.
10. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2006. № 1 (22). С. 30-39.
11. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // Российский паразитологический журнал. 2013. № 2. С. 64-71.
12. Окулова И.И., Березина Ю.А., Бельтюкова З.Н., Домский И.А., Беспятых О.Ю. Иммуноморфологические показатели сыворотки крови у представителей семейства Canidae после имплантации мелакрила // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-11-25>
13. Руднева О.В., Жданова О.Б., Клюкина Е.С., Написанова Л.А., Мутошвили Л.Р. Влияние комплексного иммунопрепарата на лимфоидную ткань, ассоциированную со слизистой оболочкой кишечника // Морфология. 2019. Т. 155. № 2. С. 243-244.

14. Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП «Джангар», 2000. 184 с.
15. Ставинская О.А., Добродеева Л.К., Патракеева В.П. Влияние некроза и апоптоза лимфоцитов на выраженность иммунных реакций // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 4. С. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
16. Самчук М.Г., Панасенкова О.Г., Яковлева А.В., Яковлев А.А., Щелкунова И.Г. Клинический случай диагностики стронгилоидоза у пациента в хроническом критическом состоянии на фоне тяжелого поражения головного мозга // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13. № 1. С. 78-93. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-78-93>
17. Успенский А.В., Жданова О.Б., Андреянов О.Н., Написанова Л.А., Малышева Н.С. Трихинеллоскопия туш домашних и диких животных // *Российский паразитологический журнал*. 2021. Т. 15. № 3. С. 71-75.
18. Эпидемиологический надзор за трихинеллёзом: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2014. 26 с.
19. Boulos L.M., Samara L.A., Hagaz H.J.A. 8 Intern. Conf. of trichinellosis. Abstract book. Rom, 1995. P. 29.
20. Bruschi F., Pozio E., Watanabe N. et al. Inter. Archiv. of Allergy and Immunology. 1999. Vol. 119, № 4. P. 291-296.
21. Mestecky J. The common mucosal immune system and current strategies for induction of immune responses in external secretions // *Clin. Immunol*. 1987. № 7. P. 265-276.
22. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichian P., Siriya-satien P., Putaporn-tip C., Tamburrini A., La Rosa G.F., Sreesunpasirikul C., Yingyourd P., Pozio E. First outbreak of human trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* // *J. Clin. Infect. Dis*. 1998. Vol. 26 (1). P. 111-115.
23. Pozio E., La Rosa G., Rossi P., Murrell K.D. *J. Parasitol*. 1992. Vol. 78, № 4. P. 647-653.
24. Pozio E., Shaikenov B., La Rosa G., Obendorf D.I. Allozymic and biological characters of *Trichinella pseudospiralis* isolates from free-ranging animals // *J. Parasitol*. 1992. Vol. 78. P. 1087-1090.
25. Pozio E., Christensson D., Steen M., Marucci G. *Trichinella pseudospiralis* foci in Sweden // *J. Vet. Parasitology*. 2004. Vol. 125. P. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.020>
26. Ranque S., Fauge`re B., Pozio E., La Rosa G., Tamburrini A., Pellisier J. F., Brouqui P. *Trichinella pseudospiralis* outbreak in France // *J. Emerg. Infect. Dis*. 2000. Vol. 6 (5). P. 543-547.

27. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice // *International Journal of High Dilution Research*. 2018. Vol. 17. № 2. C. 17-18.
28. Shepherd C., Navarro S., Wangchuk P., Wilson D., Daly N. L., Loukas A. Identifying the immunomodulatory components of helminths // *Parasite Immunol*. 2015. Vol. 37 (6). P. 293–303.
29. Tahoun A., Mahajan S., Paxton E., Malterer G., Donaldson D.S., Wang D., Tan A., Gillespie T.L., O'Shea M., Roe A.J., Shaw D.J., Gally D.L., Lengeling A., Mabbott N.A., Haas J., Mahajan A. Salmonella transforms follicle-associated epithelial cells into M cells to promote intestinal invasion // *Cell Host Microbe*. 2012. Vol. 12, No. 5. P. 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.10.009>
30. Zhdanova O.B., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossohin D., Lozhenicina O. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions // *International Journal of High Dilution Research*. 2015. Vol. 14. № 2. P. 60-61.
31. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice // *International Journal of High Dilution Research*. 2019. Vol. 18. № 2. P. 12.

References

1. Avtandilov G.G. *Medical morphometry: manual*. Moscow: Izd. "Medicine", 1990, 384 p.
2. Asatryan A.M. *Biological and morphological features of Trichinella spiralis and T. pseudospiralis in different kinds of hosts*. M., 1998 p.
3. Bolyakhina SA, Efremova EA Comparison of morphological changes in the blood of chickens during experimental infection with T. spiralis and T. pseudospiralis. *Theory and practice of the fight against parasitic diseases*, 2023, no. 24, pp. 95-99.
4. Britov V.A. *Helminths of the Far East*. Khabarovsk, 1973, pp. 19-22.
5. Britov V.A. *Trichinellosis pathogens*. Moscow: Nauka, 1982, 272 p.
6. Garkavi B.L. Trichinellosis caused by Trichinella pseudospiralis (morphology and biology of the causative agent, epizootology and epidemiology, diagnosis, control measures and prophylaxis). *Russian Parasitological Journal*, 2007, no. 2, pp. 35-116.
7. Garkavi B.L. *Helminthozoonoses: control measures and prevention*. M., 1994, 50 p.

8. Zhdanova O.B., Chasovskikh O.V., Rudneva O.V., Uspensky A.V. To the question of changes in the morphology of the spleen in nematodosis in mice with immunostimulation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25>
9. Zhdanova, O.B.; Rasputin, P.G.; Maslennikova, O.V. Trichinellosis of carnivores and biosecurity of the environment. *Human ecology*, 2008, no. 1, pp. 9-11.
10. Martusevich A.K., Zhdanova O.B.. Informativeness of the study of free crystal formation in zoonosis on the model of laboratory animals. *Izvestiya vysokikh uchebnykh uchebnykh obrazovaniya. Volga region*, 2006, no. 1 (22), pp. 30-39.
11. Martusevich A.K., Zhdanova O.B.. Study of the dependence of the crystallogenic activity of the biosphere on the intensity of experimental invasion of *Trichinella spiralis*. *Russian Parasitological Journal*, 2013, no. 2, pp. 64-71.
12. Okulova I.I., Berezina Yu.A., Beltyukova Z.N., Domsy I.A., Bespyatykh O.Yu. Immunomorphologic indices of blood serum in representatives of the family Canidae after implantation of melacryl. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-11-25>
13. Rudneva O.V., Zhdanova O.B., Klyukina E.S., Nicanova L.A., Mutoshvili L.R. The effect of complex immunopreparation on the lymphoid tissue associated with the intestinal mucosa. *Morphology*, 2019, vol. 155, no. 2, pp. 243-244.
14. Sapin M.R., Nikityuk D.B. *Immune system, stress and immunodeficiency*. Moscow: APP "Dzhangar", 2000, 184 p.
15. Stavinskaya O.A., Dobrodeeva L.K., Patrakeeva V.P. Effect of necrosis and apoptosis of lymphocytes on the severity of immune responses. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 209-223. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-209-223>
16. Samchuk M.G., Panasenkova O.G., Yakovlev A.V., Yakovlev A.A., Shchelkunova I.G. Clinical case of strongyloidiasis diagnosis in a patient in chronic critical condition against the background of severe brain damage. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 1, pp. 78-93. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-1-78-93>
17. Uspensky A.V., Zhdanova O.B., Andreyanov O.N., Nicanova L.A., Malysheva N.S. Trichinelloscopy of carcasses of domestic and wild animals. *Russian Parasitological Journal*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 71-75.
18. *Epidemiologic surveillance of trichinellosis: Methodological guidelines*. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2014, 26 p.

19. Boulos L.M., Samara L.A., Hagaz H.J.A. *8 Intern. Conf. of trichinellosis. Abstract book*. Rom, 1995, p. 29.
20. Bruschi F., Pozio E., Watanabe N. et al. *Inter. Archiv. of Allergy and Immunology*, 1999, vol. 119, no. 4, pp. 291-296.
21. Mestecky J. The common mucosal immune system and current strategies for induction of immune responses in external secretions. *Clin. Immunol.*, 1987, no. 7, pp. 265-276.
22. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichian P., Siriyasatien P., Putaporntip C., Tamburrini A., La Rosa G.F., Sreesunpasirikul C., Yingyourd P., Pozio E. First outbreak of human trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis*. *J. Clin. Clin. Infect. Dis.*, 1998, vol. 26 (1), pp. 111-115.
23. Pozio E., La Rosa G., Rossi P., Murrell K.D. *J. Parasitol. Parasitol.*, 1992, vol. 78, no. 4, pp. 647-653.
24. Pozio E., Shaikenov B., La Rosa G., Obendorf D.I. Allozymic and biological characters of *Trichinella pseudospiralis* isolates from free-ranging animals. *J. Parasitol. Parasitol.*, 1992, vol. 78, pp. 1087-1090.
25. Pozio E., Christensson D., Steen M., Marucci G. *Trichinella pseudospiralis* foci in Sweden. *J. Vet. Vet. Parasitology*, 2004, vol. 125, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.020>
26. Ranque S., Fauge`re B., Pozio E., La Rosa G., Tamburrini A., Pellisier J. F., Brouqui P. *Trichinella pseudospiralis* outbreak in France. *J. Emerg. Emerg. Infect. Dis.*, 2000, vol. 6 (5), pp. 543-547.
27. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 17-18.
28. Shepherd C., Navarro S., Wangchuk P., Wilson D., Daly N. L., Loukas A. Identifying the immunomodulatory components of helminths. *Parasite Immunol.*, 2015, vol. 37 (6), pp. 293–303.
29. Tahoun A., Mahajan S., Paxton E., Malterer G., Donaldson D.S., Wang D., Tan A, Gillespie T.L., O’Shea M., Roe A.J., Shaw D.J., Gally D.L., Lengeling A., Mabbott N.A., Haas J., Mahajan A. *Salmonella* transforms follicle-associated epithelial cells into M cells to promote intestinal invasion. *Cell Host Microbe.*, 2012, vol. 12, no. 5, pp. 645–656. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.10.009>
30. Zhdanova O.B., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossohin D., Lozhnicina O. The possibility of using *trichinella spiralis* as an experimental model in the field of high dilutions. *International Journal of High Dilution Research*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 60-61.

31. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2019, vol. 18, no. 2, p. 12.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Жданова Ольга Борисовна, д.б.н., профессор кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии; с.н.с. Лаборатории паразитарных зоонозов ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ; Всероссийский институт паразитологии - филиал ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН
Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация; ул. Б. Черемушкинская, 28, г. Москва, 117218, Российская Федерация
jdanova@vniigis.ru

Часовских Ольга Владимировна, к.в.н., доцент, кафедры зоогигиены, физиологии и биохимии
ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ
Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
beoli@mail.ru

Успенский Александр Витальевич, Член-корр. РАН, зав. Лабораторией паразитарных зоонозов
Всероссийский институт паразитологии - филиал ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко РАН
ул. Б. Черемушкинская, 28, г. Москва, 117218, Российская Федерация
uspensky@vniigis.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga B. Zhdanova, Doctor of Biological Sciences, Professor of the department of Animal Hygiene, Physiology and Biochemistry; Senior Researches *Vyatka State Agrotechnological University; All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV”*

133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, Russian Federation; 28, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation

jdanova@vniigis.ru

SPIN-code 2528-4402

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4912-8518>

Scopus Author ID: 55912373700

Olga V. Chassokikh, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the department of Animal Hygiene, Physiology and Biochemistry *Vyatka State Agrotechnological University*

133, Oktyabrsky Prospekt, Kirov, 610017, Russian Federation

beoli@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-4017>

SPIN-code: 5503-6214

Aleksandr V. Uspensky, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences

All-Russian Scientific Research Institute for Fundamental and Applied Parasitology of Animals and Plant – a branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Federal Scientific Centre VIEV”

28, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation

uspensky@vniigis.ru

SPIN-code 2283-2497

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9115-9890>

Scopus Author ID: 57195472164

Поступила 30.11.2023

После рецензирования 28.12.2023

Принята 12.01.2024

Received 30.11.2023

Revised 28.12.2023

Accepted 12.01.2024

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1166

UDC 581.1:582



Original article

FEATURES OF THE PIGMENT APPARATUS
OF THE PHOTOSYNTHETIC SYSTEM OF ELMS
AND GLEDICHIAS IN FOREST AMELIORATION
AND PROTECTIVE AFFORESTATION*P.A. Kuzmin, P.A. Krylov*

Background. Woody plants within southern Russia are impacted by drought, which leads to changes in their living conditions. The living condition depends on the work of the pigment apparatus of the photosynthetic system and leaf mesostructure. The purpose of this work was to reveal the functioning features of the pigment apparatus of the photosynthetic system and the structural organization in *Ulmus laevis*, *Ulmus parvifolia*, and *Gleditsia triacanthos* leaves.

Result. The study revealed new species-specific features of the leaf pigment apparatus of the photosynthetic system and the structural organization in “healthy and weakened” plants under stress conditions.

Methods. The vital condition of trees was evaluated by visual analysis of crown parameters according to the V.A. Alekseeva’s method. Quantitative data were processed using the Statistica 12.0 program.

Conclusion. During the analysis of genes and their products, the effect on the work of the pigment apparatus of the photosynthetic system was shown in normal and under stress. In this regard, it is necessary to further search for DNA markers of these genes and their degree of expression involved in the mechanisms of adaptation to adverse environmental factors. The study of the leaf pigment apparatus of the photosynthetic system and the structural organization in woody plants can be used to obtain new genotypes with economically valuable features, bioindication, and selection of optimal regimes for their cultivation.

Keywords: *pigment apparatus of photosynthetic system; nitrogen balance index (NBI); morphology; Ulmus parvifolia; Ulmus laevis Pall.; Gleditsia triacanthos L.*

For citation. Kuzmin P.A., Krylov P.A. Features of the Pigment Apparatus of the Photosynthetic System of Elms and Gledichias in Forest Amelioration and Protective Afforestation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 186-204. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1166

Научная статья

ОСОБЕННОСТИ ПИГМЕНТНОГО АППАРАТА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЯЗОВ И ГЛЕДИЧИИ, ИСПОЛЗУЕМЫХ В АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ И ЗАЩИТНОМ ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

П.А. Кузьмин, П.А. Крылов

Обоснование. Древесные растения, произрастающие на территории Юга России, подвержены воздействию засухи, которые приводит к изменению их жизненного состояния. Жизненное состояние зависит от работы пигментного аппарата фотосинтетической системы и мезоструктуры листа.

Цель исследования. Цель работы заключалась в выявлении особенностей функционирования пигментного аппарата фотосинтетической системы и структурной организации листа вяза гладкого и мелколистного и гледичии трехколючковой.

Материалы и методы. Оценку жизненного состояния деревьев проводили путем визуального анализа параметров кроны по методике В.А. Алексеева. Количественные данные обрабатывались с помощью программы Statistica 12.0.

Результаты. В результате исследования были выявлены новые видовые особенности пигментного аппарата фотосинтетической системы и структурной организации листа у «здоровых и ослабленных» растений в стрессовых условиях.

Заключение. В ходе анализа генов и их продуктов было показано влияние на работу пигментного аппарата фотосинтетической системы в норме и при стрессе. В связи с этим, необходимо в дальнейшем провести поиск ДНК-маркеров указанных генов и их степень экспрессии, вовлеченных в ме-

ханизмы адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды. Изучение пигментного аппарата фотосинтетической системы и структурной организации листа древесных растений может применяться для получения новых генотипов с хозяйственно-ценными признаками, биоиндикации и подбору оптимальных режимов для их выращивания.

Ключевые слова: пигментный аппарат фотосинтетической системы; индекс азотного баланса (NBI); морфология; *Ulmus parvifolia*; *Ulmus laevis* Pall.; *Gleditsia triacanthos* L.

Для цитирования. Кузьмин П.А., Крылов П.А. Особенности пигментного аппарата фотосинтетической системы вязов и гледичии, используемых в агролесомелиорации и защитном лесоразведении // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 186-204. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1166

Introduction

It is known that stressful conditions, including moisture deficit and elevated air temperatures, contribute to reactive oxygen intermediates which have a negative effect on the plant photosynthetic apparatus damaging nucleic acids and oxidizing lipids [10; 11; 19]. The plant cell tries to protect itself from the effects of reactive oxygen intermediates by using an antioxidant system. This system includes low molecular weight, non-enzymatic substances with antioxidant properties such as carotenoids, flavonoids, vitamins, phenolic compounds, etc. The main antioxidant function is to neutralize reactive oxygen intermediates. Knowledge of the features of photosynthetic pigments and antioxidant substances can help to understand the mechanisms of plant resistance to environmental factors [10; 14; 20].

The plant pigment system is extremely sensitive to external environmental factors, including elevated atmospheric temperatures and moisture deficit. Chlorophyll in the leaf changes during the vegetation period. This is due to various abiotic, biotic, and anthropogenic environmental factors. Carotenoids and chlorophyll *b* are accessory pigments. They stabilize the work of chlorophyll *a* protecting it from photo-oxidation. Many studies note a higher carotenoid content in the leaves of plants growing in extreme forest site conditions. Carotenoids are highly reactive and protect cells from destruction by acting as antioxidants. Indicators of the plant stress level can be considered the content of chlorophyll, carotenoids, and the ratio of chlorophylls *a* and *b* [1; 9; 16].

The climatic conditions limit the spread of woody plants within the Volgograd Region. Easterly and south-easterly dry wind directions are observed with-

in the study area. The long-time average annual air temperature is 5.2–8.3°C; the mean annual rainfall is 320 mm. The average annual humidity of the atmospheric air is 70% and decreases to 15% in summer.

Under arid environmental conditions, plants rearrange the organization of photosynthetic tissues and cells, which leads to changes in the leaf mesostructure. The mesostructure includes such indicators as the lamina area, the number of mesophyll cells, the number of chloroplasts in the cell, chloroplast volume, the cross-sectional area of the chloroplast, and its surface [4; 12].

Under arid stress, changes in leaf mesostructure, photosynthetic intensity, and photosynthetic cell function are observed. In arid steppe conditions, plants form clearly expressed features of xerophytization; small leaves with high density and high content of mechanical tissues are formed, with a large number of small mesophyll cells and chloroplasts per unit leaf area [18].

Given the increasing rate of warming and increasing degradation processes of natural landscapes, the issues related to the study of plant responses at the physiological level as a reaction to environmental stressors are relevant. The nitrogen balance index (NBI) indicates the ratio of chlorophylls and flavonoids, on the basis of which it is possible to identify the adaptation peculiarities of “healthy” and “weakened” plants to growing conditions in arid climates.

The research purpose is to estimate the state of the leaf pigment apparatus of the photosynthetic system and the mesostructure features of *Ulmus laevis*, *Ulmus parvifolia*, and *Gleditsia triacanthos* used in forest amelioration in the south of Russia at the end of the vegetative period.

Materials and methods

The objects of research were “healthy” and “weakened” trees of 10 individuals in each group: *Ulmus laevis* Pall., *Ulmus parvifolia*, and *Gleditsia triacanthos* L., growing on the territory of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences in Volgograd (48°64 N., 44°43 E). The selected species of woody plants differ in their genetic status. *Gleditsia triacanthos* is an introducer and the rest of the species are aborigines.

The vital condition of trees was evaluated by visual analysis of crown parameters according to the V.A. Alekseeva’s method [2] (Table 1).

The pigment content was determined in the leaves of “healthy” and “weakened” trees in growing season 2022. From each “healthy” and “weakened” free-standing tree, 10 leaf samples of the same tier were collected from the southern exposure. For a registration plant, analyses were performed in three biological replicates and the mean value was indicated for use in statistical pro-

cessing. Amounts of chlorophylls ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ of green weight), flavonoids ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ of green weight), anthocyanins ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ of green weight), and NBI in the epidermis of woody plants leaves were measured using the plant analyzer Dualex Scientific+ (Force-A, France). The ratio of chlorophylls to flavonoids (nitrogen/carbon) in conventional units (c.u.) is shown with NBI.

Table 1.

Selection criteria according to the living condition of the studied trees

«Healthy»	«Weakened»
1. Absence of external crown and trunk damage	1. External crown and trunk damage
2. Crown density	2. 30% reduction in crown density due to premature falling or thinning of the crown skeletal part
3. Dead and dying branch woods are concentrated in the crown lower part and absent in its upper half	3. The presence of 30% of dead and/or dying branch woods in the crown upper half
4. The finished growing leaves are green to dark green in color, and their lifespan is typical for the region	4. Damage (overeating, burn, chlorosis, necrosis, etc.)
5. Leaf damage is insignificant (<10%) and does not affect the tree state	5. Turning off 30% of the leaf surface from assimilation activity

The contour-weight method was used to determine the lamina area. Leaf thickness was determined in slices of 10 leaves from each test tree, then 10 measurements in each leaf were performed using a light microscope Micromed 3 var. 2-20M (Micromed, Russia). Recalculation of the obtained readings (in micrometers) was performed according to the proportion after determining the ocular micrometer scale division by the stage micrometer.

To reveal the mesostructural organization features of the studied woody plant leaves, the research team cut portions from the middle part of leaves, which were fixed in 70% ethyl alcohol and stored at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. The mesostructure of the woody plant photosynthetic apparatus was studied by Mokronosov's method [11]. The cell number was counted in the suspension after plant tissue maceration. For maceration, 0.5–1.0 N HCl at 60–100 $^{\circ}\text{C}$ was used. The cells were counted in the Goryaev chamber ($V = 0.9\text{ mm}^3$). To recalculate cells in thousand/ cm^2 , the average number of cells in the full volume of the Goryaev chamber was multiplied by the coefficient $K=1462$. These coefficients are valid when the leaf sample has an area of 3.8 cm^2 and the volume of suspension is 5 ml.

Chloroplasts in the cells were calculated on a prepared squash preparation. To do this, a drop of the suspension was placed on a slide and covered with a

cover slip. A small pressure was made on the cover slip so that the chloroplasts in the cell were distributed over the area.

Quantitative data were processed using the Statistica 12.0 program (StatSoft Inc., USA), the indicators used to evaluate nonparametric samples in biological studies were calculated: the normal distribution of values, median [1st quartile, 3rd quartile], and the statistical significance of sample was analyzed. To determine the differences between two independent samples, the Mann–Whitney criterion was used with confidence $p < 0.05$.

Results and discussion

Definition of the living condition

As a result of the survey, the following common defects in “weakened” woody plants were identified: dry branch woods, mechanical damage to the trunk, and lamina damage by various pests and diseases. In “weakened” elms compared to “healthy” ones, the following damages were revealed: flanking of bark, presence of foreign objects, dry branch woods in the crown, and marginal lamina necrosis. The living condition of the “weakened” *Gleditsia triacanthos* showed the presence of such defects as earlier leaf coloration, lamina necrosis, dry prune, and mechanical damage to the trunk. After describing the living condition of the studied trees for each of the objects (“Healthy” and “Weakened”), a pigment apparatus analysis of the plant photosynthetic system and the lamina structural organization was carried out.

Study of the pigment content of the photosynthetic system

In the tree leaves, the amounts of chlorophylls differed between “healthy” and “weakened” individuals ($p < 0.05$). In the leaves of “healthy” individuals of *Ulmus laevis* and *Ulmus parvifolia*, chlorophylls were 1.2 times higher than in “weakened” plants. A similar trend was observed for *Gleditsia triacanthos*.

In the present study, interspecific differences within the genus Elm were noted, which manifested themselves in a greater difference (1.3–1.4 times) in chlorophylls in the leaves of the *Ulmus laevis* than in the *Ulmus parvifolia* in both living condition groups. *Ulmus parvifolia* and *Ulmus laevis*, regardless of the living condition, synthesized chlorophylls more by 1.2–1.7 times compared with *Gleditsia triacanthos* ($p < 0.05$) (Fig. 1A).

The difference in flavonoids in two elm species between “healthy” and “weakened” was revealed which differed by 1.3 times ($p < 0.05$). No significant differences between “healthy” and “weakened” trees were found in *Gleditsia triacanthos* (Fig. 1B). *Gleditsia triacanthos* of different living conditions synthesized 1.3 times more flavonoids than *Ulmus parvifolia*. Compared with

Gleditsia triacanthos, *Ulmus laevis* of a healthy living condition had a higher flavonoid in the leaves.

Ulmus parvifolia had a significant difference in anthocyanins. More anthocyanins were detected in “weakened” individuals of this species under stressful conditions and amounted to 0.08 which was 0.012 higher than in “healthy” plants ($p < 0.05$). In the content of anthocyanins in the leaves of *Ulmus laevis* and *Gleditsia triacanthos*, no statistically significant differences were found between “healthy” and “weakened” individuals ($p > 0.05$). The maximum of anthocyanins was observed in “healthy” and “weakened” individuals of *Gleditsia triacanthos* compared to other plants. Significant differences in the number of anthocyanins were revealed between the studied species of different living conditions ($p < 0.05$) (Fig. 1C).

In “healthy” individuals of *Ulmus parvifolia*, the NBI was 1.5 times higher than in weakened individuals. Similar trends were observed in individuals of *Ulmus parvifolia* ($p < 0.05$). NBI of the introduced species, *Gleditsia triacanthos*, had minimal values compared to representatives of the genus Elm (Fig. 1D).

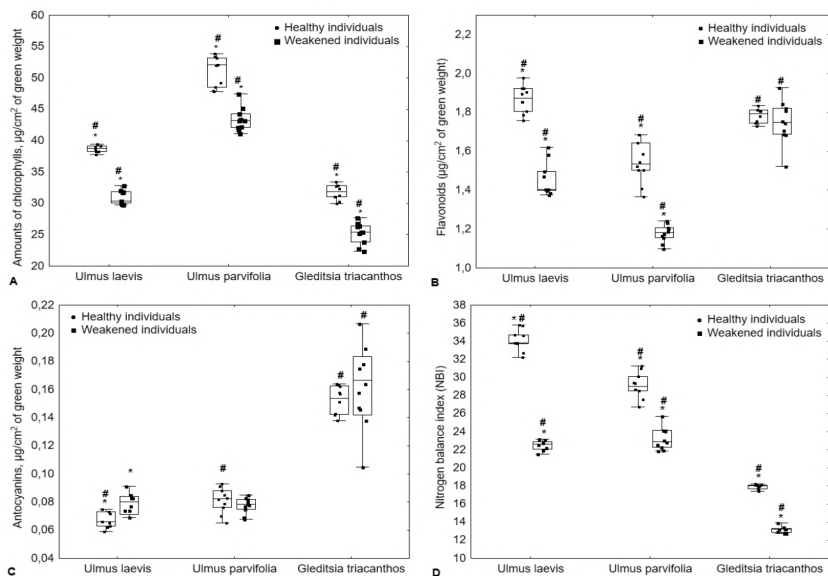


Fig. 1. The content in the plant leaves: A – amount of chlorophylls, B – flavonoids, C – anthocyanins, and D – NBI. Statistically significant differences between * – “healthy” and “weakened” plants, # – between species with different living conditions. The Mann-Whitney criterion at $p < 0.05$.

Thus, there was a specificity of species in the indicators characterizing the functioning of the pigment system of the studied species. The “weakened” *Ulmus parvifolia* showed lower chlorophylls and flavonoids and a balance index compared to “healthy” plants which is consistent with the living condition. At the same time, anthocyanins in “weakened” plants were significantly higher. It can be assumed that in this species, they are involved in the formation of adaptation to unfavorable environmental factors. A similar pattern was observed in *Ulmus laevis*, only the anthocyanins did not have any significant differences between different living conditions.

Features of the lamina structural organization

In “healthy” individuals of *Ulmus parvifolia*, the lamina area was 1.1 times larger compared to the “weakened” individual. This index in *Ulmus laevis* had no statistically significant differences between living conditions ($p>0.05$). A similar situation was observed in *Gleditsia triacanthos*, as in *Ulmus parvifolia* (Fig. 5A). Maximum leaf thickness was in “healthy” individuals of *Ulmus parvifolia*, but there were no statistically significant differences with “weakened” individuals. In *Ulmus laevis*, significant differences were found between individuals of different living conditions ($p<0.05$). Since *Gleditsia triacanthos* had species features of the lamina size and structure, the lamina area and thickness were smaller compared to representatives of the genus Elm, with significant differences between the living conditions ($p<0.05$) (Fig. 5B).

Counting mesophyll cells per unit leaf surface area showed that the number of mesophyll cells was 1.4 and 1.6 times higher in “healthy” *Ulmus laevis* and *Ulmus parvifolia* individuals compared to “weakened” ones. The number of mesophyll cells in the “weakened” plants of *Gleditsia triacanthos* was higher than in the “healthy” plants of this species (Fig. 5C). According to the number of chloroplasts in mesophyll cells in the studied plant species, a general trend was noted. “Healthy” plants had 1.6 times more chloroplasts in their cells compared to “weakened” plants, but no significant interspecific differences were revealed ($p<0.05$) (Fig. 5D).

The living conditions of woody plants, the content of photosynthetic system pigments, and the lamina structural organization depend on the implementation of molecular genetic mechanisms of response to negative abiotic factors. In this regard, a meta-analysis of genes and molecules associated with the work of the photosynthetic apparatus, which could lead to a “weakened” state of the studied trees in response to various environmental stressors inherent in the southern regions of Russia, was carried out.

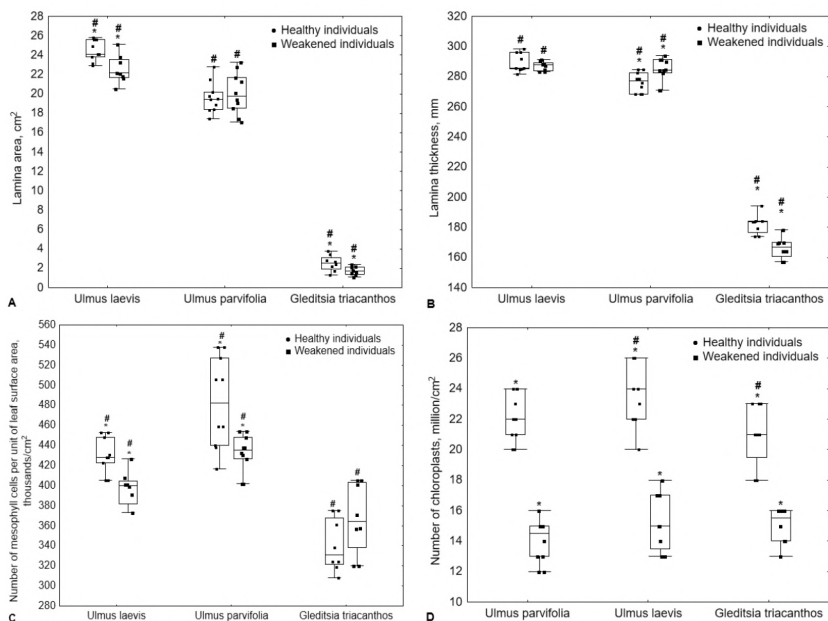


Fig. 2. The structure and morphology of plant leaves: A – lamina area, B – lamina thickness, C – the number of mesophyll cells per unit leaf surface area and D – the number of chloroplasts in the palisade mesophyll cells. Statistically significant differences between * – “healthy” and “weakened” plants, # – between species with different living conditions. The Mann-Whitney criterion at $p < 0.05$.

Discussion

An important indicator of standing timbers is their sanitary state. In some individuals, the formation of dead branch woods, various lamina necroses, and the total area of the affected leaves can reach 70%. This may be due to local growing conditions and the impact of biotopic factors of the arid zone.

Chlorophyll assessment in leaves of “healthy” and “impaired” plants agrees with the generally accepted patterns of the pigment apparatus of the photosynthetic system [14; 20; 16].

The authors found that the studied species contained an increased flavonoid in the leaves. This may be due to the fact that these plants live in drought conditions and flavonoids provide their protection [12]. Many authors confirm their role in protecting against unfavorable environmental factors (bacterial, viral, fungal infections, and oxidative stress) [4].

The authors identified features in *Ulmus laevis*, which had higher anthocyanins in “weakened” individuals compared to “healthy” plants. This may be due to the fact that plants compensate for the decrease in chlorophyll by increasing anthocyanins. This is consistent with the literature that anthocyanins are non-plastid pigments, localizing in cell vacuoles, and can protect leaves during photosynthesis by absorbing excessive photons. It has previously been shown that anthocyanins in many plant species reduce the photoinhibition frequency and also accelerate the photosynthetic apparatus recovery [15].

In “weakened” plants, the active state of the photosynthetic apparatus decreases due to a decrease in chlorophyll and an increase in flavonoids in the lamina. The assessment of the NBI of “weakened” plants confirmed these patterns [4; 15].

Changes in the leaf mesostructure of “weakened” trees that were identified in the study suggest that the lamina area, the number of mesophyll cells, and the number of chloroplasts in them are reduced compared to “healthy” individuals. This indicates structural rearrangements of the photosynthetic apparatus at the cell and chloroplast level [1]. This is a manifestation of one of the mechanisms of plant adaptation to water deficit in an arid climate [11]. When plants are exposed to an arid climate, a response is manifested as a decrease in photosynthetic tissue in the leaf.

During the study, interesting features of the thickness of the *Ulmus parvifolia* lamina were revealed. The thickness of the *Ulmus parvifolia* lamina in “weakened” individuals was higher than in “healthy” plants. This may be due to the fact that under arid stress, the proportion of photosynthetic tissue decreases by increasing the thickness of the cover tissues [22] and changing the structural organization of the leaf of this species.

The disruption or remodeling of physiological processes at the molecular genetic level may be one of the reasons for the appearance of “weakened” states of woody plants [13]. Stressful conditions lead to a decrease in the living condition of plants by increasing the intensity of oxidative processes spatially oriented in the plant organism tissues. A multi-level antioxidant system protects against oxidative stress, including drought and high temperatures. Along with other antioxidant system components, flavonoids protect plants from negative environmental factors [3]. Recent studies have shown that an increased concentration of certain flavonoids (kaempferol, naringenin) is associated with better plant resistance to moisture deficit and UV [6]. There is evidence that the accumulation of anthocyanins occurs both in photosynthetic and individual cells, where this process is not implemented, provides protection from sunlight, and

reduces the photosynthesis activity [25]. Synthesis of anthocyanins occurs in individual cells where photosynthesis is not taking place. Other authors note that anthocyanins are involved in the utilization of reactive oxygen intermediates. Reactive oxygen intermediates stimulate the synthesis of anthocyanins [23].

Two reasons may contribute to the decrease in photosynthesis: the lower CO₂ availability due to the closure of stomata [21] and the inhibition of light phase reactions, primarily photosystem II and, as a consequence, reduced production of ATP and NADP [17]. The synthesis of photosynthesis-related proteins is usually reduced under stress conditions; for example, this occurs with LHC-II (light-harvesting complex II), the amount of which correlates with the amount of chlorophyll [3].

The signaling pathways leading to a stress response contain common elements found in most plants. For example, cyclic AMP is known as a messenger of “cellular hunger”. The SnRK kinase group (SNF-related protein kinase) is usually involved in the stress response. There are three SnRK subgroups. SnRK1 kinases transmit an energy deficit signal, which leads to the intensification of catabolic processes and retardation of anabolic ones. Despite the similarity with SNF and AMPK, SnRK1 kinases are insensitive to AMP inhibition. SnRK1 phosphorylates C/S bZIP transcription factors that activate alternative metabolic pathways under stress [8]. SnRK2 kinases are activated by hyperosmotic stress when they are phosphorylated by RAF kinases [7]. These kinases are divided into three groups, one of which is activated by abscisic acid. Plant genotypes with SnRK2 overexpression have hypersensitivity to abscisic acid, accelerated growth, and biomass accumulation suggesting that some of these kinases stimulate plant growth under normal conditions [24]. ABA (abscisic acid) is one of the main phytohormones involved in signal conducting under stress. The ABA-PYL complex binds PP2C, an inhibitor protein of several compounds, thus releasing SnRK2 and SnRK1 from its bonds. One of the main effects of abscisic acid is to retard plant growth, and ABA hypersensitivity mutations increase survival under stress and reduce growth rate under normal conditions [5]. SnRK3 kinases are involved in the response to various types of stress, especially salt stress. SnRK3 have a self-inhibitory domain normally bound to the SCaBP-SnRK3 complex. Ca₂⁺ binding releases the complex and allows the phosphorylation of various ion channels [26].

All the above-mentioned genes and molecules have a direct or indirect impact on the photosynthetic apparatus of the plant cell in normal conditions and under stress of different natures, and molecular and genetic adaptation mechanisms. An important note is that the genome of the studied plants has not been

sequenced at this time and the analysis concerns general possible mechanisms inherent in all woody and shrub plants. In this regard, it is necessary to further search for DNA markers of these genes and their degree of expression involved in the mechanisms of adaptation to unfavorable environmental factors.

Thus, in “weakened” plants of the tree plant species under study, significant changes occur in the leaf pigment apparatus of the photosynthetic system and the structural organization. The involvement of various genes and their polymorphisms in the cell photosynthetic apparatus and adaptation to unfavorable environmental factors remains an understudied area and requires further experimental research.

Conclusion

The study revealed new regularities in the work of the pigment apparatus of the photosynthetic system and leaf structure organization in “healthy and weakened” plants under arid climate conditions.

The adaptation of the pigment apparatus of the synthetic system of “weakened” individuals of the genus Elm was manifested in an increase in leaf anthocyanins. The role of anthocyanins in the mechanism of adaptation to the arid climate remains incompletely understood. In general, the studied species of woody plants, except for *Ulmus parvifolia*, had regular changes in the structural organization of leaves. In the native *Ulmus parvifolia*, perhaps another mechanism of adaptation to unfavorable factors was found, consisting in an increase in the lamina thickness, and hence a change in the pigment apparatus of photosynthetic system functioning.

The primary analysis of genes, proteins, and metabolites has shown many unresolved issues in the photosynthetic apparatus related to the adaptation mechanisms to unfavorable environmental factors at the molecular-genetic level.

The study of the leaf pigment apparatus of the photosynthetic system and structural organization of woody plants growing in an arid climate and used in forest amelioration can be used to obtain new genotypes with economically valuable features, bioindication, and selection of optimal regimes for their cultivation.

Acknowledgments. The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, No. FNFE-2022-0009 “Search for selection and valuable genetic material to create new genotypes of woody shrubs by molecular breeding methods” and No. FNFE-2022-0022 “Search and management of expression patterns of forest

and cultivated plant genes responsible for adaptation to unfavorable environmental factors and productivity”.

References

1. Peculiarities of mesostructure, pigment and lipid composition of representatives of the family Onagraceae / E. S. Bogdanova, O. A. Rosentsvet, V. N. Nesterov, S. N. Zubova. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2018, vol. 27, no. 1, pp. 179-184. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10006>
2. Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S. Morphophysiologic traits of spruce trees in conditions of Izhevsk. *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, vol. 9(7), pp. 853-862. <https://doi.org/10.1134/S1995425516070027>
3. Dalal V.K. Modulation of photosynthesis and other proteins during water-stress. *Molecular Biology Reports*, 2021, vol. 48, pp. 3681-3693. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06329-6>
4. Content of photosynthetic pigments in the leaves of “healthy” and “weakened” trees of balsam poplar (*Populus balsamifera* L.), growing in conditions of industrial pollution (Republic of Bashkortostan, Sterlitamak industrial center) / R. H. Giniyatullin, R. S. Ivanov, O. V. Tagirova, A. Y. Kulagin. *Samara Scientific Bulletin*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 43-48. <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>
5. Fujita Y., Fujita M., Satoh R., Maruyama K., Parvez M.M., Seki M., Hiratsu K., Ohme-Takagi M., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. AREB1 is a transcription activator of novel ABRE-dependent ABA signaling that enhances drought stress tolerance in Arabidopsis. *Plant Cell*, 2005, vol. 17(12), pp. 3470-88. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.035659>
6. Jan R., Khan M.A., Asaf S., Lubna, Waqas M., Park J.R., Asif S., Kim N., Lee I.J., Kim K.M. Drought and UV Radiation Stress Tolerance in Rice Is Improved by Overaccumulation of Non-Enzymatic Antioxidant Flavonoids. *Antioxidants (Basel)*, 2022, vol. 11(5), 917. <https://doi.org/10.3390/antiox11050917>
7. Lin Z., Li Y., Zhang Z., Liu X., Hsu C.C., Du Y., Sang T., Zhu C., Wang Y., Sathesh V., Pratibha P., Zhao Y., Song C.P., Tao W.A., Zhu J.K., Wang P. A RAF-SnRK2 kinase cascade mediates early osmotic stress signaling in higher plants. *Nat Commun.*, 2020, vol. 11(1), 613. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14477-9>
8. Llorca C.M., Berendzen K.W., Malik W.A., Mahn S., Piepho H.P., Zentgraf U. The elucidation of the interactome of 16 Arabidopsis bZIP factors reveals three independent functional networks. *PLoS One*, 2015, vol. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139884>
9. Influence of phytopathogens on the content of plastid pigments and intensity of lipid peroxidation processes in leaves of woody plants / S. Yu. Ogorodnikova,

- S. V. Pestov, V. V. Zinoviev, A. P. Sofronov. *Theoretical and Applied Ecology*, 2022, no. 2, pp. 84-92. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-084-092>
10. Mamieva E. B. Evaluation of the stability of photosynthetic apparatus of small-leaved linden *Tilia cordata* Mill. In the gradient of technogenic pollution in Vladikavkaz / E. B. Mamieva, L. V. Shirnina, V. T. Popova. *Forest Engineering Journal*, 2022, vol. 12, no. 2(46), pp. 30-42. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/3>
 11. Mokronosov A. T. Methodology of quantitative assessment and functional activity of photosynthetic tissues and organs / A. T. Mokronosov, R. A. Borzenkova. *Works on applied botany, genetics and breeding*, 1978, vol. 61, no. 3, pp. 119-133.
 12. Accumulation of photosynthetic pigments and secondary metabolites in leaves of Galega (*Galega orientalis* Lam.) variety Gale depending on the age of the grass stand and agrotechnology during introduction in the middle taiga zone of Western Siberia / E. A. Moiseeva, I. V. Kravchenko, L. F. Shepeleva, R. H. Bordei. *Agricultural Biology*, 2022, vol. 57, no. 1, pp. 44-65. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus>
 13. Perdomo J.A., Capó-Bauçà S., Carmo-Silva E., Galmés J. Rubisco and rubisco activase play an important role in the biochemical limitations of photosynthesis in rice, wheat, and maize under high temperature and water deficit. *Front Plant Sci.*, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00490>
 14. Rosentsvet O. A. Structural and physiological and biochemical aspects of salt tolerance in halophytes / O. A. Rosentsvet, V. N. Nesterov, E. S. Bogdanova. *Plant Physiology*, 2017, vol. 64, no. 4, pp. 251-265. <https://doi.org/10.7868/S001533031704011X>
 15. Sautkina M. Yu. Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the English oak (*Quercus robur* L.) of the forest-steppe zone. *Journal of Agriculture and Environment*, 2021, no. 1(17). <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>
 16. Seasonal changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in the zone of influence of the thermal field of the gas flare / S. A. Shavnin, I. A. Yusupov, N. V. Marina [et al.]. *Plant Physiology*, 2021, vol. 68, no. 3, pp. 315-325. <https://doi.org/10.31857/S0015330321020184>
 17. Tezara W., Mitchell V.J., Driscoll S.D., Lawlor D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 1999. <https://doi.org/10.1038/44842>
 18. Tyulkova E. G. Inhibitory effect of volatile organic compounds on the content of photosynthetic pigments in leaves of seedlings of woody plants. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, 2019, no. 4, pp. 36-44.

19. Features of ultrastructure and biochemical composition of cells of leaf mesophyll of *Triticum spelta* L. In the initial period of stress temperature action / L.M. Babenko, M.V. Vodka, Y.N. Akimov, A.E. Smirnov, A.V. Babenko, I.V. Kosakovskaya. *Cytology*, 2018, vol. 60, no. 10, pp. 778-786. <https://doi.org/10.7868/S004137711810003X>
20. Chlorophyll and carotenoid content in leaves of woody introductions of the Altai Botanical Garden / T. A. Vdovina, O. A. Lagus, A. N. Danilova, E. A. Isakova. *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia*, 2022, no. 21-1, pp. 20-24. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2022004>
21. Wang Z., Li G., Sun H. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. *Biol Open*, 2018. <https://doi.org/10.1242/bio.035279>
22. Yin Guoping, Wang Yong, Xiao Yufei, Yang Jisheng, Wang Renjie, Jiang Ying, Huang Ronglin, Liu Xiongsheng, Jiang Yi. Relationships between leaf color changes, pigment levels, enzyme activity, photosynthetic fluorescence characteristics and chloroplast ultrastructure of *Liquidambar formosana* Hance. *Journal of Forestry Research*, 2022, vol. 33 (5), pp. 1559-1572. <https://doi.org/1007/s11676-021-01441-6>
23. Xu Z., Rothstein S.J. ROS-Induced anthocyanin production provides feedback protection by scavenging ROS and maintaining photosynthetic capacity in *Arabidopsis*. *Plant Signaling and Behavior*, 2018, vol. 13(3). <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1451708>
24. Zhang H., Zhao Y., Zhu J.K. Thriving under Stress: How Plants Balance Growth and the Stress Response. *Dev Cell.*, 2020, vol. 55(5), pp. 529-543. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2020.10.012>
25. Zhao S., Blum J.A., Ma F., Wang Y., Borejsza-Wysocka E., Ma F., Cheng L., Li P. Anthocyanin Accumulation Provides Protection against High Light Stress While Reducing Photosynthesis in Apple Leaves. *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, vol. 23(20), 12616. <https://doi.org/10.3390/ijms232012616>
26. Zhu J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 2002, vol. 53, pp. 247-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>

Список литературы

1. Особенности мезоструктуры, пигментного и липидного состава представителей сем. *Opagraceae* / Е. С. Богданова, О. А. Розенцвет, В. Н. Нестеров, С. Н. Зубова // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27. № 1. С. 179-184. <https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10006>

2. Bukharina I.L., Vedernikov K.E., Pashkova A.S. Morphophysiological traits of spruce trees in conditions of Izhevsk // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9(7). P. 853-862. <https://doi.org/10.1134/S1995425516070027>
3. Dalal V.K. Modulation of photosynthesis and other proteins during water-stress // Molecular Biology Reports. 2021. Vol. 48. P. 3681-3693. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06329-6>
4. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях «здоровых» и «ослабленных» деревьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), произрастающих в условиях промышленного загрязнения (Республика Башкортостан, Стерлитамакский промышленный центр) / Р. Х. Гиниятуллин, Р. С. Иванов, О. В. Тагирова, А. Ю. Кулагин // Самарский научный вестник. 2022. Т. 11. № 1. С. 43-48. <https://doi.org/10.55355/snv2022111104>
5. Fujita Y., Fujita M., Satoh R., Maruyama K., Parvez M.M., Seki M., Hiratsu K., Ohme-Takagi M., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. AREB1 is a transcription activator of novel ABRE-dependent ABA signaling that enhances drought stress tolerance in Arabidopsis // Plant Cell. 2005. Vol. 17(12). P. 3470-88. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.035659>
6. Jan R., Khan M.A., Asaf S., Lubna, Waqas M., Park J.R., Asif S., Kim N., Lee I.J., Kim K.M. Drought and UV Radiation Stress Tolerance in Rice Is Improved by Overaccumulation of Non-Enzymatic Antioxidant Flavonoids // Antioxidants (Basel). 2022. Vol. 11(5), 917. <https://doi.org/10.3390/antiox11050917>
7. Lin Z., Li Y., Zhang Z., Liu X., Hsu C.C., Du Y., Sang T., Zhu C., Wang Y., Satheesh V., Pratibha P., Zhao Y., Song C.P., Tao W.A., Zhu J.K., Wang P. A RAF-SnRK2 kinase cascade mediates early osmotic stress signaling in higher plants // Nat Commun. 2020. Vol. 11(1), 613. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14477-9>
8. Llorca C.M., Berendzen K.W., Malik W.A., Mahn S., Piepho H.P., Zentgraf U. The elucidation of the interactome of 16 Arabidopsis bZIP factors reveals three independent functional networks // PLoS One. 2015. Vol. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139884>
9. Влияние фитопатогенов на содержание пластидных пигментов и интенсивность процессов перекисного окисления липидов в листьях древесных растений / С. Ю. Огородникова, С. В. Пестов, В. В. Зиновьев, А. П. Софронов // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 84-92. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-2-084-092>
10. Мамиева Е. Б. Оценка устойчивости фотосинтетического аппарата липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. в градиенте техногенного загрязнения Г. Владикавказ / Е. Б. Мамиева, Л. В. Ширнина, В. Т. Попова // Лесотех-

- нический журнал. 2022. Т. 12. № 2(46). С. 30-42. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/3>
11. Мокроносов А. Т. Методика количественной оценки и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов / А. Т. Мокроносов, Р. А. Борзенкова // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции ВНИИ растениеводства. 1978. Т. 61, вып. 3. С. 119-133.
 12. Накопление фотосинтетических пигментов и вторичных метаболитов в листьях галеги (*Galega orientalis* Lam.) сорта Гале в зависимости от возраста травостоя и агротехнологии при интродукции в зоне средней тайги Западной Сибири / Е. А. Моисеева, И. В. Кравченко, Л. Ф. Шепелева, Р. Х. Бордей // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 44-65. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.44rus>
 13. Perdomo J.A., Capó-Bauçà S., Carmo-Silva E., Galmés J. Rubisco and rubisco activase play an important role in the biochemical limitations of photosynthesis in rice, wheat, and maize under high temperature and water deficit // Front Plant Sci. 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00490>
 14. Розенцвет, О. А. Структурные и физиолого-биохимические аспекты солеустойчивости галофитов / О. А. Розенцвет, В. Н. Нестеров, Е. С. Богданова // Физиология растений. 2017. Т. 64. № 4. С. 251-265. <https://doi.org/10.7868/S001533031704011X>
 15. Sautkina M. Yu. Dynamics of the content of chlorophylls in the leaves of the English oak (*Quercus robur* L.) of the forest-steppe zone // Journal of Agriculture and Environment. 2021. No 1(17). <https://doi.org/10.23649/jae.2021.1.17.11>
 16. Сезонные изменения содержания хлорофиллов и каротиноидов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в зоне влияния теплового поля газового факела / С. А. Шавнин, И. А. Юсупов, Н. В. Марина [и др.] // Физиология растений. 2021. Т. 68. № 3. С. 315-325. <https://doi.org/10.31857/S0015330321020184>
 17. Tezara W., Mitchell V.J., Driscoll S.D., Lawlor D.W. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP // Nature. 1999. <https://doi.org/10.1038/44842>
 18. Тюлькова Е. Г. Ингибирующий эффект летучих органических соединений на содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 4. С. 36-44.
 19. Особенности ультраструктуры и биохимического состава клеток мезофилла листьев *Triticum spelta* L. В начальный период действия стрессовых температур / Л.М. Бабенко, М.В. Водка, Ю.Н. Акимов, А.Е. Смирнов, А.В. Бабенко, И.В. Косаковская // Цитология. 2018. Т. 60. № 10. С. 778-786. <https://doi.org/10.7868/S004137711810003X>

20. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных интродуцентов Алтайского ботанического сада / Т. А. Вдовина, О. А. Лагус, А. Н. Данилова, Е. А. Исакова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2022. № 21-1. С. 20-24. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2022004>
21. Wang Z., Li G., Sun H. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves // Biol Open. 2018. <https://doi.org/10.1242/bio.035279>
22. Yin Guoping, Wang Yong, Xiao Yufei, Yang Jisheng, Wang Renjie, Jiang Ying, Huang Ronglin, Liu Xiongsheng, Jiang Yi. Relationships between leaf color changes, pigment levels, enzyme activity, photosynthetic fluorescence characteristics and chloroplast ultrastructure of *Liquidambar formosana* Hance // Journal of Forestry Research. 2022. Vol. 33 (5). P. 1559-1572. <https://doi.org/1007/s11676-021-01441-6>
23. Xu Z., Rothstein S.J. ROS-Induced anthocyanin production provides feedback protection by scavenging ROS and maintaining photosynthetic capacity in *Arabidopsis* // Plant Signaling and Behavior. 2018. Vol. 13(3). <https://doi.org/10.1080/15592324.2018.1451708>
24. Zhang H., Zhao Y., Zhu J.K. Thriving under Stress: How Plants Balance Growth and the Stress Response // Dev Cell. 2020. Vol. 55(5). P. 529-543. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2020.10.012>
25. Zhao S., Blum J.A., Ma F., Wang Y., Borejsza-Wysocka E., Ma F., Cheng L., Li P. Anthocyanin Accumulation Provides Protection against High Light Stress While Reducing Photosynthesis in Apple Leaves // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23(20), 12616. <https://doi.org/10.3390/ijms232012616>
26. Zhu J.K. Salt and drought stress signal transduction in plants // Annual Review of Plant Biology. 2002. Vol. 53. P. 247-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>

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

Petr A. Kuzmin, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher, Acting Head of the Molecular Breeding Laboratory

*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kuzmin-p@vfanc.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>*

Pavel A. Krylov, PhD in Biological Sciences, Leading Researcher, Acting Head of the Laboratory of Genomic and Postgenomic Technologies
*Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
p-krylov@vfanc.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9587-5886>*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кузьмин Петр Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией молекулярной селекции
*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук (ФНЦ агроэкологии РАН)
проспект Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kuzmin-p@vfanc.ru*

Крылов Павел Андреевич, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего лабораторией геномных и постгеномных технологий
*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук (ФНЦ агроэкологии РАН)
проспект Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
p-krylov@vfanc.ru*

Поступила 30.12.2023

После рецензирования 25.01.2024

Принята 19.02.2024

Received 30.12.2023

Revised 25.01.2024

Accepted 19.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-841

УДК 639.64+639.55



Научная статья

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АУКСИНОВ НА РОСТ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *CHAETOCEROS MUELLERI*

Н.Н. Ковалев, С.Е. Лескова, Е.В. Михеев, Е.А. Барсова

Обоснование. Изучение процесса культивирования микроводорослей связано не только с получением широкого спектра биологически активных веществ. С развитием марикультуры некоторые виды микроводорослей (в том числе *Chaetoceros muelleri*), представляют интерес в качестве кормов для таких объектов культивирования как моллюски, членистоногие и головоурии. Целью данного исследования являлась оценка влияния гормонов ауксинового ряда на количественные и качественные показатели микроводоросли *Chaetoceros muelleri*.

Материалы и методы. Объектом исследований являлась культура микроводорослей *Chaetoceros muelleri*. Продолжительность эксперимента составляла 7 дней. Для стимуляции роста использовали индолил-3-масляную кислоту и индол-3-уксусную кислоты. Культивирование микроводоросли осуществлялось в монокультуре, при постоянных условиях. К экспериментальной группе добавляли указанные фитогормоны в концентрации 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 1,0 $\times$ 10⁻⁵ моль. Контрольная группа культивировалась без добавления фитогормонов.

Результаты исследований. Показано, что 3 индол уксусная кислота в концентрациях от 0,2 до 0,5 $\times$ 10⁻⁵ моль оказывала положительное влияние на рост культуры водорослей. При использовании обоих гормонов в оптимальной концентрации установлен выраженный положительный эффект накопления липидов в культуре водоросли. Установлено, что индолил-3-масляная кислота в оптимальной концентрации повышала содержание углеводов в культуре.

Заключение. Полученные данные показали, что исследованные фитогормоны оказывали положительное влияние на динамику роста микроводоросли *Chaetoceros muelleri* в накопительной культуре. Проведенное исследование показало возможность использования исследованных фитогормонов ауксинового ряда для стимуляции роста микроводоросли *Chaetoceros muelleri* в накопительной монокультуре.

Ключевые слова: *Chaetoceros muelleri*; ауксины; микроводоросли; индол-3-уксусная кислота; индол-3-масляная кислота

Для цитирования. Ковалев Н.Н., Лескова С.Е., Михеев Е.В., Барсова Е.А. Оценка влияния ауксинов на рост и биохимические показатели *Chaetoceros muelleri* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 205-226. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-841

Original article

EVALUATION OF THE EFFECT OF AUXINS ON GROWTH AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF CHAETOCEROS MUELLERI

N.N. Kovalev, S.E. Leskova, E.V. Mikhееv, E.A. Barsova

Background. The study of microalgae cultivation process is not only related to obtaining a wide range of biologically active substances. With the development of mariculture, some species of microalgae (including *Chaetoceros muelleri*) are of interest as food for mollusks, arthropods and holothuria. The aim of this study was to evaluate the effect of auxin hormones on quantitative and qualitative parameters *Chaetoceros muelleri* accumulative cultivation.

Materials and methods. The object of research was the culture of microalgae *Chaetoceros muelleri*. The duration of the experiment was 7 days. Indole-3-butyric and indole-3-acetic acids were used for growth stimulation. The microalgae were cultured in monoculture, under constant conditions. 0.1; 0.2; 0.4; 0.6; 1.0 $\times 10^{-5}$ mol phytohormones concentrations were added to the cultivation medium of the experimental groups. The control group was cultured without phytohormones addition.

Results. It was shown that indole-3-acetic acid in concentrations from 0.2 to 0.5 $\times 10^{-5}$ mol had a positive effect on the growth of algal culture. Auxins at optimum concentration had a positive effect on lipid accumulation in the algal culture. It was found that indole-3-butyric acid increased the carbohydrate content in the culture on the 3rd day of culturing *Chaetoceros muelleri*. At the same time, under the action of indole-3-butyric acid, the highest content of carbohydrates.

Conclusion. The obtained data showed that the studied auxins had a positive effect on *Chaetoceros muelleri* dynamics growth. The possibility of using auxin series phytohormones to stimulate the growth of the microalga *Chaetoceros muelleri* in an accumulative monoculture has been established by this study.

Keywords: *Chaetoceros muelleri*; auxins; microalgae; indole-3-acetic acid; indole-3-butyric acid

For citation. Kovalev N.N., Leskova S.E., Mikheev E.V., Barsova E.A. *Evaluation of the Effect of Auxins on Growth and Biochemical Parameters of Chaetoceros muelleri*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 205-226. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-841

Введение

Научный интерес к культивированию микроводорослей связан с их использованием в качестве потенциального источника биологически активных компонентов для косметической, фармацевтической и пищевой промышленности [18, 27, 30, 34].

Род *Chaetoceros* является одним из крупнейших космополитических родов морского фитопланктона [5]. На долю этого рода приходится около 20-25% первичной продукции в прибрежных апвеллинговых районах и прибрежных зонах [29].

В последнее десятилетие этот род широко используется в аквакультуре, например, для кормления личинок беспозвоночных и рыб. Микроводоросли должны быть подходящего для проглатывания размера, от 1 до 15 мкм для фильтраторов [16, 33], легко проглатываться и легко перевариваться. Также микроводоросли должны обладать быстрыми темпами роста, быть устойчивыми в культуре к любым колебаниям температуры, света и питательных веществ. Наконец, они должны обладать хорошим питательным составом.

Современные направления проводимых исследований в первую очередь связаны с поиском способов повышения эффективности роста микроводорослей для синтеза БАВ [9, 12, 31, 35]. Динамика изменений скорости роста и биохимического состава микроводорослей, видоспецифична, зависит от состава питательной среды и условий роста [4, 20, 25].

Регуляторы роста, такие как фитогормоны, играют жизненно важную роль в оценке эффективности и регулирования метаболизма у культурных растений и водорослей [7, 28, 34, 36].

Фитогормоны ауксинового ряда, в том числе индол-3-уксусная кислота (ИУК) и индолил-3-масляная кислота (ИМК) были выявлены в культурах 24 видов зеленых микроводорослей из классов *Chlorophyceae*, *Trebouxiophyceae*, *Ulvophyceae* и *Charophyceae* [2]. Предполагается, что биосинтез ауксина осуществляется через триптамиин и индолил-3-ацетонитрил, поскольку ферменты, задействованные в таком преобразовании,

обнаружены у ряда водорослей, принадлежащих к различным таксономическим группам [1].

Ранее проведенные исследования показали, что ауксины повышают темп роста и урожайность микроводорослей *Chlorella vulgaris*, *Chlorella pyrenoidosa*, *Chlamydomonas reinhardtii* и *Scenedesmus obliquus* [8, 17, 26, 32]. Контролируемое добавление ауксинов в культуру микроводорослей приводит к увеличению продуктивности липидов до 3 раз у *S. abundans* [10].

Эти данные позволяют предположить, что использование ауксинов может быть важной стратегией оптимизации питательной среды для культивирования микроводорослей.

Однако эти исследования не всегда показывают оптимальные концентрации фитогормонов с точки зрения производства биомассы, динамики изменения ее состава и выхода липидов. Кроме того, в них не рассматривается механизм действия фитогормонов и не проводится анализ затрат и выгод от добавления фитогормонов [23].

Однако следует отметить, что повышение эффективности культивирования микроводорослей является потенциальным методом коммерческого производства *Chaetoceros muelleri* (*Ch. muelleri*).

Целью исследования являлось определение влияния различных концентраций индолил-3-масляной и индол-3-уксусной кислот на продукционные и биохимические характеристики *Chaetoceros muelleri* в накопительной культуре.

Материалы и методы

В работе использовали культуру микроводорослей *Chaetoceros muelleri* из коллекции НПДМ ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз». Водоросль выращивали в накопительном режиме на питательной среде f/2, которую готовят на основе фильтрованной и стерилизованной морской воды с добавлением растворов основных минеральных солей (NaNO_3 ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), микроэлементов ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ЭДТА- Na_2 ; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и витаминов (B_1 ; B_7 ; B_{12}) [11]. Культура водорослей содержалась при постоянных условиях: температуре 21–23 °C, освещенности 8–10 кЛк, фотопериоде 8:16 ч (свет : темнота) и периодическом перемешивании (4–5 раза в сутки).

В качестве стимуляторов роста использовали индол-3-уксусную (ИУК) и индолил-3-масляную (ИМК) и кислоты (Hebei Guanlang Biotechnology Co., Ltd, China).

В качестве культиваторов использовались колбы Эрленмейера объемом 1 литр. В эксперименте использовали стерильные колбы, в которые в начале эксперимента наливали 400 мл чистой фильтрованной и стерилизованной морской воды, 100 мл культуры водорослей и стимулятор в исследуемых концентрациях. Одна колба была контрольной, т.е. культура росла без добавления стимулятора роста.

Культивирование осуществляли в монокультуре. Прирост биомассы водорослей определяли по увеличению числа клеток, просчитанных в каждом опыте в трех камерах Горяева под световым микроскопом. Продолжительность эксперимента составляла 7 дней.

Расчет скорости роста популяции (R), количества делений в сутки (K) и времени удвоения популяции (T_2) производили как указано в [24].

Общее содержание углеводов оценивали методом кислотного гидролиза проб взвеси водорослей, за счет чего образовавшиеся моносахаридные единицы переходят в фурфурольные производные, которые при добавлении в раствор L-триптофана образуют окрашенные комплексы, поглощающие свет при длине волны 540 нм [20].

Пробоподготовку для определения белка проводили согласно [14]. Определение содержания белка проводили методом Лоури [22].

Общее содержание липидов проводили методом, в основе которого лежит цветная реакция ванилина в кислой среде с липидами, с образованием интенсивного окрашивания. Хромогенными группами выступают гидроксильные и карбонильные [15].

Сумму хлорофиллов выделяли методом экстракции ацетоном из предварительно замороженной биомассы водорослей [6]. Количественное содержание хлорофиллов определяли спектрофотометрически при длинах волн 630, 647, 664 и 750 нм. В качестве контроля использовали 90% ацетон [3].

Обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения Excel и STATISTICA® 7.0, определяя стандартное отклонение и доверительный интервал в трех повторениях экспериментов. Среднюю квадратичную ошибку определяли с учетом доверительного интервала $D \pm 5\%$ и надежности $p \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

Проведена оценка влияния различных концентраций ИУК и ИМК на рост культуры *Chaetoceros muelleri* в течение 7-дневного культивирования (рис. 1).

Проведенное исследование показало, что ИУК в высокой ($1,0 \times 10^{-5}$ моль/л) концентрации не оказывала стимулирующего влияния на рост культуры *Ch. muelleri* в накопительной культуре. В тоже время ИУК в концентрациях $0,2 - 0,6 \times 10^{-5}$ моль/л оказывала стимулирующий эффект на развитие культуры. Наибольшая стимулирующая способность определена при внесении в культуральную среду ИУК в концентрации $0,2 \times 10^{-5}$ моль/л. При этом, плотность культуры за 7 суток культивирования возрастала на 270%. За этот же период культивирования плотность культуры в контрольной группе увеличилась на 211%.

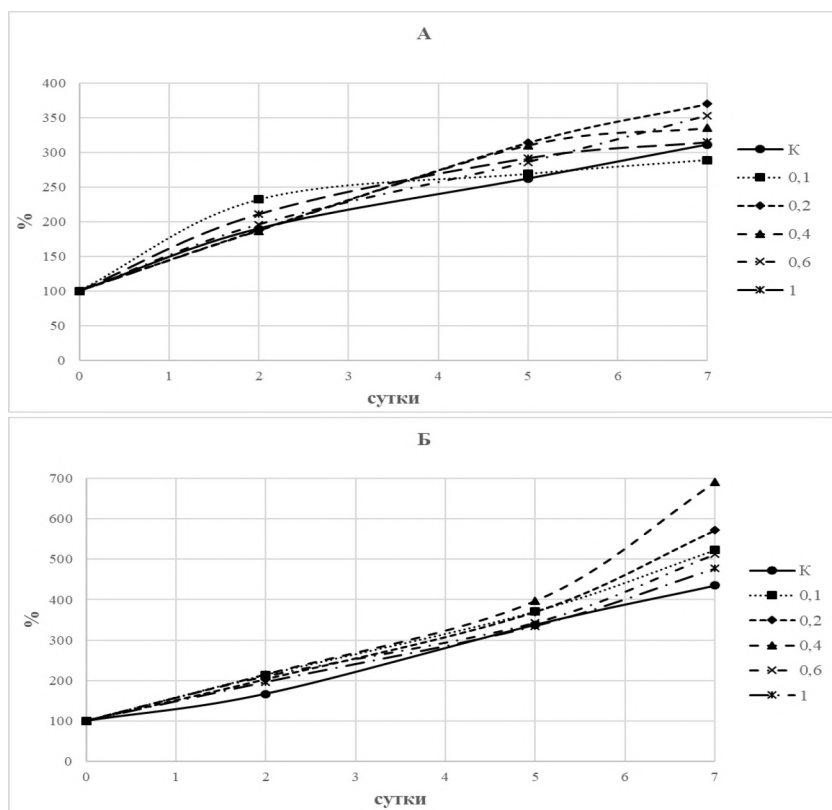


Рис. 1. Динамика накопления плотности культуры *Ch. muelleri* под действием различных концентраций ИУК (А) и ИМК (Б)

Примечание: на рисунке представлены средние значения плотности культуры трех экспериментов ($p \leq 0.05$)

Проведенными исследованиями установлено, что все исследованные концентрации ИМК стимулировали рост культуры. Наибольший стимулирующий эффект отмечен при концентрации ИМК равной $0,4 \times 10^{-5}$ моль/л. Стимулирующий эффект составил 591% по сравнению со стартовой культурой. Для остальных исследованных концентраций фитогормона отмечено увеличение количества клеток в культуре на 377-472%. Следует отметить, что в контрольной культуре (без добавления фитогормона) прирост культуры за 7 суток культивирования составил 335%.

Таким образом установлено, что внесение в культуру ИУК в концентрации $0,2 \times 10^{-5}$ моль/л увеличивает плотность культуры на 60% по сравнению с контролем, а внесение в культуру ИМК в концентрации $0,4 \times 10^{-5}$ моль/л увеличивает плотность культуры на 58,9% по сравнению с контролем.

Сравнение констант, характеризующих рост культуры микроводоросли позволил определить особенности влияния двух фитогормонов (табл. 1).

Таблица 1.

Скорость роста популяции (R), количество делений в сутки (K) и времени удвоения популяции (T_2) *Ch. muelleri* под действием ауксинов за семь дней культивирования

Параметр	Контроль	3 ИМК	3 ИУК
Период, сутки	0-7		
R, клеток/сутки ⁻¹	0,10	0,14	0,13
K, количество делений в сутки ⁻¹	0,15	0,21	0,18
T_2 , сутки	6,66	4,58	5,33

Полученные данные свидетельствуют, что скорость роста популяции *Ch. muelleri* под воздействием фитогормонов возрастала в 1,3 – 1,4 раза по сравнению с контролем. Определено, что количество делений в сутки при использовании ИМК в 1,4 раза больше, чем при использовании ИУК. Можно сделать вывод, что чем выше скорость роста (R) тем больше количество делений клеток в сутки (K). Время удвоения популяции относится к способности водоросли производить еще одну клетку в течение одного дня (Andersen 2005). Если значения T_2 меньше, то можно сделать вывод, что водоросли имеют более высокую скорость роста и более высокую плотность культуры в процессе культивирования. Вследствие высокой скорости роста время удвоения численности популяции от исходных клеток для *Ch. muelleri* под действием ИМК составляло 4,58 суток, в то время как под действием ИУК 5,33 суток. По сравнению с контрольной группой время

удвоения популяции под действием ИМК и ИУК уменьшалось в 1,5 и 1,3 раза, соответственно.

На основании приведённых выше данных проведено определение основных биохимических показателей культуры *Ch. muelleri* при культивировании с использованием эффективных концентраций ИУК ($0,2 \times 10^{-5}$ моль/л) и ИМК ($0,4 \times 10^{-5}$ моль/л).

Проведенное исследование показало, что накопление белка в первые 3-е суток культивирования было равным в контрольной и опытной культуре при внесении ИУК (рис.2 А). К 7-м суткам культивирования отмечен резкий рост количества белка в контрольной культуре – на 370%, по сравнению с исходными значениями. В опытной культуре прирост количества белка составил за тот же период 480%. К окончанию эксперимента различия в продукции белка в опытной и контрольной группах составляло 4,9 мкг/мл или 29,3%.

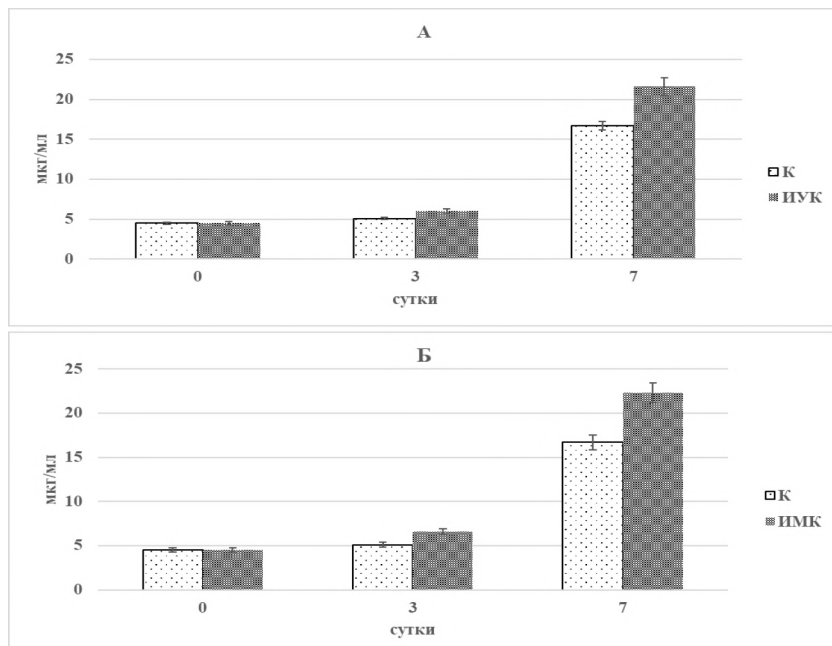


Рис. 2. Динамика накопления белка (мкг/мл) в культуре *Ch. muelleri* под действием ИУК (А) и ИМК (Б)

Примечание: планки погрешностей значений соответствуют стандартному отклонению от среднего значения ($p \leq 0.05$)

Следует отметить, что введение 3 ИМК в культуру *Ch. muelleri* в первые 3-е суток культивирования не оказывала влияния на концентрацию белка (рис. 2 Б). Однако на 7-сутки культивирования концентрация белка в опытной на 33,5% больше, чем в контрольной культуре.

Таким образом, два исследованных фитогормона в эффективных концентрациях по белок-стимулирующей способности на 3-е сутки эксперимента не различались.

Липиды в микроводорослях кроме основной структурной функции выполняют роль запасных питательных энергетических веществ.

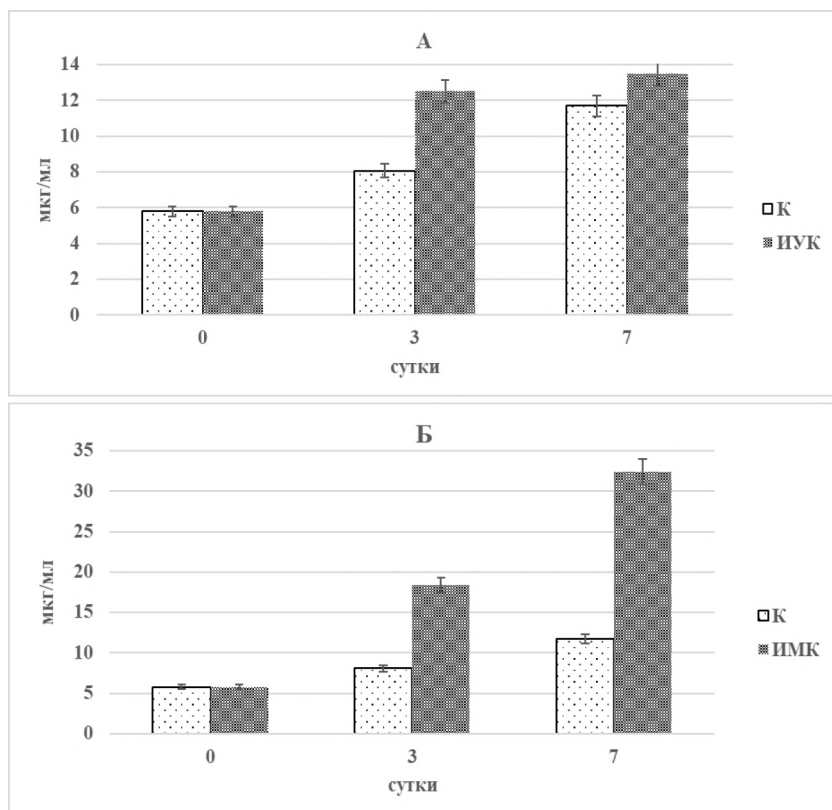


Рис. 3. Динамика накопления липидов (мкг/мл) в культуре *Ch. muelleri* под действием ИУК (А) и ИМК (Б)

Примечание: планки погрешностей значений соответствуют стандартному отклонению от среднего значения ($p \leq 0.05$)

Полученные результаты свидетельствуют о липид-стимулирующей активности ИУК (рис.3 А). Так, за 3-е суток культивирования концентрация липидов в среде опытной культуры увеличилась в 2,16 раза, в контрольной культуре – в 1,4 раза. Однако дальнейшее культивирование увеличивало концентрацию липидов в контрольной группе еще на 45%, в опытной группе прирост составил только 8%. За все время эксперимента концентрация липидов возрастала в опытной группе на 132,8%, в контрольной на 101,7%. Таким образом липид-стимулирующий эффект применения 3 ИУК за 7 суток культивирования составил 132,8 %.

Из представленных на рисунке данных видно, что ИМК в концентрации $0,4 \times 10^{-5}$ моль/л проявляет выраженный положительный эффект на накопление липидов в культуре (рис 3 Б). Так, на 3-е сутки культивирования количество липидов в опытной культуре возрастало на 317,2%, а на 7-е сутки на 558,6%, по сравнению с исходными значениями. Прирост концентрации липидов на 3-й и 7-й день культивирования, по сравнению с контрольной группой, составил 228% и 276,9%, соответственно.

Следует отметить, что внесение ИМК в культуральную среду *Ch. muelleri* за семь дней культивирования повышало концентрацию липидов до 32,4 мкг/мл, в то время как применение ИУК способствовало повышению концентрации липидов до 13,5 мкг/мл. Таким образом проведенным исследованием установлена специфичность липид стимулирующей способности ИМК.

Одним из показателей эффективности метаболических процессов фотосинтезирующих организмов является накопление углеводов. Проведено исследование влияния эффективных концентраций ИУК и ИМК на накопление углеводов в культуре *Ch. muelleri* за семь дней культивирования (рис. 4).

Как видно из представленных данных в первые 3-е суток культивирования *Ch. muelleri* с использованием ИУК отмечен значительный рост концентрации углеводов: в опытной группе на 207,4%, в контрольной группе на 112,1% (рис 4 А). Однако дальнейшее культивирование приводило к резкому снижению количества углеводов в опытной группе (на 54,1%) и увеличению в контрольной группе на 32,5% по сравнению с показателями на 3-е сутки культивирования.

При этом количество углеводов в опытной группе на 7-е сутки культивирования на 54% меньше, чем в опытной культуре на 3-й день культивирования.

Исследование динамики накопления углеводов в культуре *Ch. muelleri* под действием ИМК (рис. 4 Б) показало, что максимальное их содержание определяется на 3-сутки культивирования в опытной культуре и состав-

ляет 19,2 мкг/мл. При этом в контрольной группе содержание углеводов было на 36% меньше, чем в опытной группе. Однако на 7-е сутки культивирования отмечено снижение накопления углеводов в опытной группе на 34,9%, а в контрольной возросло на 32,5%. При этом различия в концентрации углеводов к окончанию эксперимента составляло 23,3%.

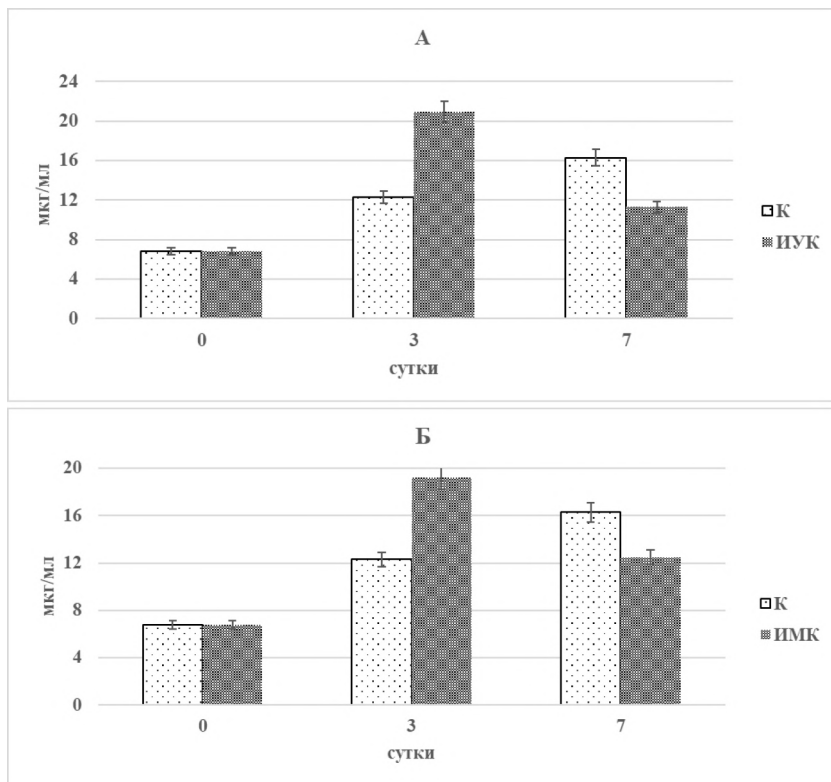


Рис. 4. Динамика накопления углеводов (мкг/мл) в культуре *Ch. muelleri* под действием ИУК (А) и ИМК (Б)

Примечание: планки погрешностей значений соответствуют стандартному отклонению от среднего значения ($p \leq 0.05$)

Таким образом углевод стимулирующий эффект ИМК проявляет в концентрации $0,4 \times 10^{-5}$ моль/л на 3-е сутки культивирования.

Содержание хлорофилла микроводорослей является основным параметром, характеризующим фотосинтетическую активность и продуктивность

культур. Проведено определение влияния эффективных концентраций фитогормонов ИУК и ИМК на концентрацию хлорофилла в культуре *Ch. muelleri*.

Результаты проведенного исследования показывают отсутствие влияния ИУК на накопление хлорофилла в культуре (рис. 5 А). В опытной и контрольной группах прирост накопления хлорофилла за 7 суток культивирования составил 2177,8 % и 2300%, соответственно.

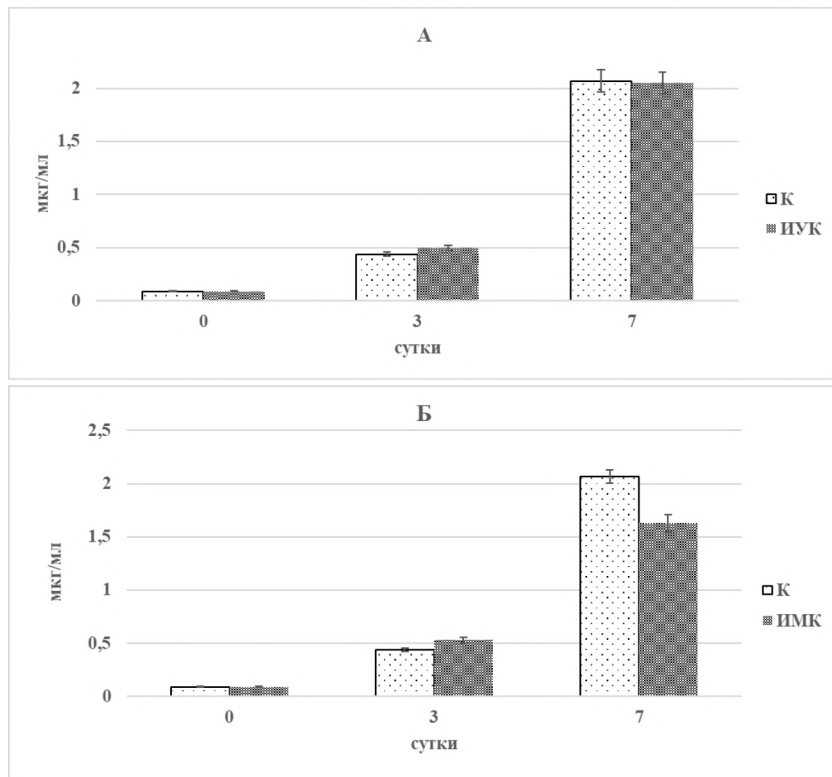


Рис. 5. Динамика накопления хлорофилла (мкг/мл) в культуре *Ch. muelleri* под действием ИУК (А) и ИМК (Б)

Примечание: планки погрешностей значений соответствуют стандартному отклонению от среднего значения ($p \leq 0.05$)

Проведенное исследование показало также отсутствие стимулирующего влияния ИМК на накопление хлорофилла в культуре *Ch. muelleri* в процессе культивирования (рис. 5 Б). К 7-м суткам культивирования кон-

центрация хлорофилла в контрольной группе составляла 2,07 мкг/мл, что на 21,3% больше, чем в опытной культуре.

Таким образом проведенным исследованием показано отсутствие влияния на концентрацию хлорофилла в культуре *Ch. muelleri* под действием ауксинов.

Заключение

Культивирование микроводорослей имеет важный практический аспект в качестве ценного живого корма в индустрии аквакультуры.

Актуальной задачей культивирования является поиск способов повышения эффективности роста биомассы микроводорослей в качестве источника ценных биологически активных соединений. Регуляторы роста, такие как фитогормоны, играют жизненно важную роль в манипулировании метаболическими путями в культивируемых растениях и водорослях.

Фитогормоны - это химические соединения, которые действуют как сигнальные молекулы регулирующие физиологические процессы, включая деление клеток и скорость синтеза белков, углеводов, липидов и вторичных метаболитов. Оценка содержания углеводов в биомассе микроводорослей является важной из-за их способности преобразовываться в биополимеры соединения углерода, включая углекислый газ.

Известно, что некоторые ауксины стимулируют фотосинтез, и как следствие производство моносахаридов, которые играют ключевую роль в качестве источника энергии [32].

Полученные нами данные свидетельствуют, что исследованные ауксины проявляли углевод-стимулирующий эффект только на 3-е сутки культивирования микроводорослей. Соответствующие значения для *Chaetoceros muelleri* составляли 69,9% и 56,1%, соответственно.

Белок является одним из важных биохимических соединений в микроводорослях, на концентрацию которого влияют условия окружающей среды и питательные вещества. Белок-стимулирующий эффект ауксинов отмечен при культивировании *Chaetoceros muelleri*. Так, применение ИМК стимулировало накопление белка на 33,5%. В то время как под действием ИУК концентрация белка на 7-е сутки культивирования увеличивалась на 29,3%, по сравнению с контролем.

Колебания содержания белка зависят от его биосинтеза и деградации. Ауксины регулируют скорость синтеза белков и ферментов в клетке путем увеличения скорости трансляции и транскрипции соответствующих генов. По-видимому, различия в концентрациях белка экспериментальных

культур объясняется различной способностью ИМК и ИУК к активации транскрипции генов.

Chaetoceros muelleri относят к олеиногенным, т.е. способным накапливать значительные количества липидов в процессе культивирования. Некоторые результаты показали, что влияние синтетических ауксинов на накопление липидов сильно зависит от дозы [13,19].

В текущем исследовании установлено, что содержание липидов увеличивалось при концентрации ИМК $0,4 \times 10^{-5}$ в культуре *Chaetoceros muelleri* на 176,9%, по сравнению с контрольной культурой. Важно отметить, что ИУК в концентрации $0,2 \times 10^{-5}$ М оказывала не значительный положительный эффект на накопление липидов в культуре *Chaetoceros muelleri*.

Это увеличение может быть связано с различной способностью фитогормонов влиять на активность некоторых ключевых ферментов участвующих в биосинтезе липидов, например, ацетил коэнзима, который катализирует необратимое карбоксилирование ацетил-КоА до получения малонил-КоА - основного субстрата для производства жирных кислот в клетках микроводорослей.

В данном исследовании добавление в культуральную среду ИМК и ИУК $0,2-0,6 \times 10^{-5}$ М оказало стимулирующее действие на накопление биомассы микроводорослей. Исследованные фитогормоны стимулировали накопление белка и п липидов в накопительной культуре *Chaetoceros muelleri*.

Полученные результаты показывают, что исследованные ауксины могут быть использованы как эффективные стимуляторы роста *Chaetoceros muelleri* в накопительной культуре.

В заключение следует отметить, что повышение эффективности культивирования микроводорослей является потенциальным методом для коммерческого производства биомассы в качестве живого корма для объектов марикультуры.

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

Список литературы

1. Киселева А.А., Тараховская Е.Р., Шишова М.Ф. Биосинтез фитогормонов у водорослей // Физиология растений. 2012. № 59. С. 643-659.
2. Романенко Е. А., Косаковская И. В., Романенко П. А. Фитогормоны микроводорослей: биологическая роль и участие в регуляции

- физиологических процессов. Ч. I. Ауксины, абсцизовая кислота, этилен // Альгология. 2015. Т. 25. № 3. С. 330–351.
3. Aminot A., Ray F. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. ICES techniques in marine environmental sciences // International Council for the Exploration of the Sea. 2001. 16 p.
 4. Bajguz A., Piotrowska-Niczyporuk A. Synergistic effect of auxins and brassinosteroids on the growth and regulation of metabolite content in the green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae) // Plant Physiology and Biochemistry. 2013. Vol. 71. P. 290-297.
 5. Berard-Therriault L., Poulin M., Bosse L. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent: incluant egalement certains protozoaires // Canadian Science Publishing (NRC Research Press). 1999. 387 p.
 6. Carneiro M., Pojo V., Malcata F.X., Otero A. Lipid accumulation in selected *Tetraselmis* strains // Journal of Applied Phycology. 2019. Vol. 31. № 5. P. 2845-2853.
 7. Chen B., Wan C., Mehmood M.A., Chang J.S., Bai F., Zhao X. Manipulating environmental stresses and stress tolerance of microalgae for enhanced production of lipids and value-added products; a review // Bioresource Technology. 2017. Vol. 244. P. 1198-1206.
 8. Czerpak R., Bajguz A. Stimulatory effect of auxins and cytokinins on carotenoids, with differential effects on xanthophylls in the green alga *Chlorella pyrenoidosa* Chick // Acta Societatis Botanicorum Poloniae. 1997. Vol. 66. P. 41-46.
 9. Fazal T., Mushtaq A., Rehman F., Khan A.U., Rashid N., Farooq W., Xu J. Bioremediation of textile wastewater and successive biodiesel production using microalgae // Renewable & Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 82. P. 3107-3126.
 10. Gonzalez-Garcinu A., Sanchez-Alvarez J.A., Martin del Valle E.M. Understanding and optimizing the addition of phytohormones in the culture of microalgae for lipid production // Biotechnology Progress. 2016, Vol. 32. № 5. P. 1203-1221.
 11. Guillard, R.R.L. Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates. In: Smith, M.L. and Chanley, M.H., Eds., Culture of Marine Invertebrates Animals, Plenum Press, New York, 1975. P. 29-60.
 12. Hadizadeh Z., Mehrgan M.S., Shekarabi S.P.H. The potential use of stickwater from a kilka fishmeal plant in *Dunaliella salina* cultivation // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 2144-2154.
 13. Han S.F., Jin W., Abomohra A.E.F., Zhou X., Tu R., Chen C., Wang Q. Enhancement of lipid production of *Scenedesmus obliquus* cultivated in municipal

- wastewater by plant growth regulator treatment // Waste Biomass Valorization. 2019. Vol. 10. P. 2479-2485.
14. Herbert D., Phipps P. J., Strange R. E. Chemical analysis of microbial cells // Methods in Microbiology. 1971. № 5. P. 209-344.
 15. Johnson K.R., Ellis G., Toothill C. The sulfophosphovanilin reaction for serum lipids: a reappraisal // Clinical Chemistry. 1977. Vol. 23. P. 1669-1673.
 16. Kawamura T., Roberts R.D., Nicholson C.M. Factors affecting the food value of diatom strains for post-larval abalone *Haliotis iris* // Aquaculture. 1998. Vol. 160. P. 81-88.
 17. Kobraei M.E., White D.S. Effects of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on Kentucky Algae: simultaneous laboratory and field toxicity testings // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 1996. Vol. 31. P.571-580.
 18. Koyande A.K., Chew K.W., Rambabu K., Tao Y., Chu D.T., Show P.L. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans // Food Science and Human Wellness. 2019. Vol. 8. P. 16-24.
 19. Kozlova T.A., Hardy B.P., Krishna P. & Levin D.B. Effect of phytohormones on growth and accumulation of pigments and fatty acids in the microalgae *Scenedesmus quadricauda* // Algal Research. 2017. Vol. 27. P. 325-334.
 20. Laurens L.M.L., Dempster T.A., Jones H.D. T., Wolfrum E.J., Wychen S.V., McAllister J.S.P., Rencenberger M., Parchert K.J., Gloe L.M. Algal Biomass Constituent Analysis: Method Uncertainties and Investigation of the Underlying Measuring Chemistries // Journal of Analytical Chemistry. 2012. Vol. 84. № 4. P. 1879-1887.
 21. Lin B., Ahmed F., Du H., Li Z., Yan Y., Huang Y., Meng C. Plant growth regulators promote lipid and carotenoid accumulation in *Chlorella vulgaris* // Journal Applied Phycology. 2018. Vol. 30. P. 1549-1561.
 22. Lowry O., Rosenbrought N., Parr A., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry. 1951. Vol. 193. № 1. P. 265-276.
 23. Lu Y., Xu J. Phytohormones in microalgae: a new opportunity for microalgal biotechnology? // Trends in Plant Science. 2015. Vol. 20. P. 272-283.
 24. Measuring Growth Rates in Microalgal Cultures / Wood A. M., Everroad R. C., Wingard L. M. // Algal Culturing Technique [Andersen R.A.]. New York: Elsevier Academic Press. 2005. P. 269-285.
 25. Paliwal C., Mitra M., Bhayani K., Bharadwaj S.V., Ghosh T., Dubey S., Mishra S. Abiotic stresses as tools for metabolites in microalgae // Bioresource Technology. 2017. Vol. 244. P. 1216-1226.
 26. Park W-K., Yoo G., Moon M., Kim C.W., Choi Y-E., Yang J-W. Phytohormone supplementation significantly increases growth of *Chlamydomonas reinhardtii*

- cultivated for biodiesel production // Appl. Biochem. Biotechnol. 2013. Vol. 171. P. 1128-1142.
27. Rastar M., Hosseini S.P., Shamsaie M.S., Sabzi S. Effects of iron and zinc concentrations on growth performance and biochemical composition of *Haemato-coccus pluvialis*: a comparison between nanoparticles and their corresponding metals bulks // Journal of Algal Biomass Utilization. 2018. Vol. 9. P. 59–67.
28. Renuka N., Guldhe A., Prasanna R., Singh P., Bux F. Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges // Biotechnology Advances. 2018. Vol. 36. P. 1255-1273.
29. Rines J.E.B., Theriot E.C. Systematics of Chaetocerotaceae (Bacillariophyceae): I. A phylogenetic analysis of the family // Physiol. Res. 2003. Vol. 51. № 2. P. 83-98.
30. Rizwan M., Mujtaba G., Memon S.A., Lee K., Rashid N. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review // Renewable Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 92. P. 394-404.
31. Sabzi S., Mehrgan M.S., Islami H.R., Shekarabi S.P.H. Changes in biochemical composition and fatty acid accumulation of *Nannochloropsis oculata* in response to different iron concentrations // Biofuels. 2018. Vol. 12. P. 1-7.
32. Salama E-S., Kabra A.N., Ji M-K., Kim J.R., Min B., Jeon B-H. Enhancement of microalgae growth and fatty acid content under the influence of phytohormones // Bioresource Technology. 2014. Vol. 172. P. 97-103.
33. Webb K., Chu F.L. Phytoplankton as a food source for algae. In: Pruder G.D., Langdon C.J., Conklin D.E. (eds) // Proc. 2nd Int. Conf. Aquacult. Nutr. Spec. // Publ. No 2. Louisiana State University, Baton Rouge, LA. 1983. P. 272-291.
34. Zhao Y., Wang H.P., Han B., Yu X. Coupling of abiotic stresses and phytohormones for the production of lipids and high-value by-products by microalgae: a review // Bioresource Technology. 2019. Vol. 274. P. 549-556.
35. Zhuang L.L., Yu D., Zhang J., Liu F.F., Wu Y.H., Zhang T.Y., Hu H.Y. The characteristics and influencing factors of the attached microalgae cultivation: a review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 94. P. 1110-1119.
36. Zienkiewicz K., Du Z.Y., Ma W., Vollheyde K., Benning C. Stress-induced neutral lipid biosynthesis in microalgae-molecular, cellular and physiological insights // Biochimica et Biophysica Acta. 2016. Vol. 1861. P. 1269-1281.

References

1. Kiseleva A.A., Tarahovskaya E.R., Shishova M.F. Biosintez fitogormonov u vodorosle [Biosynthesis of phytohormones in algae]. *Fiziologiya rastenij*, 2012, no. 59, pp. 643-659.

2. Romanenko E.A., Kosakovskaya I.V., Romanenko P.A. Fitogormony mikro-vodoroslej: biologicheskaya rol' i uchastie v regulyacii fiziologicheskikh processov. Ch. I. Aukliny, abscizovaya kislota, etilen [Microalgae phytohormones: biological role and participation in the regulation of physiological processes. Part I. Auxins, abscisic acid, ethylene]. *Al'gologiya*, 2015, vol. 25, no. 3, pp. 330-351.
3. Aminot A., Ray F. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. ICES techniques in marine environmental sciences. International Council for the Exploration of the Sea, 2001, 16 p.
4. Bajguz A., Piotrowska-Niczyporuk A. Synergistic effect of auxins and brassinosteroids on the growth and regulation of metabolite content in the green alga *Chlorella vulgaris* (Trebouxiophyceae). *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, vol. 71, pp. 290-297.
5. Berard-Therriault L., Poulin M., Bosse L. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent: incluant egalement certains protozoaires. Canadian Science Publishing (NRC Research Press) . 1999, 387 p.
6. Carneiro M., Pojo V., Malcata F.X., Otero A. Lipid accumulation in selected Tetraselmis strains. *Journal of Applied Phycology*, 2019, vol. 31, no. 5, pp. 2845-2853.
7. Chen B., Wan C., Mehmood M.A., Chang J.S., Bai F., Zhao X. Manipulating environmental stresses and stress tolerance of microalgae for enhanced production of lipids and value-added products; a review. *Bioresource Technology*, 2017, vol. 244, pp. 1198-1206.
8. Czerpak R., Bajguz A. Stimulatory effect of auxins and cytokinins on carotenes, with differential effects on xanthophylls in the green alga *Chlorella pyrenoidosa* Chick. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 1997, vol. 66, pp. 41-46.
9. Fazal T., Mushtaq A., Rehman F., Khan A.U., Rashid N., Farooq W., Xu J. Bioremediation of textile wastewater and successive biodiesel production using microalgae. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 82, pp. 3107-3126.
10. Gonzalez-Garcinu A., Sanchez-Alvarez J.A., Martin del Valle E.M. Understanding and optimizing the addition of phytohormones in the culture of microalgae for lipid production. *Biotechnology Progress*, 2016, vol. 32, no. 5, pp. 1203-1221.
11. Guillard, R.R.L. Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates. In: Smith, M.L. and Chanley, M.H., Eds., Culture of Marine Invertebrates Animals, Plenum Press, New York, 1975, pp. 29-60.
12. Hadizadeh Z., Mehrgan M.S., Shekarabi S.P.H. The potential use of stickwater from a kilka fishmeal plant in *Dunaliella salina* cultivation. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, pp. 2144-2154.

13. Han S.F., Jin W., Abomohra A.E.F., Zhou X., Tu R., Chen C., Wang Q. Enhancement of lipid production of *Scenedesmus obliquus* cultivated in municipal wastewater by plant growth regulator treatment. *Waste Biomass Valorization*, 2019, vol. 10, pp. 2479-2485.
14. Herbert D., Phipps P. J., Strange R. E. Chemical analysis of microbial cells. *Methods in Microbiology*, 1971, no. 5, pp. 209-344.
15. Johnson K.R., Ellis G., Toothill C. The sulfophosphovanilin reaction for serum lipids: a reappraisal. *Clinical Chemistry*, 1977, vol. 23, pp. 1669-1673.
16. Kawamura T., Roberts R.D., Nicholson C.M. Factors affecting the food value of diatom strains for post-larval abalone *Haliotis iris*. *Aquaculture*, 1998, vol. 160, pp. 81-88.
17. Kobraei M.E., White D.S. Effects of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on Kentucky Algae: simultaneous laboratory and field toxicity testings. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1996, vol. 31, pp. 571-580.
18. Koyande A.K., Chew K.W., Rambabu K., Tao Y., Chu D.T., Show P.L. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 2019, vol. 8, pp. 16-24.
19. Kozlova T.A., Hardy B.P., Krishna P. & Levin D.B. Effect of phytohormones on growth and accumulation of pigments and fatty acids in the microalgae *Scenedesmus quadricauda*. *Algal Research*, 2017, vol. 27, pp. 325-334.
20. Laurens L.M.L., Dempster T.A., Jones H.D.T., Wolfrum E.J., Wychem S.V., McAllister J.S.P., Rencenberger M., Parchert K.J., Gloe L.M. Algal Biomass Constituent Analysis: Method Uncertainties and Investigation of the Underlying Measuring Chemistries. *Journal of Analytical Chemistry*, 2012, vol. 84, no. 4, pp. 1879-1887.
21. Lin B., Ahmed F., Du H., Li Z., Yan Y., Huang Y., Meng C. Plant growth regulators promote lipid and carotenoid accumulation in *Chlorella vulgaris*. *Journal Applied Phycology*, 2018, vol. 30, pp. 1549-1561.
22. Lowry O., Rosenbrought N., Parr A., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 1951, vol. 193, no. 1, pp. 265-276.
23. Lu Y., Xu J. Phytohormones in microalgae: a new opportunity for microalgal biotechnology? *Trends in Plant Science*, 2015, vol. 20, pp. 272-283.
24. Measuring Growth Rates in Microalgal Cultures. A. M. Wood, R.C. Everroad, L.M. Wingard. *Algal Culturing Technique* [Andersen R.A.]. New York: Elsevier Academic Press, 2005, pp. 269-285.
25. Paliwal C., Mitra M., Bhayani K., Bharadwaj S.V., Ghosh T., Dubey S., Mishra S. Abiotic stresses as tools for metabolites in microalgae. *Bioresource Technology*, 2017, vol. 244, pp. 1216-1226.

26. Park W-K., Yoo G., Moon M., Kim C.W., Choi Y-E., Yang J-W. Phytohormone supplementation significantly increases growth of *Chlamydomonas reinhardtii* cultivated for biodiesel production. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2013, vol. 171, pp. 1128-1142.
27. Rastar M., Hosseini S.P., Shamsaie M.S., Sabzi S. Effects of iron and zinc concentrations on growth performance and biochemical composition of *Haemato-coccus pluvialis*: a comparison between nanoparticles and their corresponding metals bulks. *Journal of Algal Biomass Utilization*, 2018, vol. 9, pp. 59-67.
28. Renuka N., Guldhe A., Prasanna R., Singh P., Bux F. Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, 2018, vol. 36, pp. 1255-1273.
29. Rines J.E.B., Theriot E.C. Systematics of Chaetocerotaceae (Bacillariophyceae): I. A phylogenetic analysis of the family. *Physiol. Res.*, 2003, vol. 51, no. 2, pp. 83-98.
30. Rizwan M., Mujtaba G., Memon S.A., Lee K., Rashid N. Exploring the potential of microalgae for new biotechnology applications and beyond: a review. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 92, pp. 394-404.
31. Sabzi S., Mehrgan M.S., Islami H.R., Shekarabi S.P.H. Changes in biochemical composition and fatty acid accumulation of *Nannochloropsis oculata* in response to different iron concentrations. *Biofuels*, 2018, vol. 12, pp. 1-7.
32. Salama E-S., Kabra A.N., Ji M-K., Kim J.R., Min B., Jeon B-H. Enhancement of microalgae growth and fatty acid content under the influence of phytohormones. *Bioresource Technology*, 2014, vol. 172, pp. 97-103.
33. Webb K., Chu F.L. Phytoplankton as a food source for algae. In: Pruder G.D., Langdon C.J., Conklin D.E. (eds). *Proc. 2nd Int. Conf. Aquacult. Nutr. Spec.* Publ. no 2. Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 1983, pp. 272-291.
34. Zhao Y., Wang H.P., Han B., Yu X. Coupling of abiotic stresses and phytohormones for the production of lipids and high-value by-products by microalgae: a review. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 274, pp. 549-556.
35. Zhuang L.L., Yu D., Zhang J., Liu F.F., Wu Y.H., Zhang T.Y., Hu H.Y. The characteristics and influencing factors of the attached microalgae cultivation: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, vol. 94, pp. 1110-1119.
36. Zienkiewicz K., Du Z.Y., Ma W., Vollheyde K., Benning C. Stress-induced neutral lipid biosynthesis in microalgae-molecular, cellular and physiological insights. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2016, vol. 1861, pp. 1269-1281.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ковалев Николай Николаевич, д-р биол. наук, профессор кафедры биохимии и биотехнологии, Институт Мирового Океана

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»
ДВФУ Кампус, 10, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край, 660022, Российская Федерация
kovalevnn61@yandex.ru*

Лескова Светлана Евгеньевна, канд. биол. наук, доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
ул. Луговая, 52Б, г. Владивосток, Приморский край, 690087, Российская Федерация
svetaleskova@mail.ru*

Михеев Евгений Валерьевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник «Научно-исследовательского института инновационных биотехнологий»

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
ул. Луговая, 52Б, г. Владивосток, Приморский край, 690087, Российская Федерация
zhenyasuper79@mail.ru*

Барсова Екатерина Андреевна, аспирант, заведующая лабораторией кафедры биохимии и биотехнологии, Институт Мирового Океана

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»
ДВФУ Кампус, 10, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, 660022, Российская Федерация
barsova.ea@dvfu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Nickolay N. Kovalev, Dr. Sc. (Biology), Professor of Department of Biochemistry and Biotechnology, Institute of the World Ocean

Far Eastern Federal University

FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russian Federation

kovalevnn61@yandex.ru

SPIN-code: 96894

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7100-7208>

Svetlana E. Leskova, Ph. Dr. (Biology), Assistant professor of Department “Water bioresources and aquaculture”

Far Eastern State Technical Fisheries University

52B, Lugovaya, Vladivostok, Primorsky Krai, 690089, Russian Federation

svetaleskova@mail.ru

SPIN-code: 5124-2384

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7058-3449>

Evgeny V. Mikheev, Ph. Dr. (Technology), Head Researcher of Research Institute of Innovative Biotechnologies

Far Eastern State Technical Fisheries University

52B, Lugovaya, Vladivostok, Primorsky Krai, 690089, Russian Federation

zhenyasuper79@mail.ru

SPIN-code: 1244-4962

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3433-5653>

Scopus Author ID: 6602626984

Ekaterina A. Barsova, Head of the Laboratory of Department of Biochemistry and Biotechnology, Institute of the World Ocean

Far Eastern Federal University

FEFU Campus, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Primorsky Krai, 690922, Russian Federation

barsova.ea@dvfu.ru

SPIN-code: 3891-9427

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5752-8648>

ResearcherID: GWQ-6967-2022

Scopus Author ID: 57196417972

Поступила 10.10.2023

После рецензирования 04.12.2023

Принята 16.12.2023

Received 10.10.2023

Revised 04.12.2023

Accepted 16.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-856

УДК 581.1:581.5



Научная статья

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ И СООТНОШЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ТРЕХ ВИДАХ СФАГНОВЫХ МХОВ

А.К. Штанг, Т.И. Пономарева

Обоснование. Есть основания полагать, что у сфагновых мхов, как и сосудистых растений, концентрация фотосинтетических пигментов изменяется в течение года и варьирует от вида к виду. Помимо этого, мочажинные виды сфагнов обладают более высокой скоростью роста и фотосинтеза, чем грядовые, что позволяет предположить наличие различий в пигментном комплексе у видов разных местообитаний.

Цель. Оценка количественных изменений пигментного комплекса сфагновых мхов, произрастающих в разных микроклиматических условиях в пределах верховых болот, в ходе вегетации в высоких широтах.

Материалы и методы. У трех видов сфагновых мхов, растущих в олиготрофных условиях, один раз в месяц с мая по октябрь определяли содержание фотосинтетических пигментов фотометрическим методом в ацетоновой вытяжке. Для *S. fuscum* и *S. lindbergii* исследование проводили в 2021-2022 гг., а для *S. angustifolium* – только в 2022. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программ Microsoft Excel 2010 и SPSS Statistics 11.

Результаты. Для исследованных видов сфагнума была выявлена сезонная и межгодовая изменчивость содержания хлорофиллов, каротиноидов, и их соотношений. На пигментный комплекс *S. lindbergii* и *S. angustifolium* в ходе вегетационного сезона влияет уровень болотных вод и температура воздуха. Изменения в пигментном комплексе *S. fuscum* связаны с количеством выпадающих осадков.

Заключение. По-видимому, сезонная и межгодовая динамика пигментного комплекса сфагновых мхов имеет видоспецифичный характер, но для дополнительной проверки этого утверждения необходимо изучить другие виды сфагнов из тех же местообитаний, поскольку динамика может быть связана не столько с конкретным видом, сколько с экологическими условиями местообитания.

Ключевые слова: хлорофилл; каротиноиды; сезонная динамика; *Sphagnum*
Для цитирования. Штанг А.К., Пономарева Т.И. Сезонные изменения концентрации и соотношения фотосинтетических пигментов в трех видах сфагновых мхов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 227-249. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-856

Original article

SEASONAL CHANGES IN THE CONCENTRATION AND RATIOS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE THREE SPHAGNUM SPECIES

A.K. Shtang, T.I. Ponomareva

Background. There is reason suppose that the concentration of photosynthetic pigments in sphagnum mosses, as in vascular plants, changes throughout the year and varies from species to species. Moreover, hollow sphagnum species have a higher growth and photosynthesis rate than ridge sphagnum species, which suggests the presence of differences in the pigment complex of species from different habitats.

Purpose. Evaluation of quantitative changes in the pigment complex of the sphagnum mosses growing in different microclimatic conditions within oligotrophic bogs during the growing season at high latitudes.

Materials and methods. The content of photosynthetic pigments in the three *Sphagnum* species growing in oligotrophic conditions was determined using the photometric method in an acetone extract once a month from May to October. The study was carried out for *S. fuscum* and *S. lindbergii* in 2021-2022, and for *S. angustifolium* only in 2022. Statistical data processing was carried out in Microsoft Excel 2010 and SPSS Statistics 11.

Results. Seasonal and interannual variability in the content of chlorophylls, carotenoids, and their ratios was revealed for the studied sphagnum species. The pigment complex of *S. lindbergii* and *S. angustifolium* during the growing season is influenced by the bog water level and air temperature. Changes in the pigment complex of *S. fuscum* are associated with the amount of precipitation.

Conclusion. Apparently, the seasonal and interannual dynamics of the pigment complex of sphagnum mosses is species-specific, but to further verify this statement it is necessary to study other species of sphagnum mosses from the same habitats, since the dynamics may be associated not so much with a peculiar species, but with the ecological conditions of the habitat.

Keywords: *chlorophyll; carotenoids; seasonal dynamics; Sphagnum*

For citation. Shtang A.K., Ponomareva T.I. *Seasonal Changes in the Concentration and Ratios of Photosynthetic Pigments in the Three Sphagnum Species. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 227-249. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-856*

Введение

Мхи рода *Sphagnum* L. являются растениями-эдификаторами, определяющими облик и функционирование бореальных верховых болот [36]. В пределах конкретного болота различные виды сфагновых мхов вдоль вертикального грядово-мочажинного градиента формируют отчетливые, хотя и несколько перекрывающиеся зоны, которые определяются совокупностью морфологических и физиологических признаков каждого вида, а также водным режимом и строением болота [21]. В течение вегетационного сезона сфагновые мхи, растущие в разных зонах вертикального градиента, подвергаются колебаниям таких факторов окружающей среды как освещенность, температура воздуха и доступность влаги, что влияет на интенсивность фотосинтетической ассимиляции углерода в живых частях побегов [34].

У сфагновых мхов, как и других растений, за поглощение и преобразование световой энергии в ходе фотосинтетических реакций, а также за защиту от окислительного стресса отвечают фотосинтетические пигменты [6]. Содержание хлорофилла считается достаточно стабильным консервативным структурным признаком, являющимся индикатором фотосинтетического потенциала отдельных видов растений [17]. Кроме того, существуют исследования, показывающие наличие тесной связи концентрации хлорофиллов со скоростью фотосинтеза у мхов [33]. В частности, количество хлорофилла *a* способно отражать фотосинтетическую продуктивность растений [6].

В северных широтах фотосинтетическая активность у мохообразных характеризуется сезонностью с увеличением к концу вегетационного периода, а сезонные колебания содержания метаболитов носят видоспецифичный характер [28], поэтому есть основания полагать, что концентрация фотосинтетических пигментов и их соотношения у сфагновых мхов также изменяются в течение года и варьируют от вида к виду. Помимо этого, мочажинные виды сфагнов обладают более высокой скоростью роста и фотосинтеза, чем грядовые [22], что позволяет предположить наличие различий в пигментном комплексе у видов разных местообитаний. Тем не менее, основная масса публикаций, посвященных содержанию хлорофиллов и каротиноидов у мохообразных на территории европейской части бореальной зоны, включа-

ет результаты одномоментных измерений в рамках вегетационного сезона, обычно не учитывающих особенности состояния экотопа в разные сезона года. Имеющиеся данные позволяют охарактеризовать одно из состояний растения в определенный момент времени, но не дают полной картины видоизменения и адаптации фотосинтетического аппарата в течение года.

Целью данной работы является оценка количественных изменений пигментного комплекса сфагновых мхов, произрастающих в разных микроклиматических условиях в пределах верховых болот, в ходе вегетации в высоких широтах.

Материалы и методы исследования

Исследование проводили в 2021–2022 гг. на Иласском болоте олиготрофного типа, расположенном, в 20 км к юго-юго-западу от г. Архангельска в бассейне реки Северная Двина в северной подзоне тайги (64°19'43" N, 40°36'45" E).

Первая пробная площадь располагалась вблизи центра болота на грядомо-мочажинном комплексе, где элементы болотного микрорельефа хорошо дифференцированы. Вторая пробная площадь располагалась экотонной зоне лес-болото в сосново-кустарничково-сфагновом сообществе.

В качестве объектов исследования выбраны виды сфагновых мхов, широко распространенные на верховых болотах региона исследования [20]: *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr., *Sphagnum lindbergii* Schimp., *Sphagnum angustifolium* (C. Jensen ex Russow) C. Jensen. Два вида из выбранных (*Sphagnum fuscum* и *S. lindbergii*) считаются исключительно болотными. На верховых болотах *Sphagnum lindbergii* участвует в сложении мохового покрова мочажин [15]. *Sphagnum fuscum* – вид, имеющий высокую фитоценотическую значимость на болотах олиготрофного типа, образующий кочки и покрывающий гряды [16]. *S. angustifolium* – мезо-олиготрофный вид, широко распространенный как на верховых и переходных болотах, так и в заболоченных лесах [19].

В 2021 г. на Иласском болоте были заложены пробные площади размером 50×50 см для отбора проб мхов, по 3 на каждый вид сфагнума. На участках гряд, где отсутствует затенение деревьями, заложили пробные площади с моховым покровом, образованным *S. fuscum*. *S. lindbergii* образует в мочажинах смешанные сообщества с другими сфагнами, поэтому для него заложили пробные площади на участках мочажины с наибольшей концентрацией побегов данного вида. В 2022 г. исследование пигментного комплекса вновь провели на тех же пробных площадях для болотных видов *S. fuscum* и *S. lindbergii*, но добавили еще один вид – растущий в эко-

тонной зоне лес-болото *S. angustifolium*. Пробные площади для него были заложены аналогично двум другим видам.

С каждой пробной площади ежемесячно в течение периода вегетации (с мая по октябрь) отбирали по 5 пучков сфагнов естественной влажности (из мочажин по 6 пучков диаметром 3-5 см (в зависимости от размеров растений). Побеги обрезали до 3 см, считая от верхушки головки, затем из этих частей побегов для каждого вида формировали смешанную пробу.

Пигменты для каждого вида сфагнума экстрагировали на следующий день после отбора проб в трехкратной повторности с помощью 80%-го ацетона. Концентрацию пигментов (хлорофиллов и каротиноидов (сумму каротинов и ксантофиллов)) в полученной ацетоновой вытяжке определяли на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония). Для записи спектров использовали длины волн и коэффициенты экстинкции для 80 %-го ацетона, предложенные Х.К. Лихтенштейном [29].

Для характеристики погодных условий района исследования в 2021 и 2022 гг. были использованы данные метеостанции «Архангельск», взятые из открытых источников [18]. Для дальнейшего анализа данных значения среднесуточной температуры за десятидневный период усредняли, а количество осадков складывали. Десятидневный период был выбран исходя из того, что пигментный комплекс растений адаптируется к меняющимся условиям среды в течение нескольких предыдущих дней [8].

В гидрологических колодцах, расположенных на гряде, на которой проводили отборы, и в лесу в день отбора проб рулеткой измеряли уровень болотных вод. Для характеристики влагообеспеченности территории в мае-октябре 2021 и 2022 гг. использовали гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова [10].

Обработка первичных данных (описательная статистика, вычисления) выполнена в программе Microsoft Excel. При статистическом анализе данных использовали непараметрические критерии, применяемые для малых выборок. Различия в значениях параметров пигментного комплекса по месяцам последовательно оценивали при помощи непараметрического критерия U Манна-Уитни. Связь между параметрами пигментного комплекса и уровнем болотных вод, температурой воздуха и количеством осадков оценивали с применением коэффициента корреляции Спирмена. Данные в таблицах представлены в формате среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Результаты статистических анализов оценивали при уровне значимости $p=0,05$. Статистический анализ данных выполнен с использованием IBM SPSS Statistics 11.0 [13].

Результаты исследования

Согласно данным сайта www.pogodaiklimat.ru, средняя температура воздуха за период с мая по октябрь в 2021 и 2022 г. составила $11,3 \pm 6,6$ °С и $11,9 \pm 6,5$ °С соответственно. Среднесуточные температуры воздуха в первой трети сезона были, как правило, выше в 2021 г., чем в 2022 г., но начиная с середины июля среднесуточные температуры воздуха в 2022 г. стали превышать показатели 2021 г. (рисунок 1).

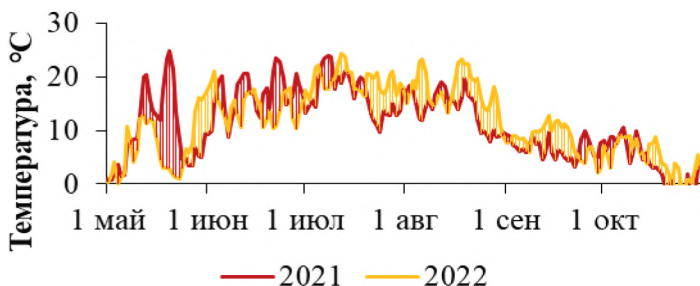


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха в период с мая по октябрь в 2021 и 2022 гг.

Сумма осадков в мае-октябре 2021 г. составила 315,7 мм, а в тот же период 2022 г. – 377 мм. В целом, для летнего периода 2022 г. характерно более равномерное распределение осадков, в то время как для лета 2021 г. можно отметить залповые осадки, выпадающие редко и в большом объеме (рис. 2).

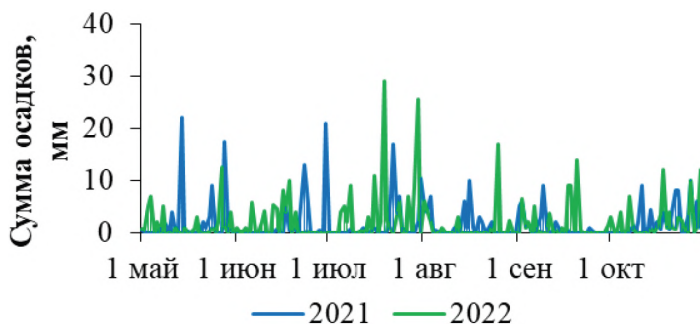


Рис. 2. Суточные суммы осадков в период с мая по октябрь в 2021 и 2022 гг.

Уровень болотных вод на болоте в 2021 г. снижался с мая по август с -14,7 до -35 см, после чего возрастал к октябрю до -13 см. В 2022 г. характер динамики уровня болотных вод был схожим с 2021 г., однако зна-

чения УБВ были выше: отмечалось снижение уровня болотных вод с мая по август с -10 до -22 см с дальнейшим повышением к октябрю до -12 см. В экотонной зоне уровень болотных вод в 2022 г. снижался в мае-июне с -22 до -70 см. В последующие месяцы вода в гидрологическом колодце отсутствовала, т.е. уровень болотных вод находился ниже дна колодца, глубина которого составляет 80 см (рисунок 3).

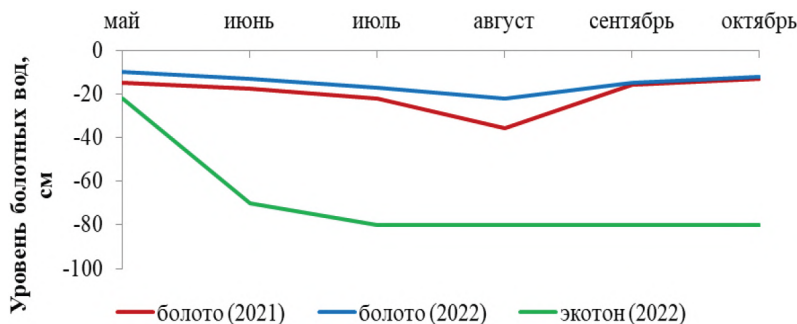


Рис. 3. Уровень болотных вод в лесу и на болоте в период с мая по октябрь в 2021 и 2022 гг.

В ходе изучения пигментного комплекса трех видов сфагновых мхов, растущих на верховом болоте и в сосняке кустарничково-сфагновом, в течение 2021-2022 гг. были получены данные по содержанию фотосинтетических пигментов и их соотношениям (таблица 1). Сумма хлорофиллов (Хл *a*) у исследованных сфагновых мхов находилась в диапазоне $0,09 \pm 0,01$ – $1,22 \pm 0,65$ мг/г. Концентрация хлорофилла *a* у сфагновых мхов за весь период проведения исследований изменялась в пределах $0,06 \pm 0,01$ – $0,94 \pm 0,51$ мг/г. Колебания хлорофилла *b* (Хл *b*) у исследованных видов сфагнов находились в диапазоне $0,04 \pm 0,004$ – $0,29 \pm 0,14$ мг/г, а каротиноидов (Кар) – в пределах $0,04 \pm 0,004$ – $0,51 \pm 0,16$ мг/г. Доля хлорофилла *a* в пигментном комплексе составила 28-60%, хлорофилла *b* – 19-32%, каротиноидов – 20-40%. Соотношение Хл *a/b* у сфагновых мхов за два года проведения исследований изменялось от $0,90 \pm 0,17$ до $3,20 \pm 0,23$ мг/г, а соотношение Хл/Кар – от $1,49 \pm 0,16$ до $4,09 \pm 0,05$ мг/г. Для *S. lindbergii* среднее значение суммы фотосинтетических пигментов за 2021 г. составило $0,89 \pm 0,55$ мг/г, тогда как в 2022 г. это значение составило $0,75 \pm 0,18$ мг/г. Среднее значение суммы фотосинтетических пигментов для *S. fuscum* составило $0,65 \pm 0,26$ мг/г и $0,32 \pm 0,11$ мг/г в 2021 и 2022 гг. соответственно. У *S. angustifolium* средняя сумма фотосинтетических пигментов в 2022 г. составила $0,67 \pm 0,19$ мг/г.

Для каждого отдельного вида сфагнома, выбранного в качестве объекта исследования, была выявлена сезонная изменчивость содержания суммы хлорофиллов, хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов, соотношения Хл *a/b*, соотношения Хл/Кар (Таблица 1).

Таблица 1.

Изменения параметров пигментного комплекса сфагновых мхов в период мая по октябрь 2021-2022 гг. Стрелки (↓ и ↑) означают наличие статистически значимых различий с предыдущим значением и показывают направление изменений (уменьшение или увеличение)

Виды	Дата	Хл, мг/г			Кар, мг/г	Соотношения	
		<i>a</i>	<i>b</i>	(<i>a+b</i>)		<i>a/b</i>	хл/кар
2021							
<i>S. lindbergii</i>	18.05	0,94±0,51	0,29±0,14	1,22±0,65	0,32±0,16	3,20±0,23	3,72±0,27
	9.06	0,70±0,16	0,27±0,04	0,97±0,20	0,29±0,03	2,59±0,28 ↓	3,33±0,33
	13.07	0,61±0,30	0,21±0,09	0,82±0,39	0,24±0,09	2,75±0,37	3,35±0,53
	26.08	0,26±0,03	0,12±0,01	0,39±0,04	0,10±0,01 ↓	2,13±0,21 ↓	3,74±0,09
	24.09	0,20±0,01 ↓	0,10±0,01 ↓	0,31±0,02 ↓	0,12±0,01 ↑	1,99±0,04	2,45±0,03 ↓
20.10	0,25±0,02 ↑	0,13±0,01 ↑	0,38±0,03 ↑	0,16±0,01 ↑	2,00±0,04	2,36±0,07	
<i>S. fuscum</i>	18.05	0,28±0,10	0,12±0,03	0,40±0,13	0,16±0,05	2,27±0,33	2,55±0,16
	9.06	0,42±0,003 ↑	0,24±0,003 ↑	0,66±0,01 ↑	0,27±0,005 ↑	1,70±0,01 ↓	2,40±0,05
	13.07	0,08±0,04 ↓	0,08±0,02 ↓	0,16±0,06 ↓	0,11±0,03 ↓	0,90±0,17 ↓	1,49±0,16 ↓
	26.08	0,48±0,05 ↑	0,22±0,02 ↑	0,70±0,07 ↑	0,24±0,04 ↑	2,16±0,05 ↑	2,98±0,32 ↑
	24.09	0,29±0,08 ↓	0,15±0,03 ↓	0,45±0,12 ↓	0,20±0,03	1,88±0,11 ↓	2,27±0,30 ↓
20.10	0,25±0,02	0,14±0,01	0,39±0,04	0,17±0,01	1,74±0,04	2,27±0,05	
2022							
<i>S. lindbergii</i>	24.05	0,28±0,05	0,15±0,03	0,43±0,08	0,14±0,02	1,89±0,03	2,97±0,13
	16.06	0,40±0,08 ↑	0,22±0,05 ↑	0,62±0,13 ↑	0,19±0,04 ↑	1,80±0,03 ↓	3,27±0,18
	20.07	0,38±0,03	0,19±0,02	0,58±0,05	0,19±0,02	1,96±0,04 ↑	3,03±0,08
	16.08	0,46±0,09	0,21±0,04	0,67±0,13	0,21±0,03	2,23±0,10 ↑	3,19±0,17
	21.09	0,49±0,02	0,23±0,01	0,72±0,03	0,23±0,02	2,14±0,03 ↓	3,15±0,10
19.10	0,25±0,01 ↓	0,14±0,01 ↓	0,39±0,02 ↓	0,13±0,01 ↓	1,87±0,04 ↓	2,95±0,07 ↓	
<i>S. fuscum</i>	24.05	0,14±0,02	0,08±0,01	0,23±0,03	0,09±0,01	1,71±0,07	2,54±0,24
	16.06	0,20±0,01 ↑	0,13±0,01 ↑	0,33±0,01 ↑	0,10±0,01	1,54±0,04 ↓	3,31±0,32 ↑
	20.07	0,17±0,05	0,08±0,02 ↓	0,25±0,07	0,09±0,02	2,04±0,09 ↑	2,86±0,16
	16.08	0,13±0,04	0,06±0,02	0,19±0,06	0,08±0,02	2,09±0,06	2,31±0,17 ↓
	21.09	0,19±0,04	0,09±0,02	0,28±0,06	0,13±0,02 ↑	2,13±0,04	2,17±0,19
19.10	0,06±0,01 ↓	0,04±0,004 ↓	0,09±0,01 ↓	0,04±0,004 ↓	1,65±0,08 ↓	2,25±0,12	
<i>S. angustifolium</i>	24.05	0,35±0,05	0,16±0,02	0,52±0,07	0,14±0,01	2,15±0,08	3,77±0,09
	16.06	0,19±0,04 ↓	0,10±0,02 ↓	0,29±0,06 ↓	0,09±0,01 ↓	1,96±0,06 ↓	3,23±0,21 ↓
	20.07	0,54±0,05 ↑	0,23±0,02 ↑	0,76±0,07 ↑	0,19±0,01 ↑	2,38±0,03 ↑	4,09±0,05 ↑
	16.08	0,37±0,09 ↓	0,18±0,05	0,54±0,14 ↓	0,13±0,03 ↓	2,05±0,07 ↓	4,08±0,12
	21.09	0,39±0,04	0,17±0,01	0,56±0,06	0,15±0,01	2,23±0,05 ↑	3,77±0,06 ↓
19.10	0,36±0,07	0,15±0,03	0,51±0,10	0,14±0,03	2,34±0,09	3,74±0,08	

В 2021 г. концентрация хлорофилла *a* у *S. lindbergii* в период с мая по октябрь снизилась только в сентябре (с $0,26 \pm 0,03$ мг/г до $0,20 \pm 0,01$ мг/г), при этом в октябре произошло повышение концентрации этого пигмента до августовского уровня. Те же тенденции наблюдали и для хлорофилла *b*. Концентрация каротиноидов снизилась в августе (с $0,24 \pm 0,09$ мг/г до $0,10 \pm 0,01$ мг/г), а затем стала увеличиваться, достигнув в октябре $0,16 \pm 0,01$ мг/г. Соотношение хлорофиллов *a/b* было наиболее высоким в мае ($3,20 \pm 0,23$), а затем уменьшилось в июне до $2,59 \pm 0,28$ и в августе до $2,13 \pm 0,21$, и оставалось на этом уровне до октября. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов снизилось с $3,74 \pm 0,09$ в августе до $2,45 \pm 0,03$ в сентябре.

Концентрация хлорофилла *a* и *b* у *S. fuscum* постоянно колебалась в период с мая по сентябрь. Концентрация хлорофилла *a* увеличилась в июне с $0,28 \pm 0,10$ мг/г до $0,42 \pm 0,003$ мг/г, снизилась в июле до $0,08 \pm 0,04$ мг/г, затем вновь возросла до $0,48 \pm 0,05$ мг/г в августе и снизилась до $0,29 \pm 0,08$ мг/г в сентябре. Аналогично изменениям содержания хлорофилла *a* концентрация хлорофилла *b* увеличилась в июне с $0,12 \pm 0,03$ мг/г до $0,24 \pm 0,003$ мг/г, снизилась в июле до $0,08 \pm 0,02$ мг/г, затем вновь возросла до $0,22 \pm 0,02$ мг/г в августе и снизилась до $0,15 \pm 0,03$ мг/г в сентябре. Концентрация каротиноидов увеличилась в июне с $0,16 \pm 0,05$ до $0,27 \pm 0,005$ мг/г, снизилась в июле до $0,11 \pm 0,03$ мг/г, затем снова возросла до $0,24 \pm 0,04$ мг/г. Соотношение хлорофиллов *a/b* снижалось от $2,27 \pm 0,33$ в мае до $0,90 \pm 0,17$ в июле, после чего возросло до $2,16 \pm 0,05$ в августе и снизилось до $1,88 \pm 0,11$ в сентябре. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов снизилось в июле с $2,40 \pm 0,05$ до $1,49 \pm 0,16$, затем увеличилось до $2,98 \pm 0,32$ в августе и вновь снизилось в сентябре до $2,27 \pm 0,30$.

У *S. lindbergii* в 2022 г. увеличение концентрации хлорофилла *a* произошло в июне (с $0,28 \pm 0,05$ мг/г до $0,40 \pm 0,08$ мг/г). В октябре концентрация хлорофилла *a* снизилась с $0,49 \pm 0,02$ до $0,25 \pm 0,01$ мг/г. Концентрация хлорофилла *b* увеличилась с $0,15 \pm 0,03$ мг/г до $0,22 \pm 0,05$ мг/г в июне и уменьшилась в октябре с $0,23 \pm 0,02$ мг/г до $0,13 \pm 0,01$ мг/г. В те же месяцы произошло увеличение и уменьшение концентрации каротиноидов. В июне концентрация каротиноидов выросла с $0,14 \pm 0,02$ мг/г до $0,19 \pm 0,04$ мг/г, в октябре – снизилась с $0,23 \pm 0,02$ мг/г до $0,13 \pm 0,01$ мг/г. Соотношение хлорофиллов *a/b* снизилось в июне с $1,89 \pm 0,03$ до $1,80 \pm 0,03$, а затем увеличивалось до августа ($2,23 \pm 0,10$). В сентябре-октябре происходило уменьшение соотношения хлорофиллов *a/b* до $1,87 \pm 0,04$. Соотношение хлорофиллов и каротиноидов изменилось только один раз – октябре. В это время произошло снижение соотношения с $3,15 \pm 0,10$ до $2,95 \pm 0,07$.

Концентрация хлорофилла *a* у *S. angustifolium* снизилась в июне с $0,35 \pm 0,05$ мг/г до $0,19 \pm 0,04$ мг/г, выросла в июле до $0,54 \pm 0,05$ мг/г, а затем снизилась до $0,37 \pm 0,09$ мг/г. Снижение концентрации хлорофилла *b* произошло в июне (с $0,16 \pm 0,02$ мг/г до $0,10 \pm 0,02$ мг/г), после чего концентрация выросла до $0,23 \pm 0,02$ мг/г. Концентрация каротиноидов снизилась в июне с $0,14 \pm 0,01$ мг/г до $0,09 \pm 0,01$ мг/г, увеличилась в июле до $0,19 \pm 0,01$ мг/г, а затем снова снизилась до $0,13 \pm 0,03$ мг/г. Соотношение хлорофиллов *a/b* уменьшилось в июне с $2,15 \pm 0,08$ до $1,96 \pm 0,06$, после чего увеличилось в июне до $2,38 \pm 0,03$, затем снова снизилось в августе до $0,13 \pm 0,03$. Снижение соотношения хлорофиллов и каротиноидов произошло в июне с $3,77 \pm 0,09$ до $3,23 \pm 0,21$, после чего последовало увеличение в июле до $4,09 \pm 0,05$. Еще одно снижение этого соотношения отмечено в сентябре (с $4,08 \pm 0,12$ до $3,77 \pm 0,06$).

Таблица 2.

Содержание воды в *S. lindbergii*, *S. fuscum*, *S. angustifolium* в 2021 и 2022 гг.

Вид	Год	Содержание воды, %					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
<i>S. lindbergii</i>	2021	84,2	85,6	84,8	85,9	84,5	87,6
	2022	94,6	92,9	91,8	94,9	94,9	95,1
<i>S. fuscum</i>	2021	85,5	85,9	80,9	86,9	90,3	87,6
	2022	90,3	89,1	90,2	91,3	90,3	89,6
<i>S. angustifolium</i>	2022	91,4	88,7	90,4	53,1	91,0	89,9

Естественная влажность всех болотных видов сфагновых мхов в мае-октябре 2021 и 2022 гг. изменялась в пределах 81,27-95,08%. Однако, у растущего в лесу *S. angustifolium* в августе 2022 г. естественная влажность снизилась до 53,13%, в остальное время этот вид по показателю влажности находился в диапазоне, выявленном для болотных мхов. Содержание воды в тканях видов, изученных в течение двух лет, в 2022 г. оказалось несколько выше, чем в 2021 г. (Таблица 2). Кроме того, содержание воды в *S. fuscum* и *S. angustifolium* отрицательно коррелирует со среднесуточной температурой воздуха ($r_{\text{fuscum}} = -0,77$; $r_{\text{angustifolium}} = -0,54$; $p < 0,05$).

Для выявления связи между исследуемыми параметрами пигментного комплекса и температурой воздуха, количеством осадков и уровнем болотных вод был проведен корреляционный анализ Спирмена. Величины коэффициентов корреляции и их значимость приведены на рисунке 4.

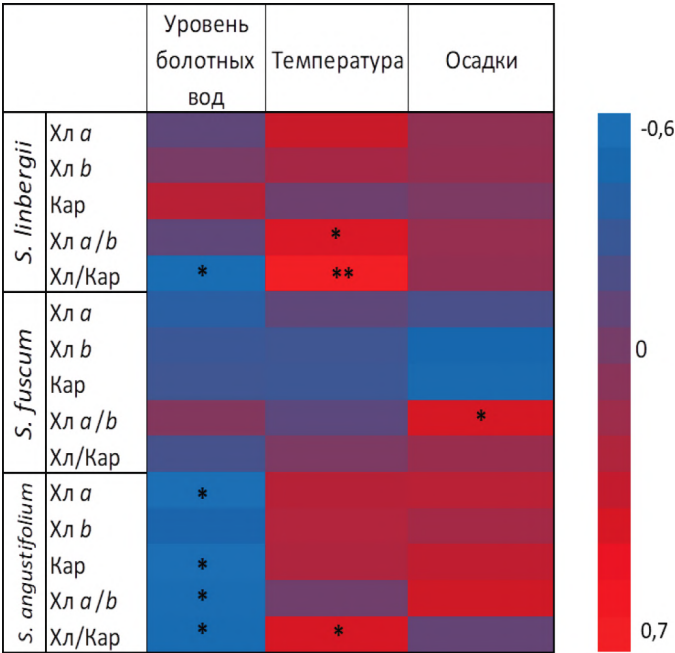


Рис. 4. Тепловая карта корреляций параметров пигментного комплекса сфагновых мхов и микроклиматических характеристик. Звездочками отмечены статистически значимые корреляции: (*) – $p<0,05$; (**) – $p<0,01$

Соотношение Chl/Car *S. lindbergii* демонстрирует отрицательную корреляцию с уровнем болотных вод ($p<0,05$) и положительную – с температурой воздуха ($p<0,01$). Также с температурой воздуха у этого вида положительно коррелирует соотношение Chl *a/b* ($p<0,05$). Для *S. fuscum* отмечена только положительная корреляция соотношения Chl *a/b* с количеством осадков ($p<0,05$). Концентрации пигментов (за исключением концентрации хлорофилла *b*) и их соотношения у *S. angustifolium* отрицательно коррелируют с уровнем болотных вод ($p<0,05$). Помимо этого, соотношение Chl/Car у *S. lindbergii* положительно коррелирует с температурой воздуха ($p<0,05$).

Обсуждение

Сфагновые мхи являются растениями, произрастающими в довольно широком диапазоне условий, однако, являясь пойкилогидрическими растениями, эти бриофиты нуждаются в поддержании определенной влажно-

сти окружающей среды. Находясь постоянно в более или менее влажных условиях, сфагновые мхи верховых болот подвергаются воздействию высокоинтенсивного света в своих естественных местообитаниях, в то время как сфагны, растущие в лесах, притенены [26]. Тем не менее, в жаркие и сухие периоды вегетационного сезона пойкилогидрические растения в любых местообитаниях могут сталкиваться с физиологическим стрессом из-за высоких температур и недостатка воды.

Взаимоотношение температуры и количества осадков в районе исследования, влияющее на уровень болотных вод в период проведения исследования, можно выразить через гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК). ГТК в районе г. Архангельска, где располагается Иласское болото, в период с мая по октябрь в 2021 г. составил 1,09, что соответствует слабо засушливым условиям. За тот же период 2022 г. ГТК составил 1,38, что характеризует условия как влажные. Уровень болотных вод в середине лета 2021 г. опускался ниже, чем в 2022, поскольку такие обильные, но редкие осадки, которые наблюдали в 2021 г., в условиях жаркого лета переходят в связанное состояние в торфяной залежи или сразу же расходуются на испарение, не повышая уровень болотных вод [14].

Несмотря на различия микроклиматических характеристик 2021 и 2022 г. влажность сфагновых мхов на болоте оставалась достаточно высокой и стабильной за счет капиллярного поглощения влаги из торфяной залежи, хотя в 2021 г. было отмечено обгорание верхушек побегов сфагнов как на гряде, так и в мочажине. *S. angustifolium* сохранял высокую влажность тканей на протяжении периода исследования 2022 г., за исключением августа, когда побеги этого мха выглядели сухими. Влажность *S. angustifolium* и *S. fuscum* - мхов наиболее сухих местообитаний – коррелирует с температурой воздуха, поскольку для этих видов почвенная влага менее доступна, чем *S. lindbergii*, растущему в мочажине. Эти два вида растут на некотором расстоянии от уровня болотных вод и, скорее всего, сильно зависят от атмосферной влаги. Стратегия существования *S. fuscum* в условиях определенного водного дефицита состоит в формировании плотных дернин, сохраняющих внутри себя влагу [3], в то время как метаболизм побегов *S. angustifolium* в рыхлых дернинах под пологом леса в отсутствии осадков протекает, по-видимому, за счет выпадающей росы.

По данным Головки и др. (2007, 2010) и Дымова и др. (2016) содержание хлорофиллов в листьях сосудистых растений различных местообитаний таежной зоны составляет 1-17 мг/г сухой массы. В фонде пигментов

этих растений преобладает хлорофилл *a* [2, 7]. Преобладание хлорофилла *a* справедливо и для сфагновых мхов, однако, его количество составляет менее 1 мг/г сухой массы.

Характер сезонной динамики пигментного комплекса отличается у сфагновых мхов различных местообитаний, хотя общее количество пигментов у *S. lindbergii* и *S. angustifolium* в среднем выше, чем у *S. fuscum*, и не различалось между собой. Такое сходство первых двух видов может быть объяснено их принадлежностью к секции *Cuspidata*, тогда как *S. fuscum* относится к секции *Acutifolia*. Для видов секции *Cuspidata* характерны крупные размеры, большая площадь листа, занимаемая хлорофиллоносными клетками и большая продуктивность, чем для видов секции *Acutifolia* [4, 9, 10, 35]. Кроме того, оказалось, что параметры пигментного комплекса выбранных видов секции *Cuspidata* коррелируют с уровнем болотных вод и количеством осадков, в то время как для *S. fuscum* обнаруживается корреляция с только количеством осадков. Произрастание *S. fuscum* на некотором расстоянии от уровня болотных вод, вероятно, делает метаболическую активность этого вида зависимой от осадков. В то же время, согласно некоторым исследованиям, скорость создания первичной продукции *S. fuscum* менее зависима от гидротермических условий, чем та же скорость у прочих олиготрофных видов сфагнума [11].

Соотношение хлорофиллов *a/b* может сильно варьировать в зависимости от физиологического состояния растения [27]. Сведений о соотношении хлорофиллов *a/b* у мхов в литературе обнаруживается немного, но авторы существующих исследований говорят о наличии корреляции между низкими соотношениями хлорофиллов *a/b* и условиями низкой освещенности. В своей работе Craig (1980) показал, что соотношение хлорофиллов *a/b* у мхов, растущих в затененных местообитаниях, в среднем, составляет 1,4-2,1 [23]. В работе Martin & Churchill (1982) авторы указывают среднее значения соотношения хлорофилла *a/b* $2,69 \pm 0,27$ для видов открытых местообитаний [32]. Marschall (2004) получил конкретно для сфагновых мхов значения 1,0-3,0 [31]. Средние соотношения хлорофиллов *a* и *b* у сфагновых мхов, полученные в ходе нашего исследования, составляют 0,9-3,2. Эти значения также можно считать низкими по сравнению с соотношениями 2,5-5,5, характерными для сосудистых растений в целом, но вписывающимися в диапазон, характерный для C_3 -растений (2,5-3,5), к которым относят и мохообразных [12, 30]. Соотношение Хл/Кар у растений, растущих в солнечных местообитаниях, обычно составляет 4,2-5,0 а у растений, обитающих в тени – 5,5-7,0. По данным Marschall (2004),

соотношение Хл/Кар у сфагновых мхов составляет 4,4-7,3 [31]. У исследованных в данной работе мхов соотношение Хл/Кар составляет 1,5-4,1.

Таким образом, пока одни исследователи отмечают низкую фотосинтетическую активность сфагновых мхов открытых болот, связывая это с длительным фотоингибированием в течение лета [25], другие отмечают высокую степень фотозащиты у таких сфагнов [31]. У *S. lindbergii* и *S. fuscum* в первой половине лета и осенью наблюдали снижение соотношения хлорофиллов *a/b*, что может указывать на повышение адаптационной способности растений в условиях стресса [1]. У *S. angustifolium* соотношение хлорофиллов снижается в июне, но осеннее снижение отсутствует. Увеличение соотношения хлорофиллов *a/b* в середине лета, вероятно, связано с избыточностью освещения. Низкие значения соотношения Хл/Кар у сосудистых растений считаются индикатором старения, стресса и повреждения растения и фотосинтетического аппарата [14]. Соотношение Хл/Кар у *S. lindbergii* снижалось только осенью, по-видимому, после снижения температуры воды в мочажинах. У *S. fuscum* данное соотношение в 2021 г. снижалось еще и в июле. Для *S. angustifolium* отмечено два снижения соотношения Хл/Кар – летом и осенью. Стресс в летнее время у последних двух видов может быть связан с длительной сухой и жаркой погодой, оказывающей угнетающее действие на метаболизм сфагнума [22], в то время как мочажинные мхи защищены от подобного влияния.

Нуурылäinen et. al (2015), помимо сезонной, отмечает межгодовую изменчивость содержания хлорофилла у гигрогидрофильных сфагнов [25]. Согласно данным, полученным в рамках нашего исследования, выраженная межгодовая динамика общего количества пигментов характерна для *S. fuscum*. У *S. lindbergii* различается характер динамики, но общее количество пигментов не меняется, вероятно, в связи с более стабильными условиями произрастания. Для 2021 г. характерен большой разброс значений общего содержания пигментов как для *S. fuscum*, так и для *S. lindbergii*. Большая разница между максимальным и минимальным значением за сезон считается нормальной для видов увлажненных местообитаний, хотя в 2022 г. разброс значений у *S. lindbergii* был значительно меньше, чем в 2021 г. Для видов, произрастающих в более сухих местах, сильный разброс значений обычно объясняют чередованием периодов пересыхания и увлажнения.

Заключение

На пигментный комплекс *S. lindbergii* и *S. angustifolium* в ходе вегетационного сезона влияет уровень болотных вод и температура возду-

ха. Изменения в пигментном комплексе *S. fuscum* связаны с количеством выпадающих осадков. По-видимому, сезонная динамика пигментного комплекса сфагновых мхов имеет видоспецифичный характер, но для дополнительной проверки этого утверждения необходимо изучить другие виды сфагнов из тех же местообитаний, поскольку динамика может быть связана не столько с конкретным видом, сколько с экологическими условиями местообитания. Кроме того, сходные особенности функционирования пигментного комплекса можно предположить у видов одной секции. Характер сезонной динамики сфагновых мхов изменяется от года к году, в зависимости от погодных условий на протяжении вегетационного сезона.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23-24-10022.

Список литературы

1. Амунова О.С., Лисицын Е.М. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы различных групп спелости // СНВ. 2019. №3 (28). С.19-25. <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-13102>
2. Головки Т.К., Далькэ И.В., Дымова О.В., Захожий И.Г., Табаленкова Г.Н. Пигментный комплекс растений природной флоры европейского северо-востока // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2010. № 1. С. 39-46.
3. Гончарова И. А. К вопросу о структуре дерновины и продуктивности сфагновых мхов на олиготрофных болотах // Сибирский экологический журнал. 2005. №1. С. 131-134. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/18f/18f9ad834cad2f15e9c5dd1303318155.pdf>
4. Грабовик С.И., Кузнецов О.Л. Рост и продуктивность ценопопуляций сфагновых мхов на естественных и трансформированных болотах Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 59-69. <https://doi.org/10.17076/eco290>
5. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях природной флоры таежной зоны Европейского Северо-Востока России // Физиология растений, 2019. Т. 66, № 3. с. 198-206. <https://doi.org/10.1134/S0015330319030035>
6. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность // Известия Уфимского научного

- центра РАН. 2018. № 3(4). С. 5-16. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16>
7. Дымова О.В., Далькэ И.В. Фотосинтетические пигменты и CO₂-газообмен водных макрофитов в подзоне средней тайги // Известия Коми Научного Центра УрО РАН. 2016. № 1 (25). С. 37-44.
 8. Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К., Золотарева Н.В., Калашникова И.В., Иванова Л.А. Сезонная динамика содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных и лесных растений на уровне вида и сообщества // Физиология растений. 2020. Т.67, №3. С. 278-288. <https://doi.org/10.31857/S0015330320030112>
 9. Игнатов М.С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части европейской России. Т. 1. Sphagnaceae-Hedwigiaceae. Москва: КМК, 2003. 608 с.
 10. 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>
 11. Косых Н.П. Коронатова Н.Г., Гранат Г. Влияние температуры и осадков на линейный прирост *Sphagnum fuscum* и *S. magellanicum* на территории Западной Сибири // Экология. 2017. № 3. С. 161-170. <https://doi.org/10.7868/S0367059717030088>
 12. Мазец, Ж.Э., Жукова, И.И., Деревинская, А.А. Практикум по физиологии растений Минск: БГПУ, 2017. 176 с.
 13. Наследов А.Д. SPSS 15: профессиональный статистический анализ данных. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 416 с.
 14. Новиков С.М., Батуев В.И. Гидрометеорологический режим и водный баланс верховых болот Северо-Запада России (на примере болота Ламмин-Суо). Санкт-Петербург: Свое издательство, 2019. 448 с.
 15. Носкова М.Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. Тула: Аквариус, 2016. 112 с.
 16. Попов С.Ю., Федосов В.Э. Ценотическое распределение и экологические предпочтения сфагновых мхов (Sphagnaceae) в северной тайге европейской России (Пинежский заповедник, Архангельская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 9. С. 3-29. <https://doi.org/10.17076/ess0610.9>
 17. Слемнев Н.Н., Шереметьев С.Н., Маслова Т. Г., Цоож Ш., Алтанцоож А. Разнообразие фотосинтетического аппарата растений Монголии: анализ биологических, экологических и эволюционных рядов // Ботанический журнал. 2012. № 11. С. 1377-1396. <http://arch.botjournal.ru/?t=articles&id=5334>

18. Справочно-информационный портал «Погода и климат». URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 18.01.2022)
19. Чуракова Е. Ю. Листостебельные мхи таежной зоны Архангельской области // *Arctoa*. 2002. Т. 11. С. 351-392. <https://doi.org/10.15298/arctoa.11.24>
20. Юрковская Т.К. География и картография растительности болот европейской России и сопредельных территорий. СПб: Ботанический институт им. В. Л. Комарова, 1992. 256 с.
21. Andrus R.E., Wagner D.J., Titus J.E. Vertical zonation of Sphagnum mosses along hummock-hollow gradients // *Canadian Journal of Botany*. 1983. Vol. 61, № 12. P. 3128-3139. <https://doi.org/10.1139/b83-352>
22. Campbell C. Sphagnum limits. Physiology, morphology and climate: Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1826. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2019, 40 p.
23. Craig E.M. Chlorophyll a/b ratios of eleven North Carolina mosses // *The Bryologist*. 1980. Vol. 83, no. 1, pp. 84-87. <https://doi.org/10.2307/3242401>
24. Glime J.M. Light. In: *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Houghton, Michigan, United States of America: Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017. URL: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/> (accessed 30.07.2023).
25. Hájek T., Tuittila E.S.; Ilomets M.; Laiho R. Light responses of mire mosses – a key to survival after water-level drawdown? // *Oikos*. 2009. Vol.118, № 2. P. 240-250. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16528.x>
26. Hyryläinen A., Rautio P., Turunen M., Huttunen S. Seasonal and inter-annual variation in the chlorophyll content of three co-existing Sphagnum species exceeds the effect of solar UV reduction in a subarctic peatland // *SpringerPlus*. 2015. Vol. 4. Art.no. 478. P. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1253-7>
27. Kouril R., Ilik P., Naus J., Schoefs B. On the limits of applicability of spectrophotometric and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll a/b ratio. // *Photosynthesis Research*. 1999. Vol 62, № 1. P. 107-116. <https://doi.org/10.1023/A:1006359213151>
28. Lappalainen N., Hyryläinen A., Huttunen, S. Seasonal and Interannual Variability of Light and UV Acclimation in Mosses. In: *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. P. 71-90. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511779701.006>
29. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in enzymology*. 1987. Vol. 148. P. 350-382. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0076687987480361>

30. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy// Current protocols of food analytical chemistry. 2001. P. F 4-3-1 – F 4-3-8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
31. Marschall M. Are bryophytes shade plants? Photosynthetic light responses and proportions of chlorophyll a, chlorophyll b and total carotenoids// Annals of Botany. 2004. Vol. 94, № 4. P. 593-603. <https://doi.org/10.1093/aob/mch178>
32. Martin C. E., Churchill S. P. Chlorophyll concentrations and a/b ratios in mosses collected from exposed and shaded habitats in Kansas // Journal of Bryology. 1982. Vol. 12. P. 297-304. <https://doi.org/10.1179/jbr.1982.12.2.297>
33. McCall K.K.; Martin C.E. Chlorophyll concentrations and photosynthesis in three forest understory mosses in northeastern Kansas // The Bryologist. 1991. Vol. 94. P. 25-29. <https://doi.org/10.2307/3243713>
34. Rydin H; Jeglum J.K. The Biology of peatlands, 2nd ed. New York: Oxford University press, 2013, 343 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>
35. Sytiuk A., Cereghino R., Hamard S., Delarue F., Dorrepaal E., Küttim M., Lamentowicz M., Pourrut B., Robroek B., Tuittila E.S., Jassey V. Biochemical traits enhance the trait concept in Sphagnum ecology // Oikos. 2022. Vol. 2022. Issue 4. Article no. e09119. 45 p. <https://doi.org/10.1111/oik.09119>
36. Vitt D., Wieder, R. The structure and function of bryophyte-dominated peatlands. In Bryophyte Biology. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. P. 357-392. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754807.010>

References

1. Amunova O. S., Lisicyn E. M. Vlijanie razlichnyh uslovij uvlazhnenija na pigmentnyj kompleks list'ev sortov mjagkoj jarovoj pshenicy razlichnyh grupp speloshti [The influence of different moisture conditions on the pigment complex of leaves of soft spring wheat varieties of different ripeness groups]. *SNV*, 2019. no. 3 (28), pp. 19-25. <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-13102>
2. Golovko T. K., Dal'kje I. V., Dymova O. V., Zahozhij I. G., Tabalenkova G. N. Pigmentnyj kompleks rastenij prirodnoj flory evropejskogo severo-vostoka [Pigment complex of plants of the natural flora of the European northeast]. *Izvestija Komi nauchnogo centra UrO RAN*, 2010, no. 1, pp. 39-46.
3. Goncharova I.A. K voprosu o strukture dernoviny i produktivnosti sfagnovyh mhov na oligotrofnyh bolotah [On the issue of turf structure and productivity of sphagnum mosses in oligotrophic bogs]. *Contemporary Problems of Ecology*, 2005, no. 1, pp. 131-134. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/18f/18f9ad834cad2f15e9c5dd1303318155.pdf>

4. Grabovik S.I., Kuznecov O.L. Rost i produktivnost' cenopopuljacij sfagnovyh mhov na estestvennyh i transformirovannyh bolotah Karelii [Growth and productivity of sphagnum moss coenopopulations in natural and transformed bogs of Karelia]. *Truda Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, 2016, no. 4, pp. 59-69. <https://doi.org/10.17076/eco290>
5. Dymova O.V., Golovko T.K. Fotosinteticheskie pigmenty v rastenijah prirodnoj flory taezhnoj zony Evropejskogo Severo-Vostoka Rossii [Photosynthetic pigments in plants of the natural flora of the taiga zone of the European North-East of Russia]. *Russian journal of plant physiology*, 2019, vol. 66, no. 3, pp. 198-206. <https://doi.org/10.1134/S0015330319030035>
6. Dymova O.V., Golovko T.K. Fotosinteticheskie pigmenty: funkcionirovanie, jekologija, biologicheskaja aktivnost' [Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity]. *Izvestija Ufimskogo nauchnogo centra RAN*, 2018, no. 3(4), pp. 5-16. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16>
7. Dymova O. V., Dal'kje I. V. Fotosinteticheskie pigmenty i CO₂-gazoobmen vodnyh makrofitov v podzone srednej tajgi [Photosynthetic pigments and CO₂ gas exchange of aquatic macrophytes in the middle taiga subzone]. *Izvestija Komi Nauchnogo Centra UrO RAN*, 2016, no. 1 (25), pp. 37-44.
8. Ivanov L.A., Ronzhina D.A., Judina P.K., Zolotareva N.V., Kalashnikova I.V., Ivanova L.A. Sezonnaja dinamika sodержanija hlorofillov i karotinoidov v list'jah stepnyh i lesnyh rastenij na urovne vida i soobshhestva [Seasonal dynamics of the content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of steppe and forest plants at the species and community level]. *Russian journal of plant physiology*, 2020, vol. 67, no. 3, pp. 278-288. <https://doi.org/10.31857/S0015330320030112>
9. Ignatov M.S., Ignatova E. A. *Flora mhov srednej chasti evropejskoj Rossii. T. 1. Sphagnaceae-Hedwigiaceae* [Moss flora of the central part of European Russia. T. 1. Sphagnaceae-Hedwigiaceae]. Moscow: KMK, 2003, 608 p.
10. Ionova E. V. Lihovidova V. A., Lobunskaja I. A. Zasuha i gidrotermicheskij koeficient uvlazhnenija kak odin iz kriteriev ocenki stepeni ee intensivnosti (obzor literatury) [Drought and hydrothermal coefficient of moisture as one of the criteria for assessing the degree of its intensity (literature review)]. *Zernovoe hozjajstvo Rossii*, 2019, no. 6, pp. 18-22. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
11. Kosyh N. P., Koronatova N. G., Granat G. Vlijanie temperatury i osadkov na linejnyj prirost *Sphagnum fuscum* i *S. magellanicum* na territorii Zapadnoj Sibiri [The influence of temperature and precipitation on the linear growth of *Sphagnum fuscum* and *S. magellanicum* in Western Siberia]. *Ecology*, 2017, no. 3, pp. 161-170. <https://doi.org/10.7868/S0367059717030088>

12. Mazec Zh.Je., Zhukova I.I., Derevinskaja A.A. *Praktikum po fiziologii rastenij* [Workshop on plant physiology]. Minsk: BGPU, 2017, 176 p.
13. Nasledov A. D. *SPSS 15: professional'nyj statisticheskij analiz dannyh* [SPSS 15: professional statistical data analysis]. Saint Petersburg: Piter, 2008, 416 p.
14. Novikov S. M., Batuev V. I. *Gidrometeorologicheskij rezhim i vodnyj balans vverhovyh bolot Severo-Zapada Rossii (na primere bolota Lammin-Suo)* [Hydrometeorological regime and water balance of bogs in the North-West of Russia (the case of the Lammin-Suo bog)]. Saint-Peterburg: Svoe izdatel'stvo, 2019, 448 p.
15. Noskova M.G. *Polevoj atlas-opredelitel' sfagnovyh mhov taezhnoj zony Evropejskoj Rossii* [Field atlas-identifier of sphagnum mosses of the taiga zone of European Russia]. Tula: Akvarius, 2016, 112 p.
16. Popov S.Ju., Fedosov V.Je. Cenoticheskoe raspredelenie i jekologicheskie predpochtenija sfagnovyh mhov (Sphagnaceae) v severnoj tajge evropejskoj Rossii (Pinezhskij zapovednik, Arhangel'skaja oblast') [Coenotic distribution and ecological preferences of sphagnum mosses (Sphagnaceae) in the northern taiga of European Russia (Pinezhsky Nature Reserve, Arkhangelsk Region)]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*, 2017, no. 9, pp. 3-29. <https://doi.org/10.17076/eco610.9>
17. Slemnev N.N., Sheremet'ev S.N., Maslova T. G., Coozh Sh., Altancoozh A. Raznoobrazie fotosinteticheskogo apparata rastenij Mongolii: analiz biologicheskikh, jekologicheskikh i jevoljucionnyh rjadov [Diversity of the photosynthetic apparatus of plants in Mongolia: analysis of biological, ecological and evolutionary series]. *Botanicheskij zhurnal*, 2012, no. 11, pp. 1377-1396. <http://arch.botjournal.ru/?t=articles&id=5334>.
18. *Spravochno-informacionnyj portal «Pogoda i klimat»* [Reference and information portal "Weather and Climate"]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (accessed 18.01.2022)
19. Churakova E. Ju. Listostebel'nye mhi taezhnoj zony Arhangel'skoj oblasti [Leafy mosses of the taiga zone of the Arkhangelsk region]. *Arctoa*, 2002, vol. 11, pp. 351-392. <https://doi.org/10.15298/arctoa.11.24>
20. Jurkovskaja T.K. Geografija i kartografija rastitel'nosti bolot evropejskoj Rossii i sopredel'nyh territorij [Geography and cartography of vegetation of swamps of European Russia and adjacent territories]. SPb: Botanicheskij institut im. V. L. Komarova, 1992, 256 p.
21. Andrus R.E., Wagner D.J., Titus J.E. Vertical zonation of Sphagnum mosses along hummock-hollow gradients. *Canadian Journal of Botany*, 1983, vol. 61, no. 12, pp. 3128-3139. <https://doi.org/10.1139/b83-352>
22. Campbell C. Sphagnum limits. Physiology, morphology and climate: Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1826. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, 2019, 40 p.

23. Craig E.M. Chlorophyll a/b ratios of eleven North Carolina mosses. *The Bryologist*, 1980, vol. 83, no. 1, pp. 84-87. <https://doi.org/10.2307/3242401>
24. Glime, J. M. Light. In: *Bryophyte Ecology Volume 1: Physiological Ecology*. Houghton, Michigan, United States of America: Michigan Technological University and the International Association of Bryologists, 2017. URL: <https://digitalcommons.mtu.edu/bryophyte-ecology/> (accessed 30.07.2023)
25. Hájek T., Tuittila E.S.; Ilomets M.; Laiho R. Light responses of mire mosses – a key to survival after water-level drawdown? *Oikos*, 2009, vol. 118, no. 2, pp. 240-250. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2008.16528.x>
26. Hyryläinen A., Rautio P., Turunen M., Huttunen S. Seasonal and inter-annual variation in the chlorophyll content of three co-existing *Sphagnum* species exceeds the effect of solar UV reduction in a subarctic peatland. *SpringerPlus*, 2015, vol. 4, Art. no. 478, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1253-7>
27. Kouril R., Ilik P., Naus J., Schoefs B. On the limits of applicability of spectrophotometric and spectrofluorimetric methods for the determination of chlorophyll a/b ratio. *Photosynthesis Research*, 1999, vol. 62, no. 1, pp. 107-116. <https://doi.org/10.1023/A:1006359213151>
28. Lappalainen N., Hyryläinen A., Huttunen, S. Seasonal and Interannual Variability of Light and UV Acclimation in Mosses. In: *Bryophyte Ecology and Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, pp. 71-90. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511779701.006>
29. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*, 1987, vol. 148, pp. 350-382. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0076687987480361>
30. Lichtenthaler H.K., Buschmann C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Current protocols of food analytical chemistry*, 2001, pp. F 4-3-1 – F 4-3-8. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>
31. Marschall M. Are bryophytes shade plants? Photosynthetic light responses and proportions of chlorophyll a, chlorophyll b and total carotenoids. *Annals of Botany*, 2004, vol. 94, no. 4, pp. 593–603. <https://doi.org/10.1093/aob/mch178>
32. Martin C. E., Churchill S. P. Chlorophyll concentrations and a/b ratios in mosses collected from exposed and shaded habitats in Kansas. *Journal of Bryology*, 1982, vol. 12, pp. 297-304. <https://doi.org/10.1179/jbr.1982.12.2.297>
33. McCall K.K.; Martin C.E. Chlorophyll concentrations and photosynthesis in three forest understory mosses in northeastern Kansas. *The Bryologist*, 1991, vol. 94, pp. 25-29. <https://doi.org/10.2307/3243713>

34. Rydin H; Jeglum J.K. The Biology of peatlands, 2nd ed. New York: Oxford University press, 2013, 343 p. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>
35. Sytiuk A., Cereghino R., Hamard S., Delarue F., Dorrepaal E., Küttim M., Lamentowicz M., Pourrut B., Robroek B., Tuittila E.S., Jassey V. Biochemical traits enhance the trait concept in Sphagnum ecology. *Oikos*, 2022, vol. 2022, no. 4, Article no. e09119, 45 p. <https://doi.org/10.1111/oik.09119>
36. Vitt D., Wieder, R. The structure and function of bryophyte-dominated peatlands. In *Bryophyte Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008, pp. 357-392. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754807.010>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Штанг Анастасия Константиновна, младший научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения
Российской академии наук
пр-кт Никольский, 20, г. Архангельск, 163020, Российская Федерация
a_shtang@inbox.ru*

Пономарева Тамара Игоревна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения
Российской академии наук
пр-кт Никольский, 20, г. Архангельск, 163020, Российская Федерация
ponomtamera@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasiya K. Shtang, Junior Researcher

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences*

20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation

a_shtang@inbox.ru

SPIN-code: 7367-2707

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6718-476X>

ResearcherID: HFZ-8306-2022

Scopus Author ID: 57225150286

Tamara I. Ponomareva, PhD in Agriculture, Senior Researcher

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural

Branch of the Russian Academy of Sciences

20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation

ponomtamara@gmail.com

SPIN-code: 2813-2476

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-8072>

ResearcherID: AAG-4731-2019

Scopus Author ID: 57198145345

Поступила 08.11.2023

После рецензирования 14.12.2023

Принята 22.12.2023

Received 08.11.2023

Revised 14.12.2023

Accepted 22.12.2023

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

УДК 57.04



Научная статья

ВАРИАТИВНОСТЬ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ *BETULA PENDULA* ROTH В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Т.А. Адамович, А.С. Олькова

В работе определяли взаимосвязь (ФА) листьев березы повислой *Betula pendula* Roth с загрязнением атмосферы, климатическими показателями и характеристиками почвы. Анализировали данные, полученные с 10 участков, расположенных по основному географическим направлениям от г. Ухта (республика Коми, Россия). ФА вычисляли по 5 морфологическим параметрам ($n=100$). В почве определяли pH (водная и солевая вытяжки), содержание органического вещества и подвижных форм металлов. Данные по загрязнению воздушной среды и климатическим параметрам получали из открытых источников. Установлены высокие ФА *B. pendula* на всех участках (0,064-0,076). Было показано, что это не связано географическим положением района произрастания березы. На участках не выявлено превышения нормативов загрязняющих веществ в воздушной среде и почве. Корреляционный анализ показал, что ФА увеличивается в ответ на снижение доли органического вещества в почве и повышение кислотности почвы (r равен -0,49 и -0,42 соответственно). Также увеличение ФА связано с содержанием подвижных форм Pb, Mn, Cu (r равен 0,6, 0,36, 0,35 соответственно). Влияния содержания в почве подвижных Zn, Fe, Cd на уровень ФА листьев не выявлено. Таким образом, показано, что почвенные характеристики влияют на асимметрию

растения-биоиндикатора, в том числе в пределах природоохранных нормативов. Этот факт необходимо учитывать при интерпретации результатов оценки экологического состояния территорий.

Ключевые слова: *Betula pendula*; флуктуирующая асимметрия; биоиндикация; почва; тяжелые металлы

Для цитирования. Адамович Т. А., Олькова А. С. Вариативность флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula* Roth в зависимости от условий произрастания // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 250-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

Original article

VARIABILITY OF FLUCTUATING ASYMMETRY OF *BETULA PENDULA* ROTH LEAVES DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

T.A. Adamovich, A.S. Olkova

*In the work, the relationship (FA) of the leaves of the hanging birch *Betula pendula* Roth with atmospheric pollution, climatic indicators and soil characteristics was determined. We analyzed data obtained from 10 sites located in the main geographical directions from the city of Ukhta (Komi Republic, Russia). FA was based on 5 morphological parameters (n=100). In the soil, we determined the pH (water and salt extracts), the content of organic matter and mobile forms of metals. Information on air pollution and climate parameters was obtained from open sources. We established high FA of *B. pendula* at all sites (0.064-0.076). It was shown that this is not related to the geographical location of the birch growing area. There was no excess of standards of pollutants in the air and soil at the sites. Correlation analysis showed that FA increases in response to a decrease in the proportion of organic matter in the soil and an increase in soil acidity (r is -0.49 and -0.42, respectively). Also, the increase in FA is associated with the content of mobile forms of Pb, Mn, Cu (r is 0.6, 0.36, 0.35, respectively). We found no effect of the content of mobile Zn, Fe, Cd in the soil on the FA level of the leaves. Thus, it is shown that soil characteristics affect the asymmetry of the bioindicator plant, including within environmental regulations. This fact should be taken into account when interpreting the results of the assessment of the ecological state of the territories.*

Keywords: *Betula pendula*; fluctuating asymmetry; bioindication; soil; heavy metals

For citation. Adamovich T.A., Olkova A.S. Variability of Fluctuating Asymmetry of *Betula pendula* Roth Leaves Depending on Growing Conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 250-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-840

Введение

Качество окружающей среды и его оценка продолжают оставаться актуальными темами экологических и междисциплинарных исследований. Многочисленные методы биоиндикации состояния окружающей среды основаны на морфометрических изменениях в ответ на негативные воздействия различного происхождения. Флуктуирующая асимметрия (ФА) органов растений, а также животных эффективно применяется в оценке состояния окружающей среды [7].

Использование животных для обнаружения их морфологической асимметрии ограничивается этикой экологических исследований. Для этих целей чаще всего применяются только массовые виды. Так, в работе [20] установлено, что в ответ на антропогенное загрязнение 10 морфологических признаков лягушек *Pelophylax ridibundus* становятся асимметричными. Данные признаки могут быть применяться в качестве надежных биоиндикаторных признаков действия неблагоприятных факторов.

Растения являются более удобными для биоиндикации, чем животные, не только с этической точки зрения. С помощью растений можно проводить биоиндикацию всех природных сред. Растения ведут оседлый образ жизни, поэтому воспринимают антропогенное воздействие на строго ограниченной территории за период, равный их жизненному циклу. Для оценки показателей флуктуирующей асимметрии используется часть растения, которая остается жизнеспособной после отбора биологических проб. При этом, данные растения можно использовать в следующем году, увеличивая тем самым достоверность проводимых научных исследований.

В большинстве случаев отклонение от условной нормы асимметрии органов растения учёные связывают с загрязнением воздушной среды. Например, у растений *Cecropia pachystachya* Trécul наиболее высокие значения ФА наблюдали на участках с сильным пылевым загрязнением, наименьшие – у растений на контрольном участке [12]. В других работах отмечают статистически значимую зависимость ФА *Betula pendula* Roth и *Aser pseudoplatanus* L. от транспортной нагрузки в крупных городах [16, 17].

Однако, не достаточно раскрытой остаётся проблема изучения зависимости ФА растений от показателей почвы и уровня её загрязнения. В связи с этим, целью данного исследования является определение взаимосвязи асимметрии листьев березы *B. pendula* от некоторых показателей почвы (уровень pH, содержание органического вещества, концентрация подвижных форм металлов).

Материалы и методы исследования **Территория и участки исследования**

Исследование проводилось в городской агломерации г. Ухта (Россия), широта 63°34'01" с.ш., долгота 53°41'00" в.д. Климат относится к умеренно континентальному. Зима продолжительная, холодная: средняя температура января -18°C. Лето короткое, прохладное: средняя температура июля +14,6°C.

По разным направлениям света от условного центра района исследования были заложены 10 участков, на которых произрастала береза *Betula pendula* Roth.

Биоиндикация

На каждом участке исследования были выбраны 10 деревьев *B. pendula*. С каждого дерева мы собрали по 10 листьев, у которых определяли коэффициент флуктуирующей асимметрии (ФА) по 5 параметрам [14, 1]. Далее экологическое состояние на участках ранжировали согласно шкале А.Б. Стрельцова [2]: ФА < 0,055 – среда чистая; ФА 0,056–0,6 – среда относительно чистая; ФА 0,06–0,065 – среда загрязненная; ФА 0,065–0,07 – среда грязная; ФА > 0,070 – среда очень грязная.

Химические анализы почвы

На каждом участке исследования были отобраны пробы почвы с глубины 0–20 см и проанализированы. Определение pH водной и солевой вытяжек из почвы проводили потенциометрическим методом, содержание органического вещества анализировали спектрофотометрическим методом. Определение содержания подвижной формы тяжелых металлов в пробах почвы проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии [3].

Обработка результатов

Лабораторные анализы проводили в трехкратной повторности. В ходе статистической обработки полученных данных определяли средние значения (M) и стандартное отклонение (δ). Результаты на рисунках отражали в виде $M \pm \delta$. Достоверность различий между сравниваемыми рядами данных оценивали по критерию Стьюдента, $p < 0,05$.

Результаты исследования

ФА листьев березы

Коэффициенты ФА на исследуемых участках варьировали от 0,064 до 0,076. Согласно шкале [2] большинство участков характеризуются загрязнённой окружающей средой, 30% участков относятся к очень грязным (Рис. 1).

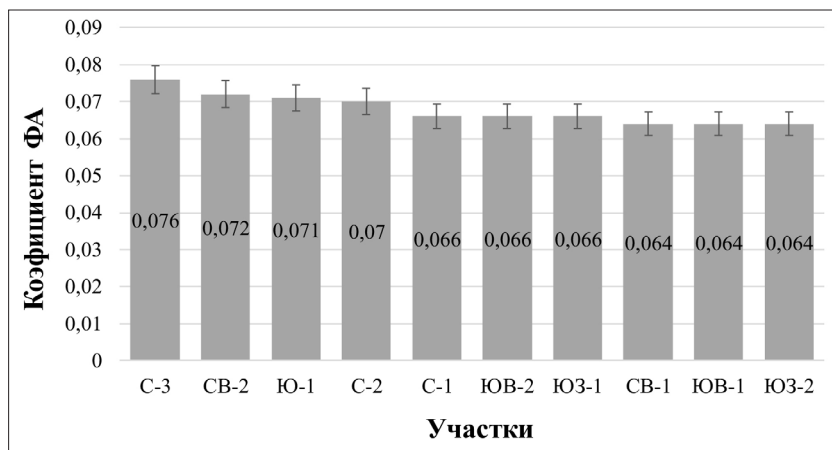


Рис. 1. Коэффициенты флуктуирующей асимметрии листьев *B. pendula* на участках исследования

По данным рисунка 1 можно сделать вывод о том, что максимальные коэффициенты асимметрии установлены как для северных, так и для южных участков.

Характеристика почвы на участках исследования

Древесные растения сильно зависят от почвенных условий, в том числе от её загрязнения. В таблице 1 обобщены результаты изучения почвы на участках исследования ФА березы.

Реакция почвенной среды на большинстве участков является слабокислой (60% проб по анализу водной вытяжки и 80% проб по анализу солевой вытяжки). Почвы не богаты органическим веществом: 70% исследованных участков относятся к бедным органическим веществом по шкале [4]. Анализ содержания подвижных форм ТМ в почвах показал, что на всех участках исследования их концентрация значительно ниже установленных нормативов [13]. Максимальные концентрации отмечены для железа, марганца и цинка, что типично для северных почв [13].

Таблица 1.

Физико-химические и химические характеристики почвы

Участок отбора проб	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Органическое вещество, %	Содержание ТМ, мг/кг					
				Cd	Pb	Fe	Zn	Cu	Mn
С-1	6,8	6,3	0,26	0,001	0,55	0,72	0,59	0,28	1,63
С-2	6,7	5,0	0,26	0,007	0,74	3,0	0,22	0,01	0,87
С-3	6,8	6,0	0,22	0,009	0,27	1,56	0,24	0,17	1,25
СВ-1	6,9	5,8	0,27	0,53	0,05	0,59	0,32	0,16	1,46
СВ-2	6,8	6,0	0,22	нпо	0,22	0,98	0,35	0,18	1,52
ЮВ-1	5,5	5,5	0,37	0,022	0,52	0,81	0,43	0,30	1,57
ЮВ-2	5,1	5,1	0,34	0,007	2,68	0,73	0,34	0,27	1,73
Ю	6,0	6,0	0,38	0,062	0,55	0,68	0,61	0,25	1,66
ЮЗ-1	5,7	5,7	0,50	0,067	0,22	1,10	0,37	0,21	1,64
ЮЗ-2	5,6	5,6	0,45	0,005	0,27	1,23	0,29	0,14	1,32

Примечание: НПО – ниже предела обнаружения; отклонения от среднего при измерении pH составляли не более 5% (n=3), при определении концентрации органического вещества составляли не более 2% (n=2), при определении ТМ не более 20%.

Корреляционная зависимость ФА листьев березы и характеристик почвы. Результаты определения зависимости ФА березы от различных показателей почвы показаны на рисунке 2.

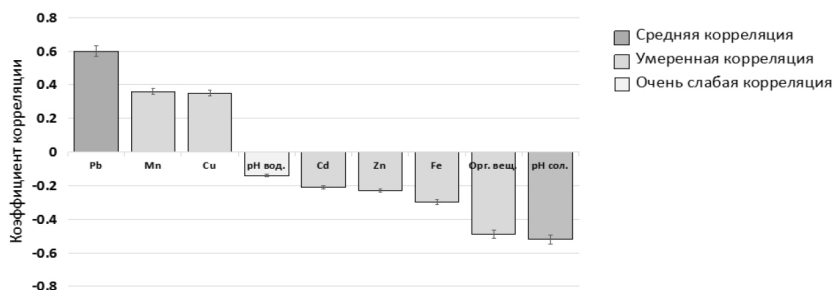


Рис. 2. Коэффициенты корреляции между ФА листьев березы и почвенными характеристиками

Максимальная положительная связь асимметрии листьев березы наблюдалась с содержанием подвижного свинца в почве ($r=0,6$). Наличие этого металла в почве обусловлено в большей степени антропогенной деятельностью [11, например, в нашем случае добычей угля и нефти в окрестностях г. Ухта, а также транспортной нагрузкой.

Положительные связи умеренной степени наблюдались между ФА и содержанием подвижного марганца ($r=0,36$), ФА и содержанием подвиж-

ной меди ($r=0,35$). Медь, марганец и цинк могут усиливать действие друг друга [15], поэтому относительно низкое содержание этих металлов в почве влияет на состояние *B. pendula*.

Умеренная отрицательная связь наблюдалась между ФА и pH почвы по солевой вытяжке ($r=-0,52$), а также ФА и содержанием органического вещества в почве ($r=-0,49$). Это вполне закономерно. Чем ниже уровень pH почвы и меньше органического вещества, тем экстремальнее почвенные условия для растения. Другие показатели почвы (pH водной почвенной вытяжки, содержание подвижных кадмия, цинка и железа) имели слабую корреляционную связь с ФА листьев березы. В случае водной вытяжки, это связано с более объективным отражением уровня pH в почве при использовании солевой вытяжки, поскольку в естественной почве в раствор переходят природные соли. В случае тяжелых металлов, вероятно, их обнаруженные концентрации, действительно не влияли на состояние *B. pendula*.

Обсуждение результатов

Асимметрия листьев *B. pendula* в окрестностях г. Ухта была высокой: ФА от 0,064 до 0,076. Известно, что в относительно чистых регионах, также отличающихся низкими среднегодовыми температурами, асимметрия листьев березы гораздо ниже. Так, в Западной Якутии на фоновых территориях учёные установили ФА березы в среднем равную 0,04 [18]. С другой стороны, известно, что берёза реагирует на загрязнение окружающей среды. Вблизи фармацевтического предприятия ФА березы достигала 0,053 [19]. В промышленных зонах городов ФА березы может достигать 0,061–0,667 [9].

Следовательно, высокие уровни ФА листьев *B. pendula* могли быть связаны с экстремальными климатическим факторами, загрязнением воздушной среды, загрязнением почвы. Мы проанализировали эти гипотезы согласно полученным экспериментальным данным.

Природно-климатические условия г. Ухта не являются оптимальными для произрастания *B. pendula*, при этом данное древесное растение успешно произрастает вплоть до зоны тундры. Различий между ФА листьев березы, произрастающей на северных участках по сравнению с южными, в пределах территории исследования, установлено не было. Литературные данные подтверждают, что климатические факторы не оказывают существенного влияния на устойчивость развития *B. pendula* в городских условиях [17].

Антропогенное загрязнение территории исследования связано с тем, что в Ухте есть действующие шахты по добыче угля и нефти. Это могло сказаться на состоянии как атмосфера, так и почвы.

Уровень загрязнения атмосферы в г. Ухта в 2022 г. был низким. Средние годовые концентрации всех загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города были ниже санитарных норм. Случаев высокого и экстремально высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха не отмечалось [6]. Поэтому мы обратили внимание на характеристики почвы.

Сверхнормативного загрязнения почвы металлами (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Fe) обнаружено не было. Почва характеризовалась кислой и слабокислой реакцией среды, была бедна по содержанию органического вещества. *B. pendula* относится к неприхотливым древесным культурам, однако сочетание кислой почвы и низкого содержания органического вещества могло привести к повышению биодоступности ТМ [8]. Также известно негативное действие ТМ в низких концентрациях при их сочетании [10]. Эти предположения подтвердились при корреляционном анализе. Асимметрия листьев березы была положительно связана с содержанием свинца, марганца и меди и отрицательно связана с уровнем pH и содержанием органического вещества.

Таким образом, из трех выдвинутых гипотез о причинах высокой асимметрии листьев *B. pendula* в окрестностях г. Ухта, наиболее доказательной является влияние характеристик почвы на состояние березы.

Заключение

Береза *B. pendula*, безусловно, является ценным биоиндикатором, поскольку она часто используется для городского озеленения Европы, Азии, Северной и Южной Америки, в северных частях Африки. На примере северо-таежной зоны показано, что асимметрия листьев *B. pendula* зависит не только от воздушной среды, но и от характеристик почвы. С понижением содержания органического вещества в почве и снижением уровня pH асимметрия листьев увеличивается.

Загрязнения почвы тяжелыми металлами на участках исследования выявлено не было. Однако влияние определяемых металлов (подвижные формы) на ФА распределилось на две группы. Увеличение содержания трех металлов приводило к повышению уровня ФА: $Pb > Mn = Cu$. Металлы Cd, Zn, Fe не влияли на показатель ФА ($r < 0,35$).

Климатические условия в пределах северо-таежной зоны не влияли на асимметрию листьев *B. pendula*.

Высокие показатели ФА в окрестностях г. Ухта (0,064-0,076) могут свидетельствовать как о совместном действии ТМ, так и о влиянии тех загрязняющих веществ, которые не были определены в ходе наших работ. Показано увеличение ФА листьев березы в ответ на снижение уровня pH

почвы и низкое содержание органического вещества. Увеличение базы данных о взаимосвязи асимметрии листьев *B. pendula* с показателями почвы и её загрязнением составляют перспективу данного исследования.

Список литературы

1. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Распоряжение МПР № 460-р от 16.10.2003. М.: МПР, 2003. 24 с.
2. Стрельцов А. Б. Региональная система биологического мониторинга. Калуга: Изд-во Калужского ЦНТИ, 2003. 431 с.
3. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
4. Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. Москва: Наука, 1965. 320 с.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
6. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году». Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2023. 164 с.
7. Barišić Klisarić N., Miljković D., Avramov S., Živković U., Tarasjev A. Radial and bilateral fluctuating asymmetry of *Iris pumila* flowers as indicators of environmental stress // *Symmetry*. 2019. № 11(6). P. 818. <https://doi.org/10.3390/sym11060818>
8. Dalcorsio G., Fasani E., Manara A., Visioli G., Furini A. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation // *International journal of molecular sciences*. 2019. Vol. 20(14), 3412. <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
9. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N. Rudn journal of ecology and life safety // *RUDN journal of ecology and life safety*. 2022. Vol. 30(3). P. 417-427. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>
10. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plant. 4th Edition, CRC Press, Boca Raton. 2010. 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
11. Karande U. B., Kadam A., Umrikar B. N., Wagh V., Sankhua R. N., & Pawar N. J. Environmental modelling of soil quality, heavy-metal enrichment and human health risk in sub-urbanized semiarid watershed of western India // *Modeling Earth Systems and Environment*. 2020. № 6. P. 545-556.
12. Mendes G., Boaventura M. G., Cornelissen T. (2018). Fluctuating asymmetry as a bioindicator of environmental stress caused by pollution in a pioneer plant species // *Environmental entomology*. 2018. Vol. 47(6). P. 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>

13. Opekunova M. G., Opekunov A. Y., Kukushkin S. Y., & Ganul A. G. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia // Eurasian Soil Science. 2019. № 52. P. 380-395.
14. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: Markow T.A. Ed., Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994. P. 335-364. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0830-0_26
15. Piper C. S. Soil and plant analysis. Scientific Publishers, 2019.
16. Prihod'ko S. A., Shtirc Y. A. Primenenie morfogeometricheskogo metoda dlya opredeleniya pokazatelej fluktuiruyushchej asimmetrii listovoj plastinki Aser pseudoplatanus L. (Application of the morphometric method for determining the indicators of fluctuating asymmetry leaf plate Acer pseudoplatanus L.) // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. № 8. P. 194-210. https://doi.org/10.15421/2018_204
17. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Vol'pert Y., Korotchenko I., & Pervyshina G. Fluctuating asymmetry in morphological characteristics of Betula pendula Roth leaf under conditions of urban ecosystems: evaluation of the multi-factor negative impact // Symmetry. 2020. Vol. 12(8), 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>
18. Shadrina E. G., Vol'pert Y. L. Bioindication Assessment of Environmental Quality in Vicinity of Underground Nuclear Explosion Sites on the Territory of the West Yakutia Using the Level of Fluctuating Asymmetry in Plants and Animals // Journal of Fundamental and Applied Sciences. 2018. Vol. 10(6S). P. 2950-2961. <https://doi.org/10.4314/jfas.v10i6s.223>
19. Turmukhametova N. V., Shadrina E. G., Soldatova V. Y., & Ivantsova E. N. Fluctuating asymmetry of the lamina of Betula pendula Roth in the context of different cities and industrial load // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 839(5), 052011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052011>
20. Zhelev Z. M., Tsonev S. V., Angelov M. V. Fluctuating asymmetry in Pelophylax ridibundus meristic morphological traits and their importance in assessing environmental health // Ecological Indicators. 2019. Vol. 107, 105589. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105589>

References

1. Metodicheskiye rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivyykh sushchestv (otsenka stabil'nosti razvitiya zhivyykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfologicheskikh struktur) [Methodological rec-

- ommendations for assessing the quality of the environment based on the state of living beings (assessing the stability of the development of living organisms based on the level of asymmetry of morphological structures)]. Order of the Ministry of Natural Resources № 460-r, 16.10.2003. M.: MNR, 2003, 24 p.
2. Streltsov A. B. *Regional'naya sistema biologicheskogo monitoringa* [Regional biological monitoring system]. Kaluga: Publishing house of the Kaluga CSTI, 2003, 431 p.
 3. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvakh sel'khozugodiy i produkcii rasteniyevodstva* [Guidelines for the determination of heavy metals in soils of farmland and crop products]. M.: CIAS, 1992, 61 p.
 4. Tyurin I. V. *Organicheskoye veshchestvo pochvy i yego rol' v plodorodii* [Soil organic matter and its role in fertility]. Moscow: Science, 1965, 320 p.
 5. *Predelno dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve: Gigienicheskie normativy* [Maximum permissible concentrations (MAC) of chemicals in soil: Hygienic standards]. M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006, 15 p.
 6. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Komi v 2022 godu»* [State report "On the state of the environment of the Komi Republic in 2022"]. Syktyvkar: Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2023, 164 p.
 7. Barišić Klisarić N., Miljković D., Avramov S., Živković U., Tarasjev A. Radial and bilateral fluctuating asymmetry of Iris pumila flowers as indicators of environmental stress. *Symmetry*, 2019, vol. 11(6), 818. <https://doi.org/10.3390/sym11060818>
 8. DalCorso G., Fasani E., Manara A., Visioli G., & Furini A. Heavy metal pollutions: state of the art and innovation in phytoremediation. *International journal of molecular sciences*, 2019, vol. 20(14), 3412. <https://doi.org/10.3390/ijms20143412>
 9. Gubasheva B. E., Idrissova G. Z., Tumenov A. N. Rudn journal of ecology and life safety. *RUDN journal of ecology and life safety*, 2022, vol. 30(3), pp. 417–427. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-417-427>
 10. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plant. 4th Edition, CRC Press, Boca Raton. 2010, 548 p. <https://doi.org/10.1201/b10158>
 11. Karande U. B., Kadam A., Umrikar B. N., Wagh V., Sankhua R. N., & Pawar N. J. Environmental modelling of soil quality, heavy-metal enrichment and human health risk in sub-urbanized semiarid watershed of western India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2020, no. 6, pp. 545-556.
 12. Mendes G., Boaventura M. G., Cornelissen T. (2018). Fluctuating asymmetry as a bioindicator of environmental stress caused by pollution in a pioneer plant

- species. *Environmental entomology*, 2018, vol. 47(6), pp. 1479-1484. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy147>
13. Opekunova M. G., Opekunov A. Y., Kukushkin S. Y., & Ganul A. G. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*, 2019, no. 52, pp. 380-395.
 14. Palmer A. R. Fluctuating asymmetry analyses: A primer. In: Markow T.A. Ed., *Developmental Instability: Its Origins and Evolutionary Implications*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994, pp. 335-364. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0830-0_26
 15. Piper C. S. Soil and plant analysis. Scientific Publishers, 2019.
 16. Prihod'ko S. A., Shtirc Y. A. Primenenie morfogeometricheskogo metoda dlya opredeleniya pokazatelej fluktuiruyushchej asimmetrii listovoj plastinki Aser pseudoplatanus L. [Application of the morphometric method for determining the indicators of fluctuating asymmetry leaf plate *Acer pseudoplatanus* L.]. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2018, no. 8, pp. 194-210. https://doi.org/10.15421/2018_204
 17. Shadrina E., Turmukhametova N., Soldatova V., Vol'pert Y., Korotchenko I., & Pervyshina G. Fluctuating asymmetry in morphological characteristics of *Betula pendula* Roth leaf under conditions of urban ecosystems: evaluation of the multi-factor negative impact. *Symmetry*, 2020, vol. 12(8), 1317. <https://doi.org/10.3390/sym12081317>
 18. Shadrina E. G., Vol'pert Y. L. Bioindication Assessment of Environmental Quality in Vicinity of Underground Nuclear Explosion Sites on the Territory of the West Yakutia Using the Level of Fluctuating Asymmetry in Plants and Animals. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 2018, vol. 10(6S), pp. 2950-2961. <https://doi.org/10.4314/jfas.v10i6s.223>
 19. Turmukhametova N. V., Shadrina E. G., Soldatova V. Y., & Ivantsova E. N. Fluctuating asymmetry of the lamina of *Betula pendula* Roth in the context of different cities and industrial load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 839(5), 052011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052011>
 20. Zhelev Z. M., Tsonev S. V., Angelov M. V. Fluctuating asymmetry in *Pelophylax ridibundus* meristic morphological traits and their importance in assessing environmental health. *Ecological Indicators*, 2019, vol. 107, 105589. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105589>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Адамович Татьяна Анатольевна, канд. геогр. наук, 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
usr08612@vyatsu.ru*

Олькова Анна Сергеевна, докт. биол. наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы»

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

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr08617@vyatsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana A. Adamovich, Candidate of Geographical Sciences, Docent, Docent of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry
Vyatka State University

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

usr08617@vyatsu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-927X>

ResearcherID: N-3967-2016

Scopus Author ID: 57195528912

Anna S. Olkova, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Senior Research Fellow, Competence Center “Environmental Technologies and Systems”
Vyatka State University

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

usr08617@vyatsu.ru

SPIN-code: 4874-9240

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

ResearcherID: A-4963-2017

Scopus Author ID: 57195523346

Поступила 05.10.2023

После рецензирования 10.11.2023

Принята 01.12.2023

Received 05.10.2023

Revised 10.11.2023

Accepted 01.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-852

УДК 58.01/.07



Научная статья

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Н.В. Туманик

Обоснование. Изучение влияния способа рекультивации на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной на техногенных землях является крайне важным. Понимание того, как гетерогенная среда влияет на содержание и распределение пигментов в хвое, позволяет более полно изучить адаптационные механизмы вида *Pinus sylvestris*. В свою очередь, информация об этих механизмах может быть использована для создания новых методов улучшения качества и устойчивости лесных насаждений.

Цель. Изучить влияние способа рекультивации на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в ходе посттехногенной сукцессии в условиях Южной Карелии.

Материалы и методы исследований. Исследование проводили на сопредельных пробных площадях (ПП), заложенных на территории отработанного песчано-гравийного карьера и в естественной среде сосняка брусничного в июле 2021 и 2022. Объектом исследования послужили деревья сосны обыкновенной, произрастающие в естественных условиях и в условиях лесной рекультивации песчано-гравийного карьера. Определение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Россия). Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США).

Результаты. В ходе двух лет исследования наибольшее содержание пигментов было отмечено в хвое деревьев, произрастающих на более плодородных ПП относительно таковых на бедных техногенных почвах. Соотношения $X_{\lambda a} / X_{\lambda b}$ в хвое деревьев, произрастающих в условиях бедной техногенной почвы, отличалось более высокими значениями, относительно таковых на удобренном участке песчано-гравийного карьера и в естественных условиях леса в оба года исследования, что свидетельствует об адаптивных реакциях

пигментного комплекса растений на неблагоприятные условия среды посредством увеличения доли Хл а в комплексе зеленых пигментов.

Заключение. Установлено, что способ рекультивации оказывает значительное влияние на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной в ходе посттехногенной сукцессии.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris L.*; хлорофилл; каротиноиды; хвоя; техногенные земли

Для цитирования. Туманик Н.В. Влияние способа рекультивации на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной на техногенных землях // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 263-282. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-852

Original article

THE REMEDIATION METHOD AS A FACTOR SHAPING THE PIGMENT PROFILE OF SCOTS PINE ON TECHNOGENIC LAND

N.V. Tumanik

Background. It is important to study how the remediation method influences the formation of the pigment complex in Scots pine, *Pinus sylvestris L.*, growing on technogenic land.

Thorough understanding of the influence produced by a heterogeneous environment on the content and distribution of pigments in conifers enables us to study the adaptive mechanisms of the species more comprehensively. In turn, information about these mechanisms can be used to create new methods for improving the quality and stability of tree stands.

Purpose. The study was designed to explore the effect of the remediation method on the pigment complex forming in Scots pine during a post-technogenic succession in southern Karelia.

Material and methods. Surveys were carried out in adjacent sample plots located in a decommissioned sand-and-gravel quarry and in a natural lingonberry-type pine forest site in July 2021 and 2022. The study objects were Scots pine trees growing in a natural forest site and in quarry sites remediated by forest planting. The optical density of the solutions was determined using SF-2000 spectrophotometer. Statistical data processing was done using Statistica 10 software (StatSoft Inc., USA).

Results. During the two years of the study, the pigment content was the highest in needles of the trees growing on more fertile soils compared to those on poor man-made soils. The of Cl a /Cl b ratio in the needles of trees growing on poor soil was higher than in the fertilized area of the quarry or in the natural forest site in both years of the study, indicating that the plants' pigment complex adapted to the unfavorable environmental conditions by increasing the proportion of Cl a among green pigments.

Conclusions. The findings prove that the remediation method has a significant shaping effect on the pigment profile of Scots pine during post-technogenic successions.

Keywords: *Pinus sylvestris* L.; chlorophyll; carotenoids; needles; technogenic lands

For citation. Tumanik N.V. The Remediation Method as a Factor Shaping the Pigment Profile of Scots Pine on Technogenic Land. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 263-282. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-852

Введение

Леса являются важным компонентом наземных экосистем, которые играют ключевую роль в поддержании биоразнообразия, сохранении почвенного покрова, защите водных ресурсов и смягчении климатических изменений [30]. В настоящее время, в связи с усиливающимся техногенным прессом на природные экосистемы, особое внимание уделяют проблеме восстановления антропогенно-нарушенных ландшафтов [24, 20]. В Республике Карелия карьеры по добыче песка и гравия являются одной из часто встречаемых форм техногенного ландшафта [3], поэтому рекультивация земель является важным направлением хозяйственной деятельности в регионе [24, 17]. Искусственное лесовосстановление является одним из вариантов решения проблемы сокращения лесов и ускоренной рекультивации нарушенных земель [12]. В связи с этим исследование различных аспектов жизнедеятельности растений на нарушенных землях представляет особый интерес.

Адаптация фотосинтетического аппарата является одной из важнейших характеристик растений, позволяющих им выживать в разных условиях внешней среды. Значительную роль в этом играют качественные и количественные изменения пигментной системы растений, поскольку хлорофиллы и каротиноиды ответственны за поглощение, передачу и преобразование световой энергии в основных реакциях фотосинтеза [9,

10]. Консервативный характер динамики содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений вдоль широтного градиента в условиях Европейского Севера, Южного Урала и Западной Сибири свидетельствует о наследственном контроле их биосинтеза [1, 4, 6, 22]. Вместе с тем состояние пигментного комплекса, тесно связанное с интенсивностью ростовых процессов, может отражать как устойчивость растения к воздействию различных стрессовых факторов, так и степень его адаптации к условиям произрастания.

К числу наиболее важных факторов внешней среды, влияющих на формирование пигментной системы растений, относят освещенность, температуру воздуха, а также обеспеченность почвы питательными веществами [29, 13]. Так, в условиях низкой освещенности у древесных видов растений (*Acer platanoides* L., *Ginkgo biloba* L., *Fagus sylvatica* L. и др.) отмечают меньшее содержание хлорофилла *a* по сравнению с таковым у деревьев, произрастающих в более освещенных условиях [32]. Этот факт объясняют тем, что в условиях низкой освещенности растения нуждаются в меньшем количестве хлорофилла для осуществления фотосинтеза. Вместе с тем избыточный свет может оказывать негативное влияние на накопление хлорофилла, что приводит к снижению его содержания [28, 37].

В работах по исследованию влияния типа почвы и ее плодородия на содержание фотосинтетических пигментов показано, что хвоя деревьев *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb, произрастающих на бедных почвах, отличается меньшим накоплением зеленых пигментов относительно таковых у сосны на плодородных почвах [22, 23], что связано с недостатком питательных веществ для синтеза хлорофилла, в частности, азота. Также вследствие дефицита азота отмечают снижение интенсивности процессов световой фазы фотосинтеза, синтеза ферментов, нарушение подвижности устьиц и уменьшение скорости темновых реакций фотосинтеза [9, 27].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является эврибионтным видом с широкой экологической амплитудой распространения, что определяет и наибольшую изученность ее структурно-функциональных характеристик среди хвойных растений в естественных условиях среды [7, 15-16, 26-27, 5, 18-19, 31]. Однако работ по пигментному комплексу у представителей рода *Pinus* L. на нарушенных землях крайне мало. В связи с этим целью работы было изучение влияния способа рекультивации на формирование пигментного комплекса у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в ходе посттехногенной сукцессии в условиях Южной Карелии.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена в европейской части средней тайги (Южная Карелия, 62.101917° N, 33.969944° E) в июле 2021 и 2022 гг. Климат в районе исследования по классификации Кеппена-Гейгера субарктического типа [34], отличается значительным количеством осадков в течение года (550–750 мм) с максимумом в теплый период (350–400 мм) [14]. Среднегодовая температура воздуха за 30-летний период (1991–2020 гг.) составила +3.6°C [14], с минимальными значениями в январе (–8.4°C) и максимальными – в июле (+17.1°C). Средняя температура воздуха за вегетационный период (май–сентябрь) составляет +13°C. Суммарный радиационный баланс за вегетационный период составляет 1130 МДж·м⁻². В районе проведения исследований вегетационный период 2021 г. характеризовался в июне–июле аномальной жарой ($3.2^{\circ}\text{C} < \Delta T_{\text{мес}} < 5.1^{\circ}\text{C}$) и засухой (31–39% нормы осадков) Теплый в целом сезон 2022 г. ($0.7^{\circ}\text{C} < \Delta T_{\text{сез}} < 0.8^{\circ}\text{C}$) отличался избытком осадков (128% нормы) относительно предыдущего года (82% нормы).

Исследование проводили на сопредельных пробных площадях (ПП), заложенных на территории отработанного карьера по добыче песчано-гравийного материала и в естественной среде 110-летнего сосняка брусничного. Объектом исследования послужили 30-летние лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные в ходе рекультивации песчано-гравийного карьера. Лесная рекультивация территории карьера проведена в мае 1991 г. посредством посадки одностолетних сеянцев сосны обыкновенной на предварительно выровненном участке площадью 2 га [8]. Тогда же на участке площадью 0.5 га сеянцы высаживали в песчаный техногенный грунт, на поверхность которого предварительно вносили торфяной субстрат. Измерения физиологических показателей растений проводили спустя 30 лет на трех модельных участках (размер каждого 25 ´ 40 м) с разными вариантами рекультивации: 1) посадка сосны в песчано-гравийный минеральный грунт – ПП 1 и 2; 2) в улучшенный торфом субстрат – ПП 3. Продуктивность искусственных насаждений на ПП 1, ПП 2 и ПП 3 составила V.9, V.2 и II.5 класс бонитета, запас древесины – 12, 20 и 144 м³/га соответственно [8]. Измерение биометрических параметров всех деревьев на ПП в условиях карьера позволило выбрать модельные деревья, средние значения высоты и диаметра ствола которых на ПП 1, ПП 2 и ПП 3 не превышали 3.1, 4.2 и 10.5 м, 3.8, 4.5 и 10.1 см соответственно. Почвенный покров ПП 1 и ПП 2 представлен псаммоземом серо-

гумусовым (SkeletalLeptosol), ПП 3 – реплантоземом серогумусовым (UmbricLeptosol) [8]. Важно отметить, что восстановление напочвенного покрова на ПП 1 и ПП 2 реализуется по типу сосняка лишайникового, на ПП 3 – сосняка черничного.

Измерения в естественных условиях произрастания проводили на ПП 4 (30' 40 м) в 110-летнем сосняке брусничном, существовавшем на данной территории до начала разработки карьера. В сосняке брусничном в составе спелого древостоя доминирует сосна *Pinus sylvestris* L. с участием березы *Betula pendula* Roth и ели *Picea abies* (9С1Б+Е). Деревья сосны первого яруса имеют средние значения высоты и диаметра ствола – 19.8 м и 18.8 см соответственно. Древостой IV класса бонитета, имеет относительную полноту 1.0 и запас древесины 346 м³/га. Второй ярус древостоя образован сосной более молодого поколения (70 лет), средняя высота и диаметр составили 10.5 м и 10.3 см соответственно. Почвенный покров представлен подбуром оподзоленным (EnticPodzol) [8].

Для определения содержания азота и фотосинтетических пигментов отбор однолетних (2-го года жизни) хвои сосны проводили в утренние часы из средней части кроны в 3-кратной повторности для каждого дерева и в 5-кратной повторности на каждой ПП. Определение содержания азота (N, %) выполняли с помощью элементного анализатора PE-2400 (PerkinElmer, США). Аналитическая повторность трехкратная. Экстракцию пигментов проводили 80% ацетоном. Определение оптической плотности растворов выполняли на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Россия) при длинах волн 663, 646 (хлорофиллы) и 470 нм (каротиноиды). Расчет содержания хлорофиллов (Хл *a*, Хл *b*, мг/г сырой массы) и каротиноидов (Кар, мг/г сырой массы) проводили согласно известным методикам [32, 2]. Долю хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК, % от общего содержания хлорофиллов) рассчитывали, приняв, что практически весь Хл *b* находится в ССК и соотношение Хл *a* / Хл *b* в нем равно 1.2 [32].

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Inc., США). Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$. Для оценки существенных различий между средними величинами использовали критерий Тьюки. Оценку влияния фитоценологических условий и года исследования на физиологические показатели растений проводили с помощью двухфакторного дисперсионного анализа. На диаграммах и в таблицах приведены средние арифметические значения и их стандартные ошибки

Результаты

Сравнительный анализ влияния контрастных погодных условий июля за двухлетний период и фитоценотических условий разных ПП на показатели пигментного комплекса и содержания N в однолетней хвое *P. sylvestris* выявил значимое влияние ($p < 0.05$) обоих факторов на исследуемые параметры (табл. 1). Исключение составило отношение Хл ($a+b$) / Кар, которое не зависело ($p > 0.05$) от внешних условий. Содержание N отличалось стабильностью в оба года исследований ($p > 0.05$). На большинство показателей наибольшее влияние оказали фитоценотические условия разных ПП, тогда как на содержание Хл a и Хл ($a+b$) наиболее сильно повлияли погодные условия разных лет исследования.

Таблица 1.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа влияния фитоценотических условий и года исследований на пигментный состав хвои *Pinus sylvestris*

Показатель	Влияние фактора (%)			
	Фитоценотические условия		Год исследования	
	p	η^2	p	η^2
Хл a	***	14	***	42
Хл b	***	35	**	5
Хл ($a+b$)	***	18	***	34
Хл a /Хл b	***	22	***	16
ССК	***	23	***	17
Кар	***	12	**	5
Хл ($a+b$)/Кар	ns	2	ns	2
N	***	44	ns	0,3

Примечание: Хл a – содержание хлорофилла a ; Хл b – содержание хлорофилла b ; Хл ($a+b$) – сумма зеленых пигментов; Хл a /Хл b – отношение хлорофилла a к хлорофиллу b ; ССК – светособирающий комплекс; Кар – каротиноиды; Хл ($a+b$)/Кар – отношение суммы зеленых пигментов к каротиноидам; N – содержание азота; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns – не значимо ($p > 0.05$); η^2 – сила влияния фактора.

В оба года исследования наиболее высокие значения содержания N в условиях рекультивации отмечены в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 3 (рис. 1). Так, в 2021 г. содержание N на ПП 3 составило 1.08%, что в 1.3 раза превышало накопление такового в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 1 и ПП 2. Результаты 2022 г. показали наибольшее содержание N в хвое *P. sylvestris* на ПП 3 (1.05%) и, напротив, в 1.4 раза меньше – на ПП 2

(0.77%). При этом отмечено сходство ($p > 0.05$) величины исследуемого показателя в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 1 (0.86%) со всеми экспериментальными участками. Также важно отметить, что в оба года исследований содержание N в хвое *P. sylvestris* в естественных условиях произрастания на ПП 4 было схожим с таковым на всех ПП ($p > 0.05$), и составило 0.96%.

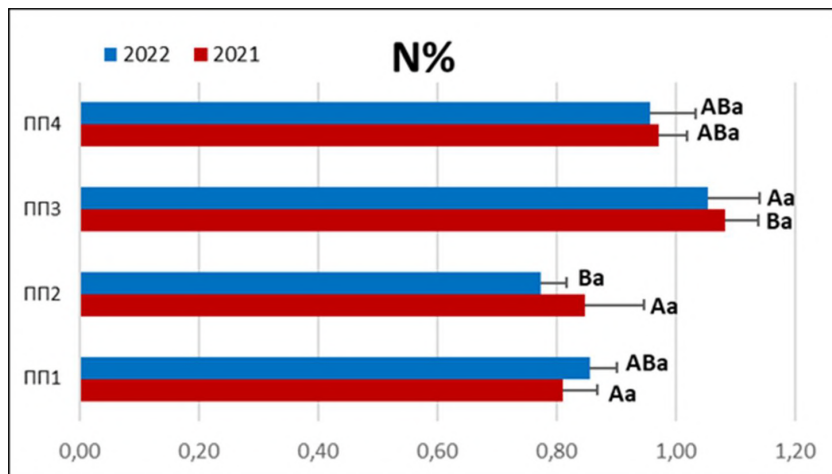


Рис. 1. Содержание N в однолетней хвое сосны обыкновенной на техногенных землях (ПП 1, ПП 2, ПП 3) и в естественных условиях сосняка брусничного (ПП 4) июля 2021 и 2022 гг. Разные строчные буквы (а, б) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних каждого экспериментального участка при сравнении двух лет исследования. Разные заглавные буквы (А, В) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних при сравнении всех экспериментальных участков за один год исследования.

Сравнительный анализ показателей пигментного комплекса показал в 2021 г. более высокое содержание Хл *a* в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 3 (0.41 мг/г), тогда как в 2022 г. – в естественных условиях произрастания на ПП 4 (0.71 мг/г) относительно таковых у деревьев на менее плодородных участках ПП 1 и ПП 2 (рис. 2). В жаркий засушливый период 2021 г. содержание Хл *a* на ПП 1 и ПП 2 было на 34% ниже относительно удобренного торфяным субстратом экспериментального участка ПП 3. При этом отмечено сходство ($p > 0.05$) значений Хл *a* в хвое *P. sylvestris* в сосняке брусничном на ПП 4 (0.38 мг/г) и культур *P. sylvestris* на всех ПП в условиях карьера. В теплый дождливый период 2022 г. накопление Хл *a* в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 1 и ПП 2 было меньше на 29% по сравнению с

таковым на ПП 4. Вместе с тем в июле 2022 г. значения Хл *a* в хвое культур *P. sylvestris* на ПП 3 (0.63 мг/г) были схожими ($p > 0.05$) с таковыми на всех ПП. Также важно отметить увеличение в 1.5–1.9 раза накопления Хл *a* в хвое *P. sylvestris* на всех экспериментальных участках в июле 2022 г. относительно предыдущего периода.

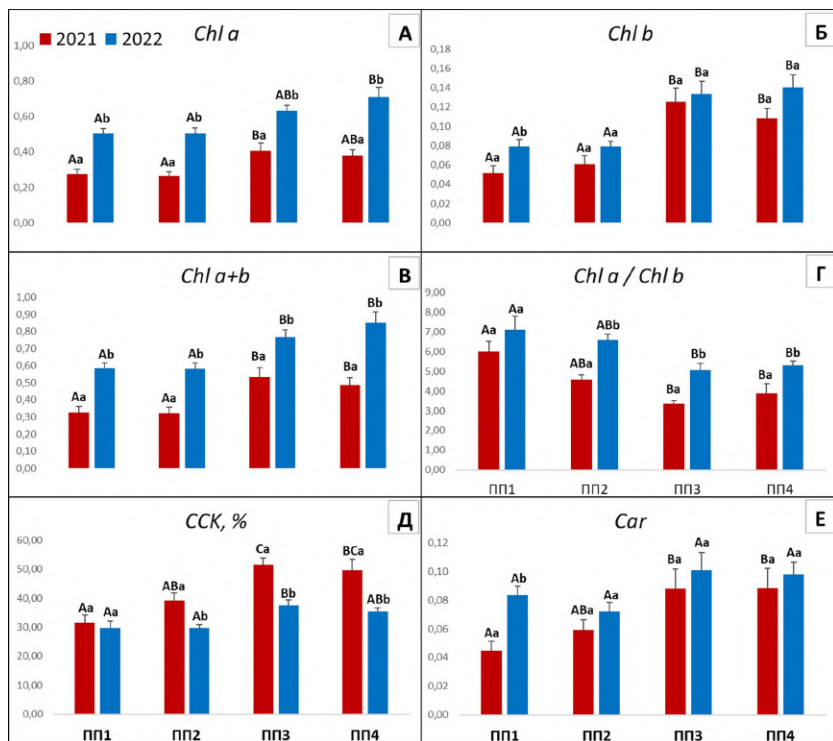


Рис. 2. Содержание Хл *a* (а), Хл *b* (б), Хл (*a+b*) (в), Хл *a*/Хл *b* (г), ССК (д), Кар (е) в однолетней хвое сосны обыкновенной на техногенных землях (ПП 1, ПП 2, ПП 3) и в естественных условиях сосняка брусничного (ПП 4) в июле 2021 и 2022 гг. Разные строчные буквы (а, б) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних каждого экспериментального участка при сравнении двух лет исследования. Разные заглавные буквы (А, В) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних при сравнении всех экспериментальных участков за один год исследования.

Содержание Хл *b* и Хл (*a+b*) в хвое культур *P. sylvestris* на экспериментальных участках с техногенными грунтами (ПП 1 и ПП 2) отличалось в 1.5–2 раза

более низкими значениями относительно таковых более плодородного участка карьера (ПП 3) и условий сосняка брусничного (ПП 4) в оба года исследования. При этом, накопление Хл ($a+b$) в июле 2022 г. относительно предыдущего 2021 г. в хвое *P. sylvestris* на всех экспериментальных участках увеличилось в 1.6–1.8 раза, тогда как Хл b – увеличилось в 1.4 раза на ПП 1 и ПП 2.

Соотношение Хл a / Хл b является еще одним информативным показателем, характеризующим работу фотосинтетического аппарата. Было отмечено, что данный параметр был выше на участках с меньшим содержанием азота в хвое, и снижался на ПП с большим его содержанием. Так, соотношение Хл a / Хл b в хвое культур *P. sylvestris* на плодородном участке карьера (ПП3) и в хвое деревьев, произрастающих в естественных условиях (ПП4), отличалось в 1.4–1.7 раза более низкими значениями относительно таковых на ПП1 в оба года исследования. При этом в 2021 и 2022 гг. на ПП 2 данный параметр был схожим ($p > 0.05$) с другими ПП.

В оба года исследования величина показателя ССК(%) была в 1.3-1.6 раза больше на удобренном участке карьера (ПП3), по сравнению с ПП имеющими бедные почвенные условия (ПП1, ПП2). В жаркий засушливый период 2021 г. рассматриваемый параметр был выше в 1.6 раза на ПП4 по сравнению с таковым на ПП 1. Важно отметить сходство ($p > 0.05$) показателя ССК в оба года исследования в хвое деревьев *P. sylvestris* на ПП3 и ПП4.

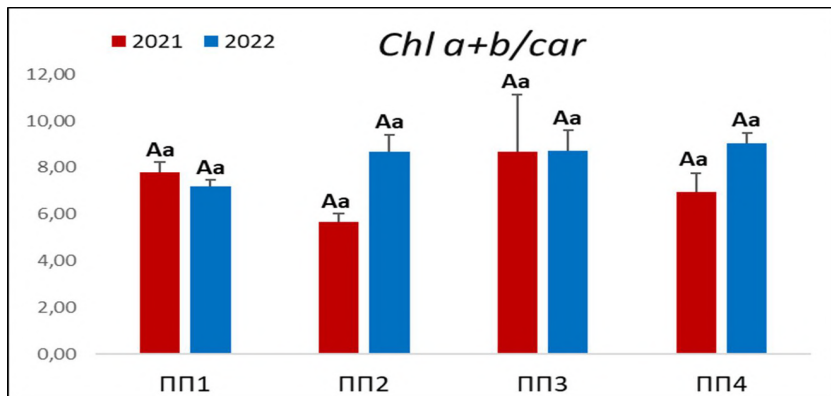


Рис. 3. Хл $a+b$ / Кар в однолетней хвое сосны обыкновенной на техногенных землях (ПП 1, ПП 2, ПП 3) и в естественных условиях сосняка брусничного (ПП 4) в июле 2021 и 2022 гг. Разные строчные буквы (a, b) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних каждого экспериментального участка при сравнении двух лет исследования. Разные заглавные буквы (A, B) указывают на значимые различия ($p < 0.05$) средних при сравнении всех экспериментальных участков за один год исследования.

В июле 2021 г. наименьшее содержание Кар зафиксировано на ПП 1 и было в 1.7 раза меньше, чем на ПП 3 и ПП 4. В этот год содержание Кар на ПП 2 было схожим с другими ПП. В 2022 году значимых различий этого показателя между ПП отмечено не было.

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам ($\text{Хл } a+b / \text{Кар}$) играет важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата. В ходе исследования не было отмечено достоверных различий по $\text{Хл } a+b / \text{Кар}$ между ПП (рис.3). Однако, установлено, что изменение пигментного состава происходит взаимосвязанно. Так, проведенный корреляционный анализ показал высокую силу корреляционной связи ($r = 0.7\text{--}0.9$) между суммой зеленых пигментов и каротиноидами.

Обсуждение

Проведенный анализ показал схожую в большинстве случаев направленность межгодовой динамики показателей пигментной системы в хвое деревьев вида *Pinus sylvestris* на разных экспериментальных участках, что свидетельствует о ведущей роли фитоценологических условий на формирование пигментного комплекса исследуемых растений. Вместе с тем консервативный характер динамики содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях древесных растений свидетельствует о наследственной обусловленности биосинтеза фотосинтетических пигментов [1, 4, 6, 22].

Нормальная жизнедеятельность целого растения, а также стабильная работа его фотосинтетического аппарата, зависит, в частности, от регулярного обеспечения элементами минерального питания. Для синтеза пигмента хлорофилла растений большую роль играет минеральный азот. Ранее было показано [7, 12], что существует четкая взаимосвязь между содержанием азота и состоянием насаждений, что хорошо согласуется с полученными данными. Также отмечают, что недостаток азота лимитирует фотосинтетическую активность растений вследствие снижения содержания пигментов в листьях [36].

В исследовании отмечается увеличение содержания пигментов в хвое деревьев на более плодородных ПП относительно культур, произрастающих на бедных техногенных почвах. При этом, в связи с тем, что в период формирования однолетней хвои 2022 года в районе проведения исследований, вегетационный период 2021 г. характеризовался в июне–июле аномальной жарой и засухой, показатель содержания Кар у однолетней хвои 2022 года можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на повышение устойчивости фотосинтетического аппарата.

Более высокий показатель соотношения $\text{Хл } a / \text{Хл } b$ в хвое деревьев, произрастающих в условиях бедной техногенной почвы, свидетельствует об адаптивных реакциях пигментного комплекса растений на неблагоприятные условия среды посредством увеличения доли $\text{Хл } a$ в комплексе зеленых пигментов. Размер ССК и концентрация хлорофилла в нем могут изменяться в зависимости от интенсивности света и других факторов [35]. Более высокое процентное содержание ССК в хвое деревьев на ПП4 можно объяснить насыщенностью фотосинтетических процессов при низкой интенсивности освещения относительно таковых на ПП (ПП1, ПП2) с избыточной освещенностью. Однако, при отсутствии достоверных различий между условиями освещенности в сосняке лишайниковом и сосняке черничном, показатель ССК(%) на ПП3 был выше, что указывает на влияние множества факторов на состояние ССК, в том числе более высокое содержание азота в хвое и плодородие почв.

Не менее важную роль при характеристике работы фотосинтетического аппарата играет соотношение $\text{Хл } a+b / \text{Кар}$. В норме этот параметр очень чутко реагирует на различные внешние изменения [21]. Однако, невысокие значения показателя ССК и, напротив, высокие $\text{Хл } a+b / \text{Кар}$ свидетельствуют также о низком содержании $\text{Хл } b$ и Кар .

Опираясь на полученные данные, можно предположить, что на содержание пигментов в хвое деревьев *Pinus sylvestris* L. существенно повлияли эдафические условия исследуемых ПП.

Заключение

Хвоя деревьев вида *Pinus sylvestris* L., произрастающих в условиях бедных техногенных почв карьера имела отличный пигментный состав от хвои деревьев, произрастающих на удобренном участке карьера и естественных условий. Отмечено, что внесение торфяного субстрата, оказало влияние на формирование более продуктивных условий, в сравнении с ПП на которые не было внесено удобрение. При этом была отмечена закономерность в наибольшем содержании пигментов ($\text{Хл } a$, $\text{Хл } b$, Кар) на ПП с более высоким плодородием почв и уровнем содержания азота в хвое. Однако, доля $\text{Хл } a$ в комплексе зеленых пигментов была больше в хвое деревьев, растущих на неудобренных почвах карьера относительно таковых на более плодородных почвах, на что указывает более высокий показатель соотношения $\text{Хл } a/\text{Хл } b$. Полученные нами данные свидетельствуют об адаптивных изменениях пигментного комплекса хвои сосны в условиях рекультивации техногенных земель. Эта информация может быть исполь-

зована для создания новых методов улучшения качества и устойчивости лесных насаждений.

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены в рамках государственного задания (номер госрегистрации - 121061500082-2) на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

Благодарности. Автор выражает благодарность за помощь в организации исследования и подготовке рукописи к.б.н. В.Б. Придача. Автор благодарит Д.Е. Семина за помощь в отборе экспериментального материала и проведении биохимических исследований, И.Н. Софронову за помощь в освоении методов биохимических исследований.

Список литературы

1. Бендер О.Г., Горошкевич С.Н. Газообмен и содержание фотосинтетических пигментов у широтных экотипов кедра сибирского в опыте *exsitu* // Сибирский лесной журнал, 2020. № 5. С. 28-36.
2. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 256 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 г. 2023. Петрозаводск. 265 с.
4. Дымова О.В., Головки Т.К. Фотосинтетические пигменты в растениях приростной флоры таежной зоны Европейского Северо-востока России // Физиология растений, 2019. Т. 66. № 3. С. 198-206.
5. Загирова С.В. Структура ассимиляционного аппарата и CO₂-газообмен у хвойных. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 108 с.
6. Иванов Л.А., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Юдина П.К. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале // Физиология растений, 2013. Т. 60. № 6. С. 856-864
7. Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
8. Костина Е.Э., Ахметова Г.В., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Крышень А.М. Формирование растительного покрова при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в Республике Карелия // Растительные ресурсы, 2022. №3. С. 290-310.

9. Крамер П.Д., Козловский Т.Т. Физиология древесных растений М.: Лесн. пром.-сть, 1983. 464 с.
10. Кузнецов В.В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. М.: Высшая школа, 2006. 742 с.
11. Лиханова И.А., Кузнецова Е.Г., Новаковский А.Б. Формирование растительного покрова на карьерах после проведения лесной рекультивации в средней тайге республики Коми // Лесоведение. 2020. № 5. С. 424-432.
12. Лукина Н.В., Никонов В.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 316 с.
13. Маслова Т. Г., Марковская Е. Ф., Слемнев Н. Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии, 2020. Т. 81. № 4. С. 297-310. <https://doi.org/10.31857/S0044459620040065>
14. Назарова Л.Е. Климатические условия на территории Карелии // Современные условия водоемов Севера. Петрозаводск: КарНЦРАН, 2021. С. 7-16.
15. Новицкая Ю.Е. Чикина П.Ф., Софронова Г.И., Габукова В.В., Макаревский М.Ф. Физиолого-биохимические основы роста и адаптации сосны на Севере. Л.: Наука, 1985. 156 с.
16. Сазонова Т. А., Болондинский В. К., Придача В. Б. Эколого-физиологическая характеристика сосны обыкновенной. Петрозаводск: Verso, 2011. 206 с.
17. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на рост сосны в толщину в посевах на паловых вырубках с песчаными почвами. I. Последствие 30-летнего ежегодного применения калийных удобрений на рост сосны в толщину и качество древесины // Лесной журнал. 2016. № 6. С. 42-55.
18. Суворова Г.Г. Фотосинтез хвойных деревьев в условиях Сибири. Новосибирск: Гео, 2009. 192 с.
19. Судачкова Н.Е., Милотина И.Л., Романова Л.И. Биохимическая адаптация хвойных к стрессовым условиям Сибири. Новосибирск: Гео, 2012. 178 с.
20. Сумина О. И. Формирование растительности на техногенных местообитаниях Крайнего Севера России. СПб.: Информ-Навигатор, 2013. 340 с.
21. Титова М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник ОГУ. 2010. № 12. С. 9-12.
22. Тужилкина В. В. Пигментный комплекс хвои сосны в лесах Европейского Северо-Востока // Лесоведение. 2012. № 4. С. 16-23.
23. Тужилкина В.В. Фотосинтетические пигменты хвои ели сибирской в среднетаежных лесах европейского Северо-Востока России // Сиб. лесн. журн. 2017. № 1. С. 65-73.

24. Федорец Н.Г., Соколов А.И., Крышень А.М., Медведева М.В., Костина Е.Э. Формирование лесных сообществ на техногенных землях северо-запада таежной зоны России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 130 с.
25. Холопцева Е.С., Чернобровкина Н.П. Влияние азота, бора и люпина узколистного на рост и минеральное питание сеянцев сосны обыкновенной // Лесоведение. 2009. № 1. С. 25-32.
26. Цельникер Ю. Л., Малкина И. С., Ковалев, А. Г., Чмора С. Н., Мамаев В. В., Молчанов А. Г. Рост и газообмен CO₂ у лесных деревьев. М.: Наука, 1993. 256 с.
27. Чернобровкина Н.П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
28. Шибаева Т.Г., Титов А.Ф. Влияние круглосуточного освещения на пигментный комплекс растений семейства Solanaceae // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 5. С. 111-118. <https://doi.org/10.17076/eb498>
29. Croft H., Chen J.M. Leaf pigment content. Amsterdam: Elsevier Inc., 2017.
30. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 2013. 1535 p.
31. Kattge J. et al., TRY plant trait database–enhanced coverage and open access // Glob. Change Biol. 2020. Vol. 26. P. 119-188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
32. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology. 1987. Vol. 148. P. 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
33. Lichtenthaler H., Babani F., Navrátil M., Buschmann C. Chlorophyll fluorescence kinetics, photosynthetic activity, and pigment composition of blue-shade and half-shade leaves as compared to sun and shade leaves of different trees // Photosynthesis Research. 2013. Vol. 117(1-3). <https://doi.org/10.1007/s1120-013-9834-1>
34. Peel M.C., Finlayson B.L., McMahon T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2007. Vol. 11(5). P. 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
35. Randall S. Alberte, Peter R. McClure, J. Philip Thornber. Photosynthesis in Trees: Organization of Chlorophyll and Photosynthetic Unit Size in Isolated Gymnosperm Chloroplasts // Plant Physiol. 1976. Vol. 58(3). P. 341-344. <https://doi.org/10.1104/pp.58.3.341>
36. Singh H., Verma A., Krishnamoorthy M., Shukla A. Consequence of diverse nitrogen levels on leaf pigments in five rice genotypes under field emergent cir-

- cumstance // Int. J. Bio-Resour. Stress Manag. 2010. № 1. P. 189-193. <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJBSM/article/view/89>
37. Tang W., Guo H., Baskin C.C. et al. Effect of Light Intensity on Morphology, Photosynthesis and Carbon Metabolism of Alfalfa (*Medicago sativa*) Seedlings // *Plants* (Basel). 2022. Vol. 11, № 13, 1688. <https://doi.org/10.3390/plants11131688>

References

1. Bender O.G., Goroshkevich S.N. Gazoobmen i sodержanie fotosinteticheskikh pigmentov u shirotnykh jekotipov kedra sibirskogo v opyte eksitu [Gas exchange and the content of photosynthetic pigments in latitudinal ecotypes of Siberian cedar in the exsitu experiment]. *Sibirskij lesnoj zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2020, no. 5, pp. 28-36.
2. Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. *Bol'shoj praktikum po fotosintezu* [Large workshop on photosynthesis]. Moscow, 2003, 256 p.
3. *Gosudarstvennyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Karelija v 2022* [The National Environmental Report of the Republic of Karelia in 2022]. Petrozavodsk, 2023, 265 p.
4. Dymova O.V., Golovko T.K. Fotosinteticheskie pigmenty v rastenijah prirodnoj flory taezhnoj zony Evropejskogo Severo-vostoka Rossii [Photosynthetic pigments in plants of the native flora of the taiga zone of the European Northeast of Russia]. *Fiziologija rastenij* [Russian Journal of Plant Physiology], 2019, vol. 66, no. 3, pp. 198-206.
5. Zagirova S.V. *Struktura assimiljacionnogo apparata i CO₂-gazoobmen u hvojnnykh* [The structure of the assimilation apparatus and CO₂-gas exchange in conifers]. Ekaterinburg, 1999, 108 p.
6. Ivanov L.A., Ivanova L.A., Ronzhina D.A., Judina P.K. Izmenenie sodержaniya hlorofillov i karotinoidov v list'jah stepnykh rastenij vdol' shirotnogo gradienta na Juzhnom Urale [Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of steppe plants along the latitudinal gradient in the Southern Urals]. *Fiziologija rastenij* [Russian Journal of Plant Physiology]. 2013, vol. 60, no. 6, pp. 856-864.
7. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zjabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshhestv i jenergii v osnovnykh lesah Evropejskogo Severa* [Metabolism and energy exchange in the pine forests of the European North]. Leningrad, 1977, 304 p.
8. Kostina E.Je., Ahmetova G.V., Pekkoev A.N., Haritonov V.A., Kryshen' A.M. Formirovanie rastitel'nogo pokrova pri lesnoj rekul'tivacii peshchano-grajvno-

- go kar'era v Respublike Karelija [Formation of vegetation cover during forest reclamation of a sand and gravel quarry in the Republic of Karelia]. *Rastitel'nye resursy* [Russian journal of plant resources], 2022, no. 3, pp. 290-310.
9. Kramer P.D., Kozlovskij T.T. *Fiziologija drevesnyh rastenij* [Physiology of woody plants]. Moscow, 1983, 462 p.
 10. Kuznecov V.V., Dmitrieva G. A. *Fiziologija rastenij* [Plant physiology]. Moscow, 2006, 742 p.
 11. Lihanova I.A., Kuznecova E.G., Novakovskij A.B. Formirovanie rastitel'nogo pokrova na kar'erah posle provedenija lesnoj rekul'tivacii v srednej tajge respubliki Komi [Formation of vegetation cover on quarries after forest reclamation in the middle taiga of the Komi Republic]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2020, no. 5, pp. 424-432.
 12. Lukina N.V., Nikonov V.V. *Pitatel'nyj rezhim lesov severnoj tajgi: prirodnye i tehnogennye aspekty* [Nutritional regime of the northern taigaforests: natural and man-made aspects]. Apatites, 1998, 316 p.
 13. Maslova T. G., Markovskaja E. F., Slemnev N. N. Funkcii karotinoidov v list'jah vysshih rastenij (obzor) [Functions of carotenoids in leaves of higher plants (review)]. *Zhurnal obshhej biologii* [Journal of General Biology], 2020, vol. 81, no. 4, pp. 297-310. <https://doi.org/10.31857/S0044459620040065>
 14. Nazarova L.E. Klimaticheskie uslovija na territorii Karelii [Climatic conditions on the territory of Karelia]. *Sovremennye uslovija vodoemov Severa* [Modern conditions of reservoirs of the North]. Petrozavodsk, 2021, pp. 7-16.
 15. Novickaja Ju.E. Chikina P.F., Sofronova G.I., Gabukova V.V., Makarevskij M.F. *Fiziologo-biohimicheskie osnovy rosta i adaptacii sosny na Severe* [Physiological and biochemical bases for growth and adaptation of pine trees in the North]. Leningrad, 1985, 156 p.
 16. Sazonova T. A., Bolondinskij V. K., Pridacha V. B. *Jekologo-fiziologicheskaja harakteristika sosny obyknovЕННОj* [Ecological and physiological characteristics of scots pine. Petrozavodsk]. Petrozavodsk, 2011, 206 p.
 17. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Haritonov V.A. Vlijanie mnogoletnego primenenija mineral'nyh udobrenij na rost sosny v tolshhinu v posevah na palovyh vyrubkah s peschanyymi pochvami. I. Posledstvie 30-letnego ezhegodnogo primenenija kalijnyh udobrenij na rost sosny v tolshhinu i kachestvo drevesiny [The effect of the long-term use of mineral fertilizers on the growth of pine in thickness inestablisments on cut-over and burnt forest land with sandy soil. I. The consequence of the 30-year-long annual use of potash fertilizers on the growth of pine in thickness and wood quality]. *Lesnoj zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2016, no. 6, pp. 42-55.

18. Suvorova G.G. *Fotosintez hvoynyh derev'ev v usloviyah Sibiri* [Photosynthesis of coniferous trees in Siberia]. Novosibirsk, 2009, 192 p.
19. Sudachkova N.E., Miljutina I.L., Romanova L.I. *Biohimicheskaja adaptacija hvoynyh k stressovym usloviyam Sibiri* [Biochemical adaptation of conifers to the stressful conditions of Siberia]. Novosibirsk, 2012, 178 p.
20. Sumina O. I. *Formirovanie rastitel'nosti na tehnogennyh mestoobitanijah Krajnogo Severa Rossii* [Vegetation formation in technogenic habitats of the Far North of Russia]. Saint Petersburg, 2013, 340 p.
21. Titova M. S. Soderzhanie fotosinteticheskikh pigmentov v hvoe *Picea abies* i *Picea koraiensis* [The content of photosynthetic pigments in the conifers of *Picea abies* and *Picea koraiensis*]. *Vestnik OGU* [Bulletin of the Orenburg State University], 2010, no. 12, pp. 9-12.
22. Tuzhilkina V. V. Pigmentnyj kompleks hvoi sosny v lesah Evropejskogo Severo-Vostoka [The pigment complex of pine needles in the forests of the European Northeast]. *Lesovedenie* [Russian Forest Sciences], 2012, no. 4, pp. 16-23.
23. Tuzhilkina V.V. Fotosinteticheskie pigmenty hvoi eli sibirskoj v srednetaezhnyh lesah evropejskogo Severo-Vostoka Rossii [Photosynthetic pigments of Siberian spruce needles in the Middle taiga forests of the European Northeast of Russia]. *Sib. lesn. zhurn.* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 1, pp. 65-73.
24. Fedorec N.G., Sokolov A.I., Kryshen' A.M., Medvedeva M.V., Kostina E.Je. *Formirovanie lesnyh soobshhestv na tehnogennyh zemljah severo-zapada taezhnoj zony Rossii* [Formation of woodland technogenic lands of the north-west of the taiga zone of Russia]. Petrozavodsk, 2011, 130 p.
25. Holopceva E.S., Chernobrovkina N.P. Vlijanie azota, bora i ljupina uzkolistnogo na rost i mineral'noe pitanie sejancev sosny obyknovnoj [The effect of nitrogen, boron and lupine on the growth and mineral nutrition of Scots pine seedlings]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2009, no. 1, pp. 25-32.
26. Cel'niker Ju. L., Malkina I. S., Kovalev, A. G., Chmora S. N., Mamaev V. V., Molchanov A. G. *Rost i gazoobmen SO₂ u lesnyh derev'ev* [Growth and gas exchange of CO₂ in forest trees]. Moscow, 1993, 256 p.
27. Chernobrovkina N.P. *Jekofiziologicheskaja harakteristika ispol'zovanie azota sosnoj obyknovnoj* [Ecophysiological characteristics of nitrogen use by scots pine]. Saint Petersburg, 2001, 175 p.
28. Shibaeva T.G., Titov A.F. Vlijanie kruglosutochnogo osveshhenija na pigmentnyj kompleks rastenij semejstva Solanaceae [The effect of round-the-clock lighting on the pigment complex of plants of the *Solanaceae*]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Karelian Research Centre

- of the Russian Academy of Sciences], 2017, no. 5, pp. 111-118. <https://doi.org/10.17076/eb498>
29. Croft H., Chen J.M. Leaf pigment content. Amsterdam: Elsevier Inc., 2017.
30. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, 2013, 1535 p.
31. Kattge J. et al., TRY plant trait database–enhanced coverage and open access. *Glob. Change Biol.*, 2020, vol. 26, pp. 119-188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>
32. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids – pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987. vol. 148, pp. 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
33. Lichtenthaler H., Babani F., Navrátil M., Buschmann C. Chlorophyll fluorescence kinetics, photosynthetic activity, and pigment composition of blue-shade and half-shade leaves as compared to sun and shade leaves of different trees. *Photosynthesis Research*, 2013, vol. 117(1-3). <https://doi.org/10.1007/s11120-013-9834-1>
34. Peel, M.C., Finlayson, B.L. and McMahon, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2007, vol. 11(5), pp.1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
35. Randall S. Alberte, Peter R. McClure, J. Philip Thornber. Photosynthesis in Trees: Organization of Chlorophyll and Photosynthetic Unit Size in Isolated Gymnosperm Chloroplasts. *Plant Physiol.*, 1976, vol. 58(3), pp. 341-344. <https://doi.org/10.1104/pp.58.3.341>
36. Singh, H., Verma, A., Krishnamoorthy, M., Shukla, A. Consequence of diverse nitrogen levels on leaf pigments in five rice genotypes under field emergent circumstance. *Int. J. Bio-Resour. Stress Manag.*, 2010, no. 1, pp. 189-193. <https://ojs.pphouse.org/index.php/IJBSM/article/view/89>
37. Tang W., Guo H., Baskin C.C. et al. Effect of Light Intensity on Morphology, Photosynthesis and Carbon Metabolism of Alfalfa (*Medicago sativa*) Seedlings. *Plants (Basel)*, 2022, vol. 11, no. 13, 1688. <https://doi.org/10.3390/plants11131688>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Туманик Наталья Владимировна, аспирант, м.н.с. лаборатории физиологии и цитологии древесных растений
Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук (ИЛ КарНЦ РАН)

ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, 185910, Российская Федерация
tumanik@krc.karelia.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Natalia V. Tumanik, Postgraduate Student, Junior Research Associate of Laboratory of Physiology and Cytology of Woody Plants
Forest Research Institute of Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences
11, Pushkinskaya Str., Petrozavodsk, 185910, Russian Federation
tumanik@krc.karelia.ru

Поступила 08.11.2023

После рецензирования 28.11.2023

Принята 05.12.2023

Received 08.11.2023

Revised 28.11.2023

Accepted 05.12.2023

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-860

УДК 636.2:577.1



Научная статья

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО ПИТАНИЯ ПЛОДА У ГЛУБОКОСТЕЛЬНЫХ КОРОВ

**В.А. Сафонов, Т.С. Ермилова, А.Е. Черницкий,
Э.А.О. Салимзаде**

Считают, что внутриутробный запас микроэлементов, необходимых для нормального формирования и развития плода у крупного рогатого скота определяется уровнем питания и тканевыми депо матери. Нарушения микроэlementного питания негативно влияют на здоровье плода и после рождения, ограничивая его рост и предрасполагая к целому ряду соматических заболеваний. Поэтому прогнозирование и своевременная коррекция нарушений микроэlementного питания плода у крупного рогатого скота является актуальной задачей для зооветеринарной науки. В настоящем исследовании авторами впервые была предпринята попытка спрогнозировать уровень накопления селена (Se), меди (Cu), цинка (Zn), железа (Fe), хрома (Cr), стронция (Sr), молибдена (Mo), кобальта (Co), никеля (Ni), мышьяка (As) и марганца (Mn) в организме плода по содержанию этих микроэлементов в волосе матери за 60 дней до предполагаемого отела. Были обследованы 35 клинически здоровых коров симментальской породы с одноплодной беременностью и полученные от них телята (18 самцов и 17 самок). Для ретроспективной оценки микроэlementного статуса плода исследовали образцы волос, полученные у телят вскоре после рождения. Количественное определение микроэлементов (Se, Cu, Zn, Fe, Cr, Sr, Mo, Co, Ni, As и Mn) в образцах волос проводили методом

масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Nexion 300D, Perkin Elmer; США). Установлено, что закономерности распределения микроэлементов в системе «мать-плод» у крупного рогатого скота не связаны с полом новорожденного. Зависимости между содержанием в волосе матери и новорожденного для большинства исследованных микроэлементов удалось описать полиномами первого (Sr), второго (Co, Mn) и третьего порядка (Se, Cu, Zn, Fe, As). Для четырех микроэлементов (Se, Cu, Fe и Co) получены графики и аналитические выражения, позволяющие прогнозировать по показателям матери их содержание в организме плода с уровнем статистической значимости $P = 0,05$, для других четырех микроэлементов (Zn, Sr, As и Mn) – с уровнем P от 0,10 до 0,15. Для Mo, Cr и Ni статистически значимые зависимости между содержанием их в волосе матери и новорожденного выявить не удалось. На основании полученных прогнозирующих зависимостей для 8 из 11 исследованных микроэлементов (Se, Cu, Fe, Co, Zn, Sr, As и Mn) определены интервалы содержания в волосе коровы за 60 дней до предполагаемого отела, обеспечивающие оптимальный уровень их накопления в организме плода.

Ключевые слова: крупный рогатый скот; анализ волос; масс-спектрометрия; микроэлементы; пары мать-плод; прогнозирование

Для цитирования. Сафонов В.А., Ермилова Т.С., Черницкий А.Е., Салимзаде Э.А.О. Прогнозирование уровня микроэлементного питания плода у глубокостельных коров // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 283-316. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-860

Original article

FORECASTING THE MICRONUTRIENT CONTENTS IN FETUSES OF DOWN CALVERS

**V.A. Safonov, T.S. Ermilova, A.E. Chernitskiy,
E.A.O. Salimzade**

It is believed that the level of nutrition and maternal tissue depots determine the intrauterine supply of micronutrients necessary for the normal formation and development of fetuses in large cattle. Disturbances in micronutrient nutrition negatively affect the fetus's health and, after birth, limit its growth and predispose it to a range of somatic diseases. Therefore, forecasting and timely correction of micronutrient deficiencies in the fetuses of large cattle is important in veterinary science. In this study, the authors attempted for the first time to forecast the ac-

cumulation levels of Se, Cu, Zn, Fe, Cr, Sr, Mo, Co, Ni, As, and Mn in a fetus's body based on these micronutrient contents in the mother's hair 60 days before the expected calving. Thirty-five clinically healthy Simmental cows with singleton pregnancies were examined, and calves were obtained from them (18 males and 17 females). Hair samples obtained from the calves shortly after birth were analyzed for a retrospective assessment of the fetal micronutrient status. Micronutrients (Se, Cu, Zn, Fe, Cr, Sr, Mo, Co, Ni, As, and Mn) were quantitatively determined in the hair samples using inductively coupled plasma mass spectrometry (Nexion 300D, Perkin Elmer, USA). The distribution patterns of micronutrients in the "mother–fetus" system in large cattle were not related to the newborn's gender. Dependencies between the micronutrient contents in the mother's hair and in the newborn were described by first-order (for Sr), second-order (for Co and Mn), and third-order (for Se, Cu, Zn, Fe, and As) polynomials. For four micronutrients (Se, Cu, Fe, and Co), graphs and analytical expressions were prepared, allowing the prediction of their contents in the fetus's body based on maternal indicators with a level of statistical significance of $P = 0.05$. For the other four micronutrients (Zn, Sr, As, and Mn), this was achieved with a level of $P = 0.10–0.15$. No statistically significant dependencies were found between the contents in the mother's hair and the newborn for Mo, Cr, and Ni. Based on the predictions, optimal content ranges were determined for 8 of 11 investigated micronutrients (Se, Cu, Fe, Co, Zn, Sr, As, and Mn) in the cow's hair 60 days before the expected calving, ensuring an optimal level of their accumulation in the fetus's body.

Keywords: large cattle; hair analysis; mass spectrometry; micronutrients; mother–fetus pairs; forecasting

For citation. Safonov V.A., Ermilova T.S., Chernitskiy A.E. Salimzade E.A.O. Forecasting the micronutrient contents in fetuses of down calvers. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 283–316. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-860

Введение

Наиболее интенсивный рост плода у коров происходит в последние три месяца гестации [17, 19]. За это время вес плода увеличивается в 2,56–4,85 раза [17, 19]. При такой высокой скорости роста плод особенно остро нуждается в адекватном поступлении энергии, аминокислот, витаминов, макро- и микроэлементов [7, 23, 27, 33, 35]. Считают, что внутриутробный запас микроэлементов, необходимых для нормального формирования и развития плода у крупного рогатого скота, полностью определяется уровнем потребления и обеспеченности ими материнско-

го организма [9, 15, 20, 23]. Более того, недостаточное потребление эссенциальных микроэлементов матерью может приводить к избыточному накоплению плодом потенциально токсичных и токсичных химических элементов, вызывая глубокие нарушения микроэлементного гомеостаза [13, 14, 18, 32].

Одним из способов оценить уровень микроэлементного питания развивающегося плода может быть анализ элементного состава волос кисти хвоста, полученных у телят сразу после рождения [4, 9, 29]. Такой анализ позволяет судить об уровне микроэлементного питания плода в период его наиболее интенсивного роста, начиная с 7-го месяца гестации [4, 6, 9]. Анализ элементного состава волос имеет ряд преимуществ перед рутинными исследованиями образцов крови, молока, мочи матери или биоптатов плода [2, 6, 9, 12]. Так, например, уровень минерализации крови не всегда соответствует истинному содержанию макро- и микроэлементов в организме матери и плода, поскольку состав цельной крови и плазмы жестко регулируется гомеостатическими механизмами [2, 6, 9]. Концентрации ряда минералов в крови, моче и молоке относительно низкие и существенно зависят от текущего рациона матери [9, 12, 34]. С другой стороны, оценка минерального статуса плода по составу волос неинвазивна и позволяет существенно снизить уровень стрессовой нагрузки на животное при отборе образцов (по сравнению с проведением биопсии, например) [9, 21]. Кроме того, волос характеризуется стабильностью элементного состава, что важно при длительном хранении и транспортировке образцов [2, 10]. Основным недостатком рассматриваемого метода является его ретроспективность. Выявленные по результатам анализа волос новорожденного нарушения макро- и микроэлементного питания плода уже не могут быть предупреждены, но лишь скорректированы в той или иной степени последствия этих нарушений.

Известно, что внутриутробный дисэлементоз (избыток, дефицит или дисбаланс химических элементов) у крупного рогатого скота является фактором риска целого ряда заболеваний [5, 16, 30, 35] и метаболических нарушений в постнатальном онтогенезе [5, 7, 28, 30], негативно сказывается на росте и продуктивности животных [7, 22, 15, 35]. Поэтому прогнозирование и своевременная коррекция нарушений минерального питания плода у коров является актуальной задачей для зооветеринарной науки.

Целью нашей работы было изучение взаимосвязей между содержанием микроэлементов в образцах волос, полученных от клинически здоро-

вых коров за 60 дней до предполагаемого отела (после запуска) и их телят сразу после рождения, и возможностей прогнозирования уровня микроэлементного статуса плода по показателям матери.

Материалы и методы

1. Экспериментальные животные и дизайн исследования

Исследование выполнено в условиях сельскохозяйственных предприятий Икрянинского района Астраханской области (Россия) на 35 клинически здоровых коровах симментальской породы с одноплодной беременностью и полученных от них телятах. В эксперименте из 35 новорожденных 18 было бычками и 17 телочками. Образцы непигментированных покровных волос из кисти хвоста для анализа у коров получали за 60 дней до предполагаемого отела, в начале сухостойного периода (после запуска), а у их телят – сразу после рождения (до первой выпойки молозива) с помощью ножниц из нержавеющей стали, предварительно обработанных этиловым спиртом.

2. Анализ содержания микроэлементов в образцах волос

Пробоподготовку образцов волос и собственно анализ микроэлементов проводили, как описано ранее [26, 29], в аккредитованной лаборатории ООО «Микронутриенты» (Москва, Россия), ассоциированной компании IUPAC. К навеске волоса массой 50 мг добавляли 5 мл концентрированной азотной кислоты осч (Химмед, Россия) [29]. Смесь разлагали в микроволновой установке Multiwave 3000 (PerkinElmer, Австрия) при следующем режиме: 5 минут – повышение температуры до 200 °С, 5 минут – стабилизация температуры 200 °С, затем – охлаждение до 45 °С [29]. После содержимое количественно переносили в полипропиленовые пробирки, добавлением деионизированной воды (18 МΩ см) довели объем до 15 мл и тщательно перемешивали встряхиванием в пробирках, закрытых крышками [1]. Количественное определение микроэлементов – селена (Se), меди (Cu), цинка (Zn), железа (Fe), хрома (Cr), стронция (Sr), молибдена (Mo), кобальта (Co), никеля (Ni), мышьяка (As) и марганца (Mn) – в образцах проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре Nexion 300D (Perkin Elmer, США). Для градуировки прибора использовали моноэлементные наборы Universal Data Acquisition Standards Kit (CT 06484, PerkinElmer, США) [1, 29]. В качестве эталона использовали образец волоса GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Китай) [1, 29]. Степень извлечения исследованных химических элементов варьировалась от 90 до 110%.

3. Статистический анализ

Статистический анализ данных выполняли в программах Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США), OriginPro 8 (OriginLab Corporation, США) и MathCAD 14 (PTC Inc., США).

Минимальный объем выборки n , позволяющий определить значение показателя x_i с заданной погрешностью δ (абсолютной величиной) и уровнем значимости α , рассчитывали через двусторонний критерий Стьюдента [3, 8]:

$$n = t^2(\alpha; k) \frac{s^2}{\delta^2}, \quad (1)$$

где t – двусторонний критерий Стьюдента; $k = n - 1$ – количество степеней свободы; s – оценка среднеквадратичного отклонения выборки.

Для обоснования минимального объема выборки, достаточного для решения задач исследования, выполняли анализ мощности, используя независимый выборочный t -критерий двух средних значений [8].

Для проверки данных на нормальность распределения использовали критерии Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса и W -критерий Шапиро-Уилка [8].

Для каждого из исследованных показателей $p(x)$ была предпринята попытка описания распределения шестью законами: равномерным (2), линейным (3), показательным (4), Парето (5), нормальным (6) и двойным нормальным (7):

$$p(x) = \frac{1}{b-a}, \quad x \in [a, b]; \quad (2)$$

$$p(x) = \begin{cases} ax + b, & ax + b \geq 0; \\ 0, & ax + b < 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$p(x) = \lambda e^{-\lambda x}; \quad (4)$$

$$p(x) = \frac{a}{x^{a+1}}; \quad (5)$$

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}; \quad (6)$$

$$p(x) = w \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} e^{-\frac{(x-a_1)^2}{2\sigma_1^2}} + (1-w) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_2^2}} e^{-\frac{(x-a_2)^2}{2\sigma_2^2}}. \quad (7)$$

Данные законы распределения включают от 0 до 5 параметров, которые определяются путем приближения модельной к экспериментальной функции распределения с помощью метода наименьших квадратов [8, 9].

Для построения функции распределения $p(x)$ по n экспериментальным наблюдениям мы находили минимальное и максимальное значение показателя, делили получившийся интервал на восемь равных интервалов, затем подсчитывали количество наблюдений в каждом интервале и делили на n для нормировки [8, 9].

Оценку закона распределения проводили по скорректированному критерию детерминации R^2_{adj} , который рассчитывали по формуле [8, 9]:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{p}_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2} \cdot \frac{m-1}{m-k}, \quad (8)$$

где m – количество интервалов в экспериментальной функции распределения; p_i – реальные значения функции $p(x)$ в каждом интервале; $\hat{p}_i$ – значения, предсказанные законом распределения; $\bar{p}$ – среднее по всем реальным значениям; k – количество параметров закона распределения.

Считали, что критерий R^2_{adj} обычно принимает значения от 0 до 1, но может принимать и отрицательные значения, когда аппроксимирующая функция существенно отличается от реальных данных [8]. Чем ближе к 1 значение R^2_{adj} , тем больше данный закон распределения соответствует экспериментальной функции распределения [8].

Для равномерного распределения данных вместо критерия R^2_{adj} (который равен нулю при $k = 0$) использовали критерий RSS (остаточная сумма квадратов) [8]. В случаях хорошего соответствия теоретического закона распределения экспериментальным данным критерии RSS и R^2_{adj} принимали соответственно значения менее 0,1 и более 0,9 [8].

Поскольку значительное количество исследованных показателей подчинялось нормальному закону распределения, в работе мы использовали статистические характеристики для нормального распределения – среднее (M), стандартная ошибка среднего (SEM), среднеквадратичное отклонение (SD); находили минимальное (Min) и максимальное значение показателей (Max), рассчитывали 95%-ный доверительный интервал (95% CI) [8]. Для показателей, распределение которых отличалось от нормального, учитывали, что данные характеристики не являются оптимальными [8, 9].

Достоверность различий между параметрами по признаку пола телят определяли с помощью U -критерия Манна-Уитни [8].

Для анализа зависимостей между показателями матери и плода использовали критерии корреляции Спирмена и Пирсона, а также метод наименьших квадратов [8, 11]. Качество аппроксимации оценивали численно по RSS

[8, 9, 11]. Параллельно с выполнением аппроксимации находили границы доверительной и прогнозной полос, используя метод Бонферрони [9, 11].

Результаты исследования и их обсуждение

На начальном этапе анализа нами была выполнена проверка данных на нормальность распределения, так как наиболее распространенные статистические методы исходят из предположения нормальности распределения изучаемых показателей [8]. В таблице 1 представлены уровни значимости P по результатам тестов Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса и W -теста Шапиро-Уилка. Если P превышало 0,05, делался вывод, что распределение нормальное [8].

Таблица 1.

Результаты проверки законов распределения показателей на нормальность

Показатель	P в тесте Колмогорова-Смирнова	P в тесте Лиллиефорса	P в W -тесте Шапиро-Уилка	Вывод о нормальности распределения данных
Se у матери	> 0,20	< 0,10	0,109	нормальное
Cu у матери	> 0,20	< 0,05	0,001	нормальное
Zn у матери	> 0,20	< 0,15	0,010	нормальное
Fe у матери	< 0,05	< 0,01	0,000	не нормальное
Cr у матери	> 0,20	< 0,01	0,020	нормальное
Sr у матери	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное
Mo у матери	> 0,20	> 0,20	0,294	нормальное
Co у матери	> 0,20	> 0,20	0,030	нормальное
Ni у матери	< 0,20	< 0,01	0,000	не нормальное
As у матери	< 0,10	< 0,10	0,000	не нормальное
Mn у матери	> 0,20	> 0,20	0,857	нормальное
Se у плода	> 0,20	> 0,20	0,563	нормальное
Cu у плода	> 0,20	> 0,20	0,180	нормальное
Zn у плода	> 0,20	> 0,20	0,380	нормальное
Fe у плода	< 0,15	< 0,01	0,000	не нормальное
Cr у плода	> 0,20	> 0,20	0,161	нормальное
Sr у плода	< 0,15	< 0,01	0,000	не нормальное
Mo у плода	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное
Co у плода	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное
Ni у плода	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное
As у плода	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное
Mn у плода	< 0,10	< 0,01	0,000	не нормальное

Из 22 исследованных показателей (по 11 микроэлементам у матери и плода, соответственно) для 12 установлена нормальность распределения хотя бы по одному критерию, для 8 – по двум критериям, для 6 – по всем трем проверяемым критериям (Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса и W-критерий Шапиро-Уилка). Так как значительное количество показателей подчинялось нормальному закону распределения, далее в работе мы использовали статистические характеристики для нормального распределения (среднее, стандартная ошибка среднего и т.д.) [8]. При этом учитывали, что для показателей, распределение которых отличается от нормального, данные оценки не являются наиболее оптимальными [8, 9].

Наибольший интерес для нас представляли показатели, не распределенные по нормальному закону, так как они содержат в себе скрытые закономерности [9], а не просто являются постоянной величиной, принимающей случайные значения в соответствии с законом распределения. Для выявления таких скрытых закономерностей далее были предприняты попытки найти зависимости показателей плода от матери.

Для каждого показателя нами была предпринята попытка описания характера распределения данных $p(x)$ шестью законами: равномерным, линейным, показательным, Парето, нормальным и двойным нормальным [8]. Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 2.

**Соответствие функций распределения показателей различным
теоретическим законам распределения**

Показатель	Равно- мерный	Линей- ный	Показа- тельный	Парето	Нор- маль- ный	Двойной нормаль- ный	Резюме
	RSS	R^2_{adj}	R^2_{adj}	R^2_{adj}	R^2_{adj}	R^2_{adj}	
Se у матери	0,059*	0,293	0,093	-0,913	0,972	0,981*	двойное нормальное
Cu у матери	0,103	0,423	0,296	-0,281	0,954*	0,954*	нормальное
Zn у матери	0,124	0,239	-0,391	-0,848	0,726	0,918*	двойное нормальное
Fe у матери	0,235	0,929*	0,727	0,728	0,978*	0,965*	нормальное
Cr у матери	0,077*	0,165	0,117	-0,562	0,440	0,640	равномерное
Sr у матери	0,273	0,909*	0,707	0,737	0,993*	0,989*	нормальное
Mo у матери	0,075*	0,173	0,038	-0,765	0,882	0,910*	двойное нормальное
Co у матери	0,029*	0,191	0,055	-0,701	-0,356	-0,497	равномерное
Ni у матери	0,093*	0,628	0,592	0,237	0,821	0,921*	двойное нормальное

As у матери	0,140	0,363	0,340	-0,032	0,701	0,975*	двойное нормальное
Mn у матери	0,063*	-0,160	-0,361	-1,338	0,607	0,867	равномерное
Se у плода	0,046*	-0,112	-0,377	-1,454	0,629	0,847	равномерное
Cu у плода	0,026*	0,017	-0,406	-2,359	-0,048	0,765	равномерное
Zn у плода	0,052*	0,073	-0,731	-1,779	0,708	0,791	равномерное
Fe у плода	0,248	0,967*	0,819	0,968*	0,957*	0,981*	двойное нормальное
Cr у плода	0,026*	0,043	-0,335	-2,079	-0,094	-0,534	равномерное
Sr у плода	0,150	0,919*	0,805	0,748	0,960*	0,971*	двойное нормальное
Mo у плода	0,251	0,973*	0,817	0,964*	0,948*	0,982*	двойное нормальное
Co у плода	0,230	0,458	0,397	0,176	0,939*	0,985*	двойное нормальное
Ni у плода	0,124	0,304	0,361	0,019	0,734	0,966*	двойное нормальное
As у плода	0,132	0,865	0,730	0,564	0,918*	0,880	двойное нормальное
Mn у плода	0,163	0,904*	0,751	0,699	0,920*	0,922*	двойное нормальное

* Значения критерия для случаев хорошего соответствия теоретического закона распределения экспериментальным данным (менее 0,1 для RSS и более 0,9 для R^2_{adj}).

Из таблицы 2 видно, что семь изучаемых показателей были распределены по равномерному закону, четыре – по нормальному закону, 11 – по двойному нормальному.

На рис. 1а-е показано наложение различных теоретических законов распределения на экспериментальную функцию распределения на примере содержания химических элементов в волосе теленка.

В приближении нормального распределения показателей объем выборки n , позволяющий определить значение некоторого показателя x_i с заданной погрешностью δ (абсолютной величиной) и уровнем значимости α , можно определить через двусторонний критерий Стьюдента [3, 8].

Для примера рассмотрим содержание селена в волосе новорожденного теленка. Оценка среднеквадратичного отклонения выборки, сделанная по 35 новорожденным телятам для этого показателя, составила 115,1 мкг/кг. Исследуемые показатели отличались высокими значениями среднеквадратичного отклонения по сравнению с диапазоном изменения показателей, в данном случае s составило 34% от диапазона 261,0...595,0 содержания селена в волосе новорожденного.

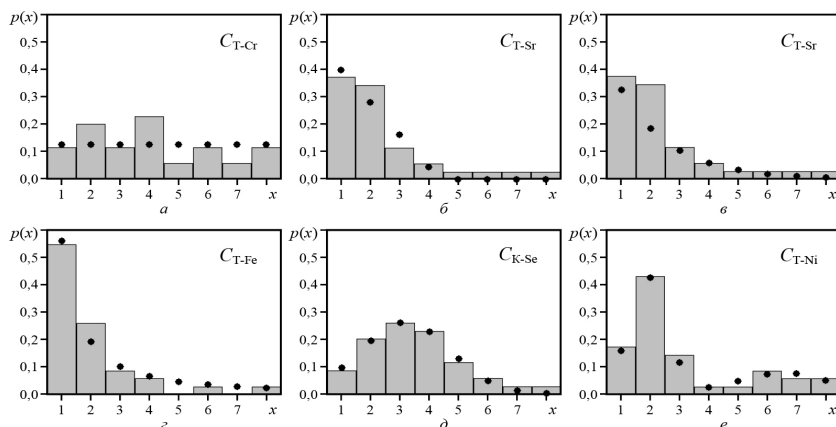


Рис. 1. Наложение теоретических законов распределения (точки) на экспериментальные функции распределения (гистограмма): а – равномерный закон распределения; б – линейный; в – показательный; г – Парето; д – нормальный; е – двойной нормальный.

В таких случаях для обеспечения высокой статистической достоверности ($P = 0,05$) необходимо искать существенные различия между группами: порядка 10...50% от диапазона изменения фактора [8, 11]. Для многих исследуемых в нашей работе показателей различия составили более 15% от диапазона изменения показателя. Для рассматриваемого примера это $\delta = 0,15$ ($595,0 - 261,0$) = 50,10 мкг/кг. С учетом общепринятого уровня значимости $P = 0,05$ [8], получаем следующую формулу для объема выборки:

$$n = t^2(0,05; n-1) \frac{115,1^2}{50,10^2} = t^2(0,05; n-1) \cdot 5,278. \quad (9)$$

Наименьшее целое число n , при котором последнее условие оказывается ближе всего к равенству, составляет $23 \approx 2,074^2 \cdot 5,278 = 22,70$.

Таким образом, необходимо 23 новорожденных теленка для статистического обоснования с высоким уровнем достоверности (95% в данной работе) вывода о различии показателя между группами новорожденных телят, например, выделенными по половому признаку, или по различным уровням показателей коров-матерей. Так как распределение некоторых из исследуемых показателей не было нормальным, а подчинялось более сложным законам, статистическую достоверность выводов должен был обеспечить полуторный запас количества новорожденных телят и увеличение искомых различий более 15% (для многих показателей различия

достигают 20...50%). Поэтому, с учетом статистического запаса в 1,5 раза, в текущем исследовании количество анализируемых пар «мать-плод» составило 35.

По мере сбора экспериментальных данных уже на 20...30 наблюдениях было обнаружено, что по некоторым показателям проявляется сильно выраженное разделение на группы по величине показателя. Так как уже были найдены выраженные эффекты на достаточно малом количестве коров и телят, было принято решение не увеличивать размер выборки более 35 коров. Для обоснования этого решения нами был выполнен анализ мощности [8].

Для примера рассмотрим один из показателей – содержание Ni в волосе коров, функция распределения которого хорошо описывается двойным нормальным теоретическим законом распределения (рис. 2а).

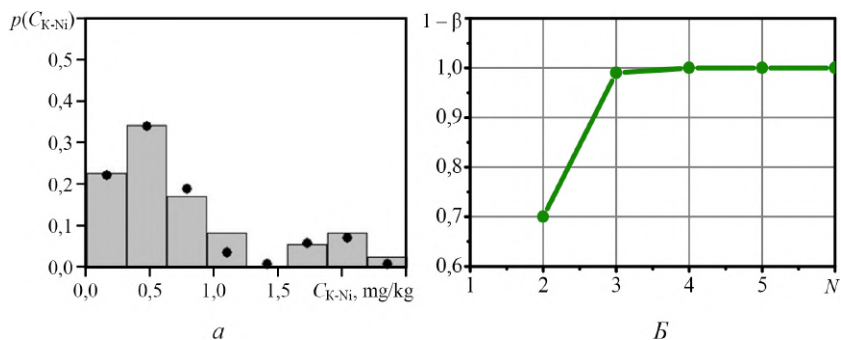


Рис. 2. Функция распределения $p(C_{K-Ni})$ показателя C_{K-Ni} и наложенный теоретический двойной нормальный закон распределения (а) и зависимость мощности $1 - \beta$ статистического критерия отличия двух средних значений от объема каждой группы выборки N ($N = N_1 = N_2$) (б).

Как видно из функции распределения, все наблюдения можно разделить на две группы уровнем $C_{K-Ni} = 1,5$ мг/кг, при этом каждая группа будет распределена по закону, близкому к нормальному. Тогда 29 наблюдений заключено в диапазоне 0,11...1,12 мг/кг, а 6 наблюдений заключено в диапазоне 1,71...2,55 мг/кг. Оценка среднего значения для первой и второй группы наблюдений составит 0,59 и 2,04 мг/кг, а оценка среднеквадратичного отклонения составит 0,297 и 0,292 мг/кг, соответственно.

Особенность данного распределения заключается в том, что различие между оценками среднего значения 1,45 превышает оценку среднеквадратичного отклонения в 4,89 раза. Поэтому при анализе мощности можно

ожидать малой требовательности к количеству наблюдений для достижения высокой мощности статистического критерия [8].

На рис. 2б показана зависимость мощности $1 - \beta$ от количества наблюдений N в группах. Как видно из рис. 2б, уже при объеме групп $N = N_1 = N_2 = 3$ достигается мощность 0,999. Таким образом, для определения того, что показатель C_{K-Ni} принимает два различных характерных значения со статистической достоверностью 0,999 достаточно малой выборки из $n = 2N = 6$ коров.

Многие из исследуемых показателей не имели такого выраженного двойного нормального распределения, как C_{K-Ni} , однако существенно больший объем выборки (35 пар «мать-новорожденный»), использовавшийся в настоящей работе, по предварительным оценкам должен позволить дополнительно обнаружить 5...10 статистически значимых эффектов по другим параметрам [8, 11].

На следующем этапе нами был выполнен анализ различий показателей по признаку пола плода. С помощью U-критерия Манна-Уитни мы сравнивали значения показателей содержания химических элементов в волосе коров и их новорожденных между группами самцов и самок. Для каждого показателя был рассчитан уровень статистической значимости P , и по условию не превышения порогового значения 0,05 делался вывод о статистической значимости различий [8]. Результаты анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Содержание химических элементов в волосе коров и их новорожденных в группах самцов и самок

Показатель	Самцы (n = 18) M ± SEM	Самки (n = 17) M ± SEM	P в U-тесте Манна-Уитни
Se у матери, мкг/кг	431,2 ± 25,2	409,9 ± 27,9	0,306
Cu у матери, мг/кг	7,46 ± 0,30	7,97 ± 0,57	0,741
Zn у матери, мг/кг	99,0 ± 2,89	97,3 ± 5,12	0,947
Fe у матери, мг/кг	40,4 ± 8,79	32,2 ± 3,02	0,987
Cr у матери, мг/кг	14,3 ± 1,26	14,2 ± 1,50	0,498
Sr у матери, мг/кг	9,15 ± 1,54	7,81 ± 0,62	0,908
Mo у матери, мкг/кг	216,5 ± 9,79	218,8 ± 8,40	0,400
Co у матери, мкг/кг	75,5 ± 13,3	91,8 ± 14,9	0,564
Ni у матери, мг/кг	0,811 ± 0,153	0,869 ± 0,150	0,322
As у матери, мкг/кг	172,3 ± 19,7	154,9 ± 16,8	0,541
Mn у матери, мг/кг	10,6 ± 0,55	10,3 ± 0,24	0,931

Se у плода, мкг/кг	420,3 ± 20,6	408,4 ± 17,5	0,817
Cu у плода, мг/кг	8,39 ± 0,261	8,06 ± 0,304	0,330
Zn у плода, мг/кг	118,2 ± 3,30	121,5 ± 2,40	0,364
Fe у плода, мг/кг	54,8 ± 14,0	50,3 ± 7,35	0,632
Cr у плода, мкг/кг	17,2 ± 1,19	16,0 ± 0,86	0,597
Sr у плода, мг/кг	6,06 ± 0,487	7,11 ± 0,765	0,215
Mo у плода, мкг/кг	207,9 ± 19,2	217,7 ± 28,8	0,947
Co у плода, мкг/кг	77,9 ± 12,8	65,6 ± 5,82	0,792
Ni у плода, мг/кг	2,87 ± 0,580	2,02 ± 0,355	0,609
As у плода, мкг/кг	138,6 ± 26,8	178,9 ± 30,9	0,299
Mn у плода, мг/кг	9,24 ± 0,323	9,31 ± 0,412	0,664

Нами не обнаружено статистически значимых различий между группами самцов и самок для всех исследуемых показателей, как у собственно новорожденных, так и у их матерей (разделенных по признаку пола новорожденного). Это позволяет далее рассматривать 35 исследуемых пар мать-плод как одну группу без разделения выборки по половому признаку.

В таблице 4 представлено количественное содержание химических элементов в образцах волос кисти хвоста у коров и их новорожденных (без разделения по половому признаку).

Таблица 4.

**Содержание химических элементов в волосе коров (n = 35)
и их новорожденных (n = 35) без разделения по половому признаку**

Показатель	M ± SEM	Min – Max	95% CI
Se, мкг/кг	<u>420,9 ± 18,6</u> 414,5 ± 13,4	<u>231,0 – 734,0</u> 261,0 – 595,0	<u>383,1 – 458,6</u> 387,2 – 441,8
Cu, мг/кг	<u>7,72 ± 0,310</u> 8,24 ± 0,203	<u>4,70 – 14,5</u> 6,30 – 10,6	<u>7,12 – 8,34</u> 7,84 – 8,62
Zn, мг/кг	<u>98,1 ± 2,85</u> 119,8 ± 2,03	<u>38,9 – 126,3</u> 89,5 – 140,8	<u>92,3 – 104,0</u> 115,7 – 123,9 ^b
Fe, мг/кг	<u>35,9 ± 4,75</u> 52,6 ± 7,94	<u>10,7 – 144,4</u> 10,2 – 245,5	<u>26,3 – 45,6</u> 36,5 – 68,8
Cr, мкг/кг	<u>14,2 ± 0,962</u> 16,6 ± 0,743	<u>5,64 – 28,2</u> 9,63 – 25,3	<u>12,3 – 16,7</u> 15,1 – 18,2 ^b
Sr, мг/кг	<u>8,52 ± 0,84</u> 6,64 ± 0,45	<u>3,73 – 32,5</u> 4,04 – 15,5	<u>6,83 – 10,2</u> 5,74 – 7,52 ^a
Mo, мкг/кг	<u>217,6 ± 6,37</u> 212,7 ± 16,9	<u>144,0 – 338,0</u> 119,0 – 655,0	<u>204,6 – 230,6</u> 178,3 – 247,1
Co, мкг/кг	<u>83,4 ± 9,89</u> 71,9 ± 7,16	<u>5,44 – 195,7</u> 22,9 – 238,5	<u>63,3 – 103,5</u> 57,4 – 86,5

Ni, мг/кг	$0,842 \pm 0,106$ $2,45 \pm 0,349$	$0,112 - 2,55$ $0,114 - 7,66$	$0,623 - 1,05$ $1,74 - 3,17^b$
As, мкг/кг	$163,8 \pm 12,9$ $158,2 \pm 20,4$	$67,5 - 399,3$ $27,3 - 568,9$	$137,6 - 190,1$ $116,8 - 199,6$
Mn, мг/кг	$10,4 \pm 0,302$ $9,34 \pm 0,253$	$7,52 - 13,7$ $8,14 - 12,8$	$9,84 - 11,0$ $8,81 - 9,82^a$

Значения для группы коров над линией, для группы новорожденных телят – под линией. Статистическая значимость между группой коров и группой новорожденных телят: ^a $P < 0,05$, ^b $P < 0,01$.

Из таблицы 4 видно, что для новорожденных были характерны более низкие концентрации в волосе стронция и марганца и, напротив, более высокие – цинка, хрома и никеля, соответственно, по сравнению с уровнем у их матерей. В целом, содержание исследованных химических элементов в образцах находилось в пределах референсных интервалов, описанных ранее для крупного рогатого скота [2, 4, 25, 26, 29]. Исследованные микроэлементы по их среднему содержанию в волосе коров можно ранжировать в виде следующего убывающего ряда (мг/кг): Zn (98,1) > Fe (35,9) > Mn (10,4) > Sr (8,52) > Cu (7,72) > Ni (0,842) > Se (0,421) > Mo (0,218) > As (0,164) > Co (0,083) > Cr (0,014). Подобный убывающий ряд был характерен и для новорожденных с той лишь разницей, что среднее содержание меди (8,24 мг/кг) в образцах их волос было выше, чем стронция (6,64 мг/кг).

Корреляционный анализ зависимостей между содержанием исследованных микроэлементов в образцах волос коров и их новорожденных выявил значительно более низкие коэффициенты корреляции Пирсона (по абсолютной величине) по сравнению с коэффициентами корреляции Спирмена (таблица 5), что было связано с характером распределения данных [8, 9]. Применительно к нашей выборке корреляция Пирсона гарантировала большую статистическую значимость [8]. Однако ни для одного из исследованных микроэлементов в парах «мать-новорожденный» мы не обнаружили зависимости со значением $P < 0,10$.

Известно, что корреляционный анализ позволяет оценить лишь линейные зависимости [8, 9, 11]. Низкая статистическая значимость коэффициентов корреляции Пирсона (или Спирмена) не является признаком отсутствия зависимости для большинства биологических систем [5, 9]. В системе «мать-плод» реальные зависимости могут быть гораздо более сложными, чем линейные [9]. В нашем случае это скорее показывает, что корреляционный анализ для рассматриваемой биологической системы неприменим и требуется поиск других методов анализа данных [9, 11].

Таблица 5.

Результаты корреляционного анализа зависимостей между содержанием химических элементов в волосе коров ($n = 35$) и их новорожденных ($n = 35$)

Показатель	Параметрическая корреляция Пирсона		Ранговая корреляция Спирмена	
	Коэффициент корреляции	Уровень значимости	Коэффициент корреляции	Уровень значимости
Se	-0,36	0,031	-0,32	0,058
Cu	-0,06	0,724	-0,17	0,324
Zn	-0,08	0,629	0,08	0,645
Fe	-0,08	0,655	-0,01	0,967
Cr	-0,13	0,469	-0,10	0,562
Sr	-0,15	0,396	-0,02	0,902
Mo	-0,12	0,948	0,08	0,646
Co	-0,06	0,724	0,17	0,343
Ni	0,09	0,619	0,22	0,208
As	0,03	0,861	0,16	0,363
Mn	0,13	0,555	0,11	0,608

Поиск более сложных нелинейных зависимостей целесообразно производить в следующей последовательности для каждой пары параметров x и y [9]:

1. Изобразить экспериментальные точки на графике и оценить визуально, наблюдается ли нелинейная зависимость, группируются ли точки по переменной x или y .

2. Аппроксимировать зависимость $y(x)$ целиком или отдельные ее участки в выбранном диапазоне x и y наиболее подходящими и естественными функциями с оценкой их статистической значимости.

3. При большом случайном разбросе экспериментальных данных (высокий коэффициент вариации) необходимо дифференцировать случаи действительного отсутствия зависимости и потенциально возможной зависимости с низким уровнем статистической значимости, установленным на данном объеме выборки [9, 31].

В качестве примера рассмотрим последовательность действий по выявлению зависимости содержания кобальта в волосе новорожденного теленка C_T от обеспеченности этим микроэлементом его матери C_K , то есть проведем анализ зависимости $C_{T-Co}(C_{K-Co})$. Данные по содержанию кобальта в волосе у животных в парах «мать-новорожденный» изобразим точками на графике (рис. 3а) и проведем визуальную оценку характера за-

висимости, чтобы понять, группируются ли точки по параметру C_{T-Co} или C_{K-Co} . В рассматриваемом примере группировка точек явно не выражена, а возрастание на графике сменяется убыванием с максимумом при средних значениях C_{K-Co} . Линейная аппроксимация (рис. 3а) не позволяет выявить реальную закономерность: двух параметров a_1 , a_2 линейного выражения не достаточно для описания существующей зависимости. Именно поэтому коэффициент корреляции для пары C_{T-Co} и C_{K-Co} оказался мал и статистически незначим (таблица 5) [8, 9]. Однако уже аппроксимация полиномом второго порядка (рис. 3б) достаточно хорошо описывает закономерность, обнаруженную визуально (возрастание, максимум, убывание), и оказывается статистически значимой.

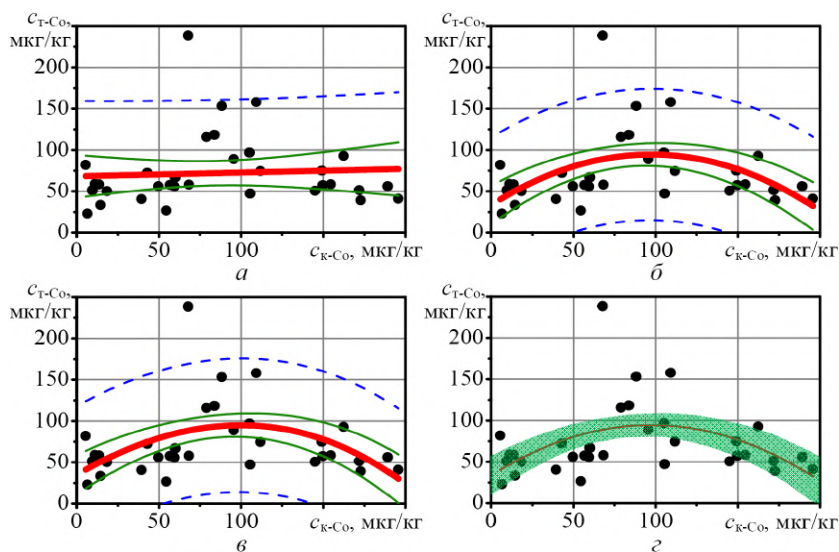


Рис. 3. Зависимость содержания микроэлемента в волосе новорожденного теленка C_T от его содержания в волосе матери C_K на примере кобальта: а – аппроксимация линейной зависимости; б – аппроксимация полиномом 2-й степени; в – аппроксимация полиномом 3-й степени; г – (затемненная) область реальной зависимости с уровнем значимости $P = 0,05$. Аппроксимирующая кривая показана толстой сплошной линией красного цвета, границы области достоверности изображены тонкими сплошными линиями зеленого цвета, а границы области прогноза новой точки – тонкими пунктирными линиями синего цвета.

Далее остановимся на оценке статистической значимости при аппроксимации экспериментальных данных. При корреляционном анализе про-

изводится поиск только одного числа – коэффициента корреляции r_{xy} – и принимается решение о его статистической значимости (или не значимости), в случае же аппроксимации производится поиск гораздо более сложного объекта – функции $y(x)$, и, соответственно, статистическая значимость описывается не одним утверждением (да/нет), а более сложным образом – с помощью области достоверности [5, 9]. Изобразим границы области достоверности тонкими сплошными линиями зеленого цвета (рис. 3а-в). Статистический смысл области достоверности заключается в том, что график реальной зависимости с достоверностью 95% ($P = 0,05$) находится в пределах области достоверности [5, 9].

При аппроксимации понятие статистической достоверности применяется следующим образом: для каждого значения независимой переменной x (в данном примере C_{K-Co}) можно указать диапазон достоверности $y_1 \dots y_2$ [5, 9]. Так, например, при обеспеченности матери $C_{K-Co} = 100$ мкг/кг концентрация кобальта в волосе новорожденного C_{T-Co} с вероятностью 0,95 составит от 85 до 120 мкг/кг.

Кроме того, с использованием области достоверности можно сделать вывод о наличии зависимости [9, 11]. Если с изменением x диапазон достоверности $y_1 \dots y_2$ существенно смещается в большую или меньшую сторону, значит, есть статистически достоверная зависимость между переменными x и y [5, 9]. Так, в частности, при изменении C_{K-Co} от 0 до 100 мкг/кг диапазон достоверности изменялся от 10...52 до 85...120 мкг/кг, причем начальный и конечный диапазоны не перекрывались. Поэтому можно сделать вывод, что между C_{K-Co} и C_{T-Co} имеется статистически достоверная зависимость [5, 9]. В случае перекрытия диапазонов зависимость также может быть статистически достоверной, но это доказывается более сложным образом [9, 11].

Также на рис. 3а-в и последующих тонкими штриховыми линиями синего цвета изобразим границы области прогноза, в которую с вероятностью 0,95 попадут точки новых измерений. По ее ширине можно судить о величине статистического разброса (вариации) измеряемого показателя [9]. Границы областей достоверности и прогноза в работе мы определяли методом Бонферрони [9, 11] (в программе OriginPro 8, OriginLab Corporation, США) параллельно проведению аппроксимации.

Предположим, что полином второго порядка является не лучшим аппроксимирующим выражением для зависимости $C_{T-Co}(C_{K-Co})$. Количественно качество аппроксимации мы оценивали по RSS – остаточной сумме квадратов отклонений аналитической зависимости от точек эксперимен-

тальных измерений [9, 11]. RSS полинома второго порядка $5,093 \cdot 10^4$ значительно меньше RSS линейной зависимости $6,871 \cdot 10^4$, что говорит о большей адекватности полинома второго порядка, чем первого, при описании искомой закономерности $C_{T-Co}(C_{K-Co})$. Однако увеличение порядка полинома до третьего практически не улучшает качество аппроксимации: RSS уменьшается лишь с $5,093 \cdot 10^4$ до $5,088 \cdot 10^4$, а график (рис. 3в) практически не отличается от предыдущего (рис. 3б). Поэтому было принято решение связь между показателями C_{T-Co} и C_{K-Co} описывать полиномом второго порядка:

$$C_{T-Co}(C_{K-Co}) = (-6,44 \cdot 10^{-3} \pm 2,14 \cdot 10^{-3}) C_{K-Co}^2 + (1,25 \pm 0,42) C_{K-Co} + (33,6 \pm 16,2),$$

где после знака « $\pm$ » приводится стандартная ошибка, показывающая с какой точностью определены параметры полинома [9].

Далее, не указывая величину стандартной ошибки (для упрощения выражений), мы будем приводить формулы только для самой регрессионной зависимости (толстая сплошная линия красного цвета на рис. 3а-в и последующих):

$$C_{T-Co}(C_{K-Co}) = -6,44 \cdot 10^{-3} C_{K-Co}^2 + 1,25 C_{K-Co} + 33,6.$$

С использованием изложенного выше математического аппарата нами произведены попытки описать результаты эксперимента аналитическими выражениями вида $C_{T-E}(C_{K-E})$, где C_{T-E} и C_{K-E} – концентрации химического элемента Е в образце волос новорожденного теленка и его матери, соответственно. Графики зависимостей и элементы графо-аналитических рассуждений представлены на рис. 4а-г, рис. 5а-г и рис. 6а-в.

Для каждого исследованного химического элемента по полосе достоверности мы определяли, является ли зависимость $C_{T-E}(C_{K-E})$ статистически значимой. Если при изменении концентрации C_{K-E} диапазон достоверности для C_{T-E} существенно смещался, так что не перекрывались два диапазона достоверности для разных значений концентрации, то зависимость считали статистически значимой с уровнем значимости $P = 0,05$ [9]. Например, для селена при малых концентрациях $C_{K-Se} = 240$ мкг/кг концентрация C_{T-Se} лежит в диапазоне 432...545 мкг/кг с достоверностью 0,95, а при высоких концентрациях $C_{K-Se} = 740$ мкг/кг концентрация C_{T-Se} лежит в диапазоне 245...410 мкг/кг с достоверностью 0,95 (рис. 4а). Из рис. 4а видно, что диапазоны 432...545 и 245...410 не перекрываются, поэтому с достоверностью 0,95 можно утверждать [9, 11], что между C_{K-Se} и C_{T-Se} имеется статистически значимая зависимость. Так, статистически значимые зависимости обнаружены для селена (рис. 4а), меди (рис. 4б), кобальта (рис. 4в) и железа (рис. 4г).

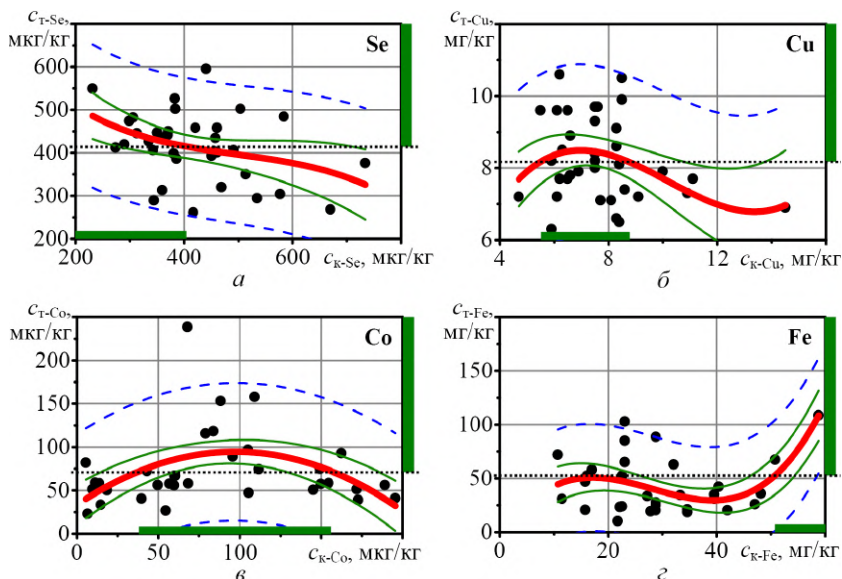


Рис. 4. Зависимость содержания микроэлемента в волосе новорожденного теленка C_T от его содержания в волосе матери C_K : а – селена; б – меди; в – кобальта; г – железа. Аппроксимирующая кривая показана толстой сплошной линией красного цвета, границы области достоверности изображены тонкими сплошными линиями зеленого цвета, а границы области прогноза новой точки – тонкими пунктирными линиями синего цвета.

Если же диапазоны достоверности перекрываются, но незначительно (не более 30...40%) и, кроме того, из-за S-образной формы зависимости перекрытие можно анализировать не только для двух диапазонов, но для нескольких, такая зависимость обозначена нами как «перспективная» с уровнем значимости P 0,05...0,15 [9, 11]. Такие зависимости целесообразно изучать в дальнейших исследованиях на большем объеме выборки [9, 11].

В качестве примера «перспективной» зависимости рассмотрим $C_{T-Zn}(C_{K-Zn})$ (рис. 5а). Если содержание цинка в волосе коров $C_{K-Zn} = 80$ мг/кг, то у теленка его уровень составит $C_{T-Zn} = 109...121$ мг/кг. При концентрации цинка $C_{K-Zn} = 105$ мг/кг его содержание в волосе новорожденного составит $C_{T-Zn} = 117...127$ мг/кг. Доверительные диапазоны незначительно перекрываются в интервале 117...120 мг/кг. Однако перекрытие составляет около 25% по сравнению с шириной первого доверительного диапазона. Таким

образом, можно с большой долей вероятности утверждать, что зависимость между C_{K-Zn} и C_{T-Zn} существует и ее необходимо детально изучить [9, 11]. «Перспективные» зависимости обнаружены для цинка (рис. 5а), мышьяка (рис. 5б), марганца (рис. 5в) и стронция (рис. 5г).

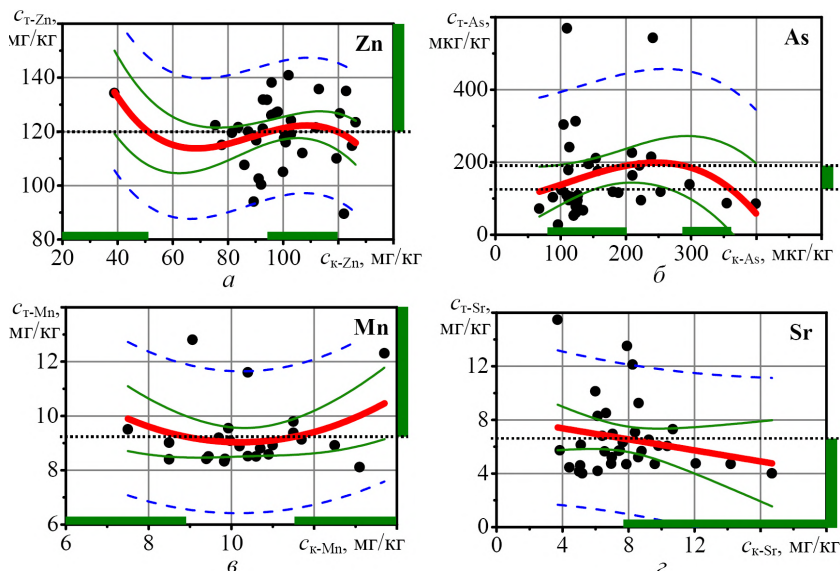


Рис. 5. Зависимость содержания микроэлемента в волосе новорожденного теленка C_T от его содержания в волосе матери C_K : а – цинка; б – мышьяка; в – марганца; г – стронция. Аппроксимирующая кривая показана толстой сплошной линией красного цвета, границы области достоверности изображены тонкими сплошными линиями зеленого цвета, а границы области прогноза новой точки – тонкими пунктирными линиями синего цвета.

В то же время обнаружены зависимости, в которых диапазон достоверности для C_T практически не смещается при изменении C_K . Так, например, при изменении концентрации молибдена в волосе у коров C_{K-Mo} со 150 до 330 мкг/кг диапазон достоверности для C_{T-Mo} смещался со 140...290 до 90...320 мкг/кг (рис. 6а). Перекрывание начального и конечного диапазонов значительное и составило 140...290 мкг/кг, что соответствовало $\approx 65\%$ первоначального диапазона. Таким образом, между концентрацией молибдена в волосе новорожденного теленка C_{T-Mo} и его матери C_{K-Mo} нами не выявлено статистически значимой зависимости [11]. Отсутствие статистически значимой зависимости $C_{T-Mo}(C_{K-Mo})$, вероятно, свидетельствует о том, что

уровень обеспеченности плода молибденом в последние месяцы гестации незначительно зависит от запасов (тканевых депо) этого микроэлемента у матери в конце лактации [6, 21, 35]. Подобные закономерности $C_{T-E}(C_{K-E})$ распределения в системе «мать-плод» были характерны для хрома (рис. 6б) и никеля (рис. 6в).

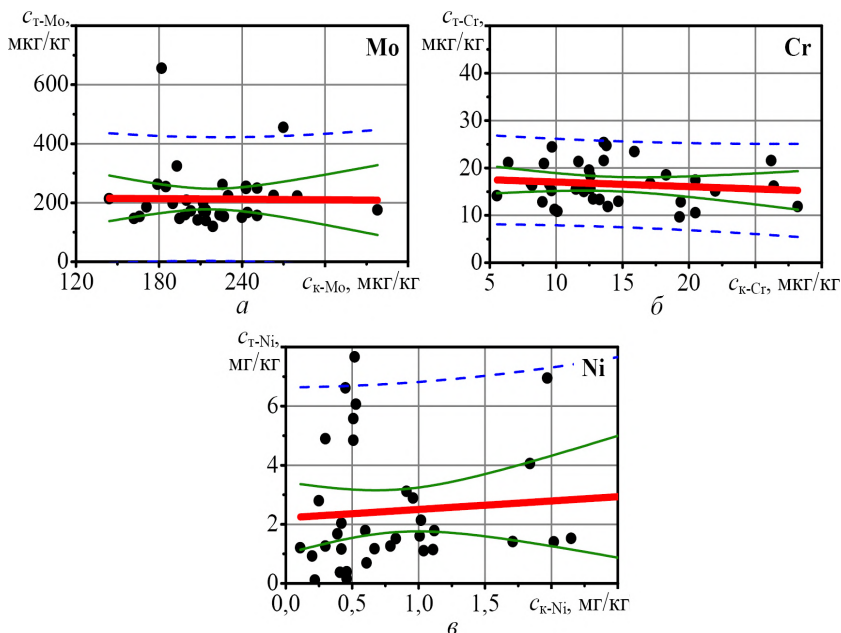


Рис. 6. Зависимость содержания микроэлемента в волосе новорожденного теленка C_T от его содержания в волосе матери C_K : а – молибдена; б – хрома; в – никеля. Аппроксимирующая кривая показана толстой сплошной линией красного цвета, границы области достоверности изображены тонкими сплошными линиями зеленого цвета, а границы области прогноза новой точки – тонкими пунктирными линиями синего цвета.

В таблице 6 представлены аналитические выражения, описывающие обнаруженные нами зависимости между содержанием микроэлементов в волосе коров-матерей и их новорожденных. Статистически значимая зависимость с уровнем $P = 0,05$ найдена для селена, меди, железа и кобальта. Текущий уровень значимости P для цинка, стронция, мышьяка и марганца составил 0,10...0,15, для молибдена, хрома, никеля он был незначительным (аналитические выражения в таблице 6 не приводятся).

Таблица 6.

Аналитические выражения, описывающие зависимости между содержанием микроэлементов в волосе коров-матерей C_K и их новорожденных C_T

Показатель	Аналитическое выражение
Se, мкг/кг	$C_{T-Se}(C_{K-Se}) = -2,23 \cdot 10^{-6} C_{K-Se}^3 + 3,33 \cdot 10^{-3} C_{K-Se}^2 - 1,84 C_{K-Se} + 759,0$
Cu, мг/кг	$C_{T-Cu}(C_{K-Cu}) = 0,0131 C_{K-Cu}^3 - 0,399 C_{K-Cu}^2 + 3,66 C_{K-Cu} - 2,04$
Zn, мг/кг	$C_{T-Zn}(C_{K-Zn}) = -2,64 \cdot 10^{-4} C_{K-Zn}^3 + 0,0702 C_{K-Zn}^2 - 5,90 C_{K-Zn} + 273,0$
Fe, мг/кг	$C_{T-Fe}(C_{K-Fe}) = 3,89 \cdot 10^{-3} C_{K-Fe}^3 - 0,329 C_{K-Fe}^2 + 7,83 C_{K-Fe} - 6,39$
Cr, мкг/кг	–
Sr, мг/кг	$C_{T-Sr}(C_{K-Sr}) = -0,205 C_{K-Sr} + 8,19$
Mo, мкг/кг	–
Co, мкг/кг	$C_{T-Co}(C_{K-Co}) = -6,44 \cdot 10^{-3} C_{K-Co}^2 + 1,25 C_{K-Co} + 33,6$
Ni, мг/кг	–
As, мкг/кг	$C_{T-As}(C_{K-As}) = -1,07 \cdot 10^{-5} C_{K-As}^3 + 3,54 \cdot 10^{-3} C_{K-As}^2 + 0,213 C_{K-As} + 91,7$
Mn, мг/кг	$C_{T-Mn}(C_{K-Mn}) = 0,117 C_{K-Mn}^2 - 2,42 C_{K-Mn} + 21,5$

Сопоставляя текущие результаты с литературными данными [6, 9, 15, 20, 22], можно сделать заключение, что у крупного рогатого скота аккумуляция селена, меди, кобальта и железа, и в меньшей степени цинка, стронция и мышьяка плодом в последние три месяца его внутриутробного развития определяется уровнем потребления и обеспеченности этими микроэлементами материнского организма.

Полученные нами аналитические выражения (таблица 6) позволили определить интервалы концентраций C_K коров-матерей, обеспечивающие оптимальный уровень питания плода C_T жизненно необходимыми (цинк, железо, марганец, медь, селен, молибден, кобальт, хром), условно жизненно необходимыми (никель, мышьяк) и потенциально токсичными (стронций) микроэлементами [9, 29].

При определении оптимальных интервалов C_K мы использовали следующие условия [9]:

- для жизненно необходимых микроэлементов – $C_{T-E}(C_{K-E}) > \langle C_{T-E} \rangle$;
- для потенциально токсичных микроэлементов – $C_{T-E}(C_{K-E}) < \langle C_{T-E} \rangle$;
- для условно жизненно необходимых микроэлементов –

$$\langle C_{T-E} \rangle(1+\beta) < C_{T-E}(C_{K-E}) < \langle C_{T-E} \rangle(1+\beta),$$

где $\langle C_{T-E} \rangle$ – средняя концентрация элемента Е в образцах волос обследованной группы новорожденных телят (на рис. 4а-г и рис. 5а-г отмечена

горизонтальной пунктирной линией черного цвета); β – величина близости к среднему значению (в расчетах равна 0,2) [9].

Оптимальные диапазоны значений C_{T-E} на рис. 4а-г и рис. 5а-г выделены зеленым цветом по оси ординат, а соответствующие им диапазоны C_{K-E} – зеленым цветом по оси абсцисс графиков $C_{T-E}(C_{K-E})$.

Для исследованных микроэлементов в волосе коров установлены следующие интервалы содержания C_{K-E} , обеспечивающие оптимальный уровень их накопления в организме плода C_{T-E} (оцененный по содержанию в волосе новорожденного) [9, 29]: 95...120 мг/кг для цинка, 51...58 мг/кг для железа, 11,6...13,7 мг/кг для марганца, 7,8...17,0 мг/кг для стронция, 5,6...8,8 мг/кг для меди, 230...400 мкг/кг для селена, 80...360 мкг/кг для мышьяка и 36...155 мкг/кг для кобальта. Для молибдена, хрома и никеля из-за сложного характера их распределения в системе «мать-плод» (рис. 6а-в) оптимальные интервалы C_{K-E} определить не удалось.

Заключение

В настоящем исследовании авторами впервые была предпринята попытка спрогнозировать уровень накопления цинка, железа, марганца, меди, селена, молибдена, кобальта, хрома, никеля, мышьяка и стронция в организме плода по содержанию этих микроэлементов у коровы-матери за 60 дней до предполагаемого отела. В качестве материала для ретроспективной оценки микроэлементного статуса плода был выбран покровный волос кисти хвоста теленка, полученный вскоре после рождения. О микроэлементном статусе матери в начале третьего триместра беременности судили по содержанию перечисленных выше микроэлементов в образцах покровных волос, полученных из кисти её хвоста за 60 дней до предполагаемого отела. Показано, что закономерности распределения микроэлементов в системе «мать-плод» у крупного рогатого скота не связаны с полом новорожденного. Зависимости между содержанием в волосе матери и новорожденного для большинства исследованных микроэлементов удалось описать полиномами первого (стронций), второго (кобальт, марганец) и третьего порядка (селен, медь, цинк, железо, мышьяк). Для четырех микроэлементов (селена, меди, железа и кобальта) получены графики (рис. 4а-г) и аналитические выражения (таблица 6), позволяющие прогнозировать по показателям матери их содержание в организме плода с уровнем статистической значимости $P = 0,05$. Для цинка, стронция, мышьяка и марганца даны графики (рис. 5а-г) и аналитические выражения (таблица 6), описывающие зависимости накопления этих микроэлементов в орга-

низме плода от обеспеченности ими матери с уровнем статистической значимости P от 0,10 до 0,15, которые обозначены авторами как «перспективные». Для молибдена, хрома и никеля статистически значимые зависимости между содержанием их в волосе матери и плода выявить не удалось. На основании полученных прогнозирующих зависимостей для 8 из 11 исследованных микроэлементов определены интервалы содержания в волосе коров-матерей, обеспечивающие оптимальный уровень их накопления в организме плода. Для цинка такой интервал составил 95...120 мг/кг, для железа – 51...58 мг/кг, для марганца – 11,6...13,7 мг/кг, для стронция – 7,8...17,0 мг/кг, для меди – 5,6...8,8 мг/кг, для селена – 230...400 мкг/кг, для мышьяка – 80...360 мкг/кг, для кобальта – 36...155 мкг/кг.

Таким образом, результаты исследования открывают новые возможности для прогнозирования уровня микроэlementного питания плода у коров в последние месяцы его внутриутробного развития по содержанию цинка, железа, марганца, стронция, меди, селена, мышьяка и кобальта в образцах волос, полученных за 60 дней до предполагаемого отела. Определены интервалы содержания микроэлементов в волосе коров-матерей, обеспечивающие оптимальный уровень их накопления в организме плода. Предложены графики и аналитические выражения, позволяющие прогнозировать нарушения микроэlementного питания плода.

Заключение комитета по этике. В исследовании были соблюдены все применимые международные, национальные и/или институциональные рекомендации по уходу и использованию животных. Дизайн эксперимента, условия содержания, кормления и все манипуляции с животными (клинические исследования, отбор образцов волос для анализа) были одобрены комиссией по биоэтике ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии», г. Воронеж, Россия (протокол № 2-03/23 от 01.03.2023 г.).

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-26-00136).

Список литературы

1. Детков В.Ю., Скальный А.В. Содержание химических элементов в волосах детей, проживающих в Санкт-Петербурге // Вестник Российской воен-

- но-медицинской академии. 2013. № 4(44). С. 155-158. <https://www.vmeda.org/wp-content/uploads/2016/pdf/155-158.pdf> (дата обращения: 11.11.2023).
2. Замана С.П. Определение химического элементного состава волосяного покрова у крупного рогатого скота // Сельскохозяйственная биология. 2006. № 4. С. 121-125.
 3. Новикова И.В. Интенсивные технологии алкогольных и функциональных безалкогольных напитков на основе солодов и экстрактов: сырьевые источники, прогнозирование качества и проектирование рецептур: Дисс. ... докт. техн. наук. Воронеж, 2015. Т. 2. 160 с. http://old.vsuet.ru/diser/56_NovikovaIV/dis_pril_NovikovaIV.pdf (дата обращения: 11.11.2023).
 4. Сафонов В.А., Ермилова Т.С., Салимзаде Э.А.О., Черницкий А.Е. Скрининг элементного состава волос у новорожденных телят как способ диагностики внутриутробного дисэлементоза // Ветеринария и кормление. 2022. № 5. С. 48-50. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-14>
 5. Черницкий А.Е. Патофизиологическое обоснование методов неинвазивной диагностики, прогнозирования развития и исхода респираторных заболеваний у телят в неонатальный период: Дисс. ... докт. биол. наук. Воронеж, 2020. 348 с. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34489.29287>
 6. Abdelrahman M.M., Kincaid R.L. Deposition of copper, manganese, zinc, and selenium in bovine fetal tissue at different stages of gestation // Journal of Dairy Science, 1993, vol. 76, no. 11, pp. 3588-3593. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(93\)77698-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77698-5)
 7. Anas M., Diniz W.J.S., Menezes A.C.B., Reynolds L.P., Caton J.S., Dahlen C.R., Ward A.K. Maternal mineral nutrition regulates fetal genomic programming in cattle: a review // Metabolites, 2023, vol. 13, no. 5, 593. doi: <https://doi.org/10.3390/metabo13050593>
 8. Bickel P.J., Doksum K.A. Mathematical Statistics: Basic Ideas and Selected Topics, Volumes I-II Package (1st ed.). New York: Chapman and Hall/CRC, 2015. 1066 p. <https://doi.org/10.1201/9781315369266>
 9. Chernitskiy A.E., Skogoreva T.S., Safonov V.A. Study of interrelations of the bioelement status of mother and fetus at cattle // Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences, 2020, no. S10, pp. 154-170. <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00013>
 10. Cygan-Szczegielniak D., Stanek M., Giernatowska E., Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows // Folia Biologica, 2014, vol. 62, no. 3, pp. 163-169. https://doi.org/10.3409/FB62_3.163
 11. Draper N.R., Smith H. Applied Regression Analysis. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 1998. 736 p. <https://doi.org/10.1002/9781118625590>

12. Gabryszuk M., Słoniewski K., Metera E., Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms // *Journal of Elementology*, 2010, vol. 15, no. 2, pp. 259-267. <https://doi.org/10.5601/jelem.2010.15.2.259-267>
13. Goff J.P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status // *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, no. 4, pp. 2763-2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
14. Grzeszczak K., Kwiatkowski S., Kosik-Bogacka D. The role of Fe, Zn, and Cu in pregnancy // *Biomolecules*, 2020, vol. 10, no. 8, 1176. <https://doi.org/10.3390/biom10081176>
15. Harvey K.M., Cooke R.F., Colombo E.A., Rett B., de Sousa O.A., Harvey L.M., Russell J.R., Pohler K.G., Brandão A.P. Supplementing organic-complexed or inorganic Co, Cu, Mn, and Zn to beef cows during gestation: physiological and productive response of cows and their offspring until weaning // *Journal of Animal Science*, 2021, vol. 99, no. 5, skab095. <https://doi.org/10.1093/jas/skab095>
16. Kalaeva E., Kalaev V., Chernitskiy A., Alhamed M., Safonov V. Incidence risk of bronchopneumonia in newborn calves associated with intrauterine diselementosis // *Veterinary World*, 2020, vol. 13, no. 5, pp. 987-995. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.987-995>
17. Krog C.H., Agerholm J.S., Nielsen S.S. Fetal age assessment for Holstein cattle // *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 11, e0207682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207682>
18. Lewicka I., Kocylowski R., Grzesiak M., Gaj Z., Oszukowski P., Suliburska J. Selected trace elements concentrations in pregnancy and their possible role – Literature review // *Ginekologia Polska*, 2017, vol. 88, no. 9, pp. 509-514. <https://doi.org/10.5603/gp.a2017.0093>
19. Mao W.H., Albrecht E., Teuscher F., Yang Q., Zhao R.Q., Wegner J. Growth and breed-related changes of fetal development in cattle // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2008, vol. 21, no. 5, pp. 640-647. <https://www.animbiosci.org/upload/pdf/21-90.pdf> (дата обращения: 11.11.2023).
20. Marques R.S., Cooke R.F., Rodrigues M.C., Cappelozza B.I., Mills R.R., Larson C.K., Moriel P., Bohnert D.W. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring // *Journal of Animal Science*, 2016, vol. 94, no. 3, pp. 1215-1226. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>
21. McCarthy K.L., Menezes A.C., Kassetas C.J., Baumgaertner F., Kirsch J.D., Dorsam S.T., Neville T.L., Ward A.K., Borowicz P.P., Reynolds L.P., Sedivec

- K.K., Forcherio J.C., Scott R., Caton J.S., Dahlen C.R. Vitamin and mineral supplementation and rate of gain in beef heifers II: effects on concentration of trace minerals in maternal liver and fetal liver, muscle, allantoic, and amniotic fluids at day 83 of gestation // *Animals*, 2022, vol. 12, no. 15, 1925. <https://doi.org/10.3390/ani12151925>
22. McCarthy K.L., Undi M., Becker S., Dahlen C.R. Utilizing an electronic feeder to measure individual mineral intake, feeding behavior, and growth performance of cow-calf pairs grazing native range // *Translational Animal Science*, 2021, vol. 5, no. 1, txab007. <https://doi.org/10.1093/tas/txab007>
23. McKeating D.R., Fisher J.J., Perkins A.V. Elemental metabolomics and pregnancy outcomes // *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 1, 73. <https://doi.org/10.3390/nu11010073>
24. Mehdi Y., Dufrasne I. Selenium in cattle: a review // *Molecules*, 2016, vol. 21, no. 4, 545. <https://doi.org/10.3390/molecules21040545>
25. Miroshnikov S.A., Skalny A.V., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Grabeklis A.R. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein breed // *Biological Trace Element Research*, 2020, vol. 194, no. 1, pp. 145-151. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6>
26. Miroshnikov S.A., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Bolodurina I.P., Kalashnikov V.V., Grabeklis A.R., Tinkov A.A., Skalny A.V. The reference intervals of hair trace element content in Hereford cows and heifers (*Bos taurus*) // *Biological Trace Element Research*, 2017, vol. 180, no. 1, pp. 56-62. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0991-5>
27. Nezhdanov A.G., Mikhalev V.I., Chusova G.G., Papin N.E., Chernitskiy A.E., Lozovaya E.G. Metabolic status of the cows under intrauterine growth retardation of embryo and fetus // *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 2, pp. 230-237. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.230eng>
28. Ojeda M.L., Nogales F., Romero-Herrera I., Carreras O. Fetal programming is deeply related to maternal selenium status and oxidative balance; experimental offspring health repercussions // *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 6, 2085. <https://doi.org/10.3390/nu13062085>
29. Safonov V., Salimzade E., Ermilova T., Chernitskiy A. Retrospective diagnosis of intrauterine diselementosis in newborn calves // *BIO Web of Conferences*, 2022, vol. 52, 00033. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200033>
30. Safonov V.A., Mikhalev V.I., Chernitskiy A.E. Antioxidant status and functional condition of respiratory system of newborn calves with intrauterine growth retardation // *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 4, pp. 831-841. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.831eng>

31. Nakamura T., Yamada T., Kataoka K., Sera K., Saunders T., Takatsuji T., Makie T., Nose Y. Statistical resolutions for large variabilities in hair mineral analysis // PLoS One, 2018, vol. 13, no. 12, e0208816. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208816>
32. Shabunin S., Nezhdanov A., Mikhalev V., Lozovaya E., Chernitskiy A. Diselementosis as a risk factor of embryo loss in lactating cows // Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2017, vol. 41, no. 4, pp. 453-459. <http://dx.doi.org/10.3906/vet-1609-76>
33. Sullivan T.M., Micke G.C., Greer R.M., Irving-Rodgers H.F., Rodgers R.J., Perry V.E. Dietary manipulation of Bos indicus x heifers during gestation affects the reproductive development of their heifer calves // Reproduction Fertility and Development, 2009, vol. 21, no. 6, pp. 773-784. <https://doi.org/10.1071/RD09004>
34. Suttle N.F. Mineral Nutrition of Livestock. 5th ed. Boston: CABI, 2022. 600 p. <http://dx.doi.org/10.1079/9781789240924.0000>
35. Van Emon M., Sanford C., McCoski S. Impacts of bovine trace mineral supplementation on maternal and offspring production and health // Animals, 2020, vol. 10, no. 12, 2404. <https://doi.org/10.3390/ani10122404>

References

1. Detkov V.Yu., Skalny A.V. Soderzhanie khimicheskikh elementov v volosakh detey, prozhivayushchikh v Sankt-Peterburge [The content of chemical elements in the hair of children living in Saint-Petersburg]. *Bulletin of the Russian Military Medicinal Academy*, 2013, no. 4(44), pp. 155-158. <https://www.vmeda.org/wp-content/uploads/2016/pdf/155-158.pdf> (accessed November 11, 2023).
2. Zamana S.P. Opredelenie khimicheskogo elementnogo sostava volosyanogo pokrova u krupnogo rogatogo skota [Determination of chemical element composition of the hair cover in cattle]. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 2006, no. 4, pp. 121-125.
3. Novikova I.V. *Intensivnye tekhnologii alkohol'nykh i funktsional'nykh bezalkogol'nykh napitkov na osnove solodov i ekstraktov: syr'yevye istochniki, prognozirovaniye kachestva i proektirovaniye retseptur* [Intensive technologies of alcoholic and functional non-alcoholic drinks based on malts and extracts: raw materials, quality forecasting and recipe design]. DSci dissertation. Voronezh, 2015, vol. 2, 160 p. http://old.vsuet.ru/diser/56_NovikovaIV/dis_pril_No-vikovaIV.pdf (accessed November 11, 2023).
4. Safonov V.A., Ermilova T.S., Salimzade E.A.O., Chernitskiy A.E. Skrining elementnogo sostava volos u novorozhdennykh telyat kak sposob diagnostiki vnutritrobnogo diselementoza [Screening of hair elemental composition in newborn calves as a way for diagnosis of intrauterine diselementosis]. *Vet-*

- erinaria i Kormlenie*, 2022, no. 5, pp. 48-50. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-5-14>
5. Chernitskiy A.E. *Patofiziologicheskoe obosnovanie metodov neinvazivnoy diagnostiki, prognozirovaniya razvitiya i iskhoda respiratornykh zabolevaniy u telyat v neonatalnyy period* [Pathophysiological substantiation of methods for non-invasive diagnostics, predicting the development and outcome of respiratory diseases in calves in the neonatal period.]. DSci dissertation. Voronezh, 2020, 348 p. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.34489.29287>
 6. Abdelrahman M.M., Kincaid R.L. Deposition of copper, manganese, zinc, and selenium in bovine fetal tissue at different stages of gestation. *Journal of Dairy Science*, 1993, vol. 76, no. 11, pp. 3588-3593. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(93\)77698-5](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77698-5)
 7. Anas M., Diniz W.J.S., Menezes A.C.B., Reynolds L.P., Caton J.S., Dahlen C.R., Ward A.K. Maternal mineral nutrition regulates fetal genomic programming in cattle: a review. *Metabolites*, 2023, vol. 13, no. 5, 593. doi: <https://doi.org/10.3390/metabo13050593>
 8. Bickel P.J., Doksum K.A. *Mathematical Statistics: Basic Ideas and Selected Topics, Volumes I-II Package* (1st ed.). New York: Chapman and Hall/CRC, 2015. 1066 p. <https://doi.org/10.1201/9781315369266>
 9. Chernitskiy A.E., Skogoreva T.S., Safonov V.A. Study of interrelations of the bioelement status of mother and fetus at cattle. *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 2020, no. S10, pp. 154-170. <https://doi.org/10.26782/jmcms.spl.10/2020.06.00013>
 10. Cygan-Szczegielniak D., Stanek M., Giernatowska E., Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. *Folia Biologica*, 2014, vol. 62, no. 3, pp. 163-169. https://doi.org/10.3409/FB62_3.163
 11. Draper N.R., Smith H. *Applied Regression Analysis*. 3rd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 1998. 736 p. <https://doi.org/10.1002/9781118625590>
 12. Gabryszuk M., Słoniewski K., Metera E., Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. *Journal of Elementology*, 2010, vol. 15, no. 2, pp. 259-267. <https://doi.org/10.5601/jelem.2010.15.2.259-267>
 13. Goff J.P. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, no. 4, pp. 2763-2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
 14. Grzeszczak K., Kwiatkowski S., Kosik-Bogacka D. The role of Fe, Zn, and Cu in pregnancy. *Biomolecules*, 2020, vol. 10, no. 8, 1176. <https://doi.org/10.3390/biom10081176>

15. Harvey K.M., Cooke R.F., Colombo E.A., Rett B., de Sousa O.A., Harvey L.M., Russell J.R., Pohler K.G., Brandão A.P. Supplementing organic-complexed or inorganic Co, Cu, Mn, and Zn to beef cows during gestation: physiological and productive response of cows and their offspring until weaning. *Journal of Animal Science*, 2021, vol. 99, no. 5, skab095. <https://doi.org/10.1093/jas/skab095>
16. Kalaeva E., Kalaev V., Chernitskiy A., Alhamed M., Safonov V. Incidence risk of bronchopneumonia in newborn calves associated with intrauterine diseleniumosis. *Veterinary World*, 2020, vol. 13, no. 5, pp. 987-995. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.987-995>
17. Krog C.H., Agerholm J.S., Nielsen S.S. Fetal age assessment for Holstein cattle. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 11, e0207682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207682>
18. Lewicka I., Kocylowski R., Grzesiak M., Gaj Z., Oszukowski P., Suliburska J. Selected trace elements concentrations in pregnancy and their possible role – Literature review. *Ginekologia Polska*, 2017, vol. 88, no. 9, pp. 509-514. <https://doi.org/10.5603/gp.a2017.0093>
19. Mao W.H., Albrecht E., Teuscher F., Yang Q., Zhao R.Q., Wegner J. Growth-and breed-related changes of fetal development in cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2008, vol. 21, no. 5, pp. 640-647. <https://www.animbiosci.org/upload/pdf/21-90.pdf> (accessed November 11, 2023).
20. Marques R.S., Cooke R.F., Rodrigues M.C., Cappellozza B.I., Mills R.R., Larson C.K., Moriel P., Bohnert D.W. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *Journal of Animal Science*, 2016, vol. 94, no. 3, pp. 1215-1226. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0036>
21. McCarthy K.L., Menezes A.C., Kassetas C.J., Baumgaertner F., Kirsch J.D., Dorsam S.T., Neville T.L., Ward A.K., Borowicz P.P., Reynolds L.P., Sedivec K.K., Forchiero J.C., Scott R., Caton J.S., Dahlen C.R. Vitamin and mineral supplementation and rate of gain in beef heifers II: effects on concentration of trace minerals in maternal liver and fetal liver, muscle, allantoic, and amniotic fluids at day 83 of gestation. *Animals*, 2022, vol. 12, no. 15, 1925. <https://doi.org/10.3390/ani12151925>
22. McCarthy K.L., Undi M., Becker S., Dahlen C.R. Utilizing an electronic feeder to measure individual mineral intake, feeding behavior, and growth performance of cow-calf pairs grazing native range. *Translational Animal Science*, 2021, vol. 5, no. 1, txab007. <https://doi.org/10.1093/tas/txab007>
23. McKeating D.R., Fisher J.J., Perkins A.V. Elemental metabolomics and pregnancy outcomes. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 1, 73. <https://doi.org/10.3390/nu11010073>
24. Mehdi Y., Dufresne I. Selenium in cattle: a review. *Molecules*, 2016, vol. 21, no. 4, 545. <https://doi.org/10.3390/molecules21040545>

25. Miroshnikov S.A., Skalny A.V., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Grabeklis A.R. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein breed. *Biological Trace Element Research*, 2020, vol. 194, no. 1, pp. 145-151. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6>
26. Miroshnikov S.A., Zavyalov O.A., Frolov A.N., Bolodurina I.P., Kalashnik V.V., Grabeklis A.R., Tinkov A.A., Skalny A.V. The reference intervals of hair trace element content in Hereford cows and heifers (*Bos taurus*). *Biological Trace Element Research*, 2017, vol. 180, no. 1, pp. 56-62. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-0991-5>
27. Nezhdanov A.G., Mikhalev V.I., Chusova G.G., Papin N.E., Chernitskiy A.E., Lozovaya E.G. Metabolic status of the cows under intrauterine growth retardation of embryo and fetus. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 2, pp. 230-237. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.2.230eng>
28. Ojeda M.L., Nogales F., Romero-Herrera I., Carreras O. Fetal programming is deeply related to maternal selenium status and oxidative balance; experimental offspring health repercussions. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 6, 2085. <https://doi.org/10.3390/nu13062085>
29. Safonov V., Salimzade E., Ermilova T., Chernitskiy A. Retrospective diagnosis of intrauterine diselementosis in newborn calves. *BIO Web of Conferences*, 2022, vol. 52, 00033. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200033>
30. Safonov V.A., Mikhalev V.I., Chernitskiy A.E. Antioxidant status and functional condition of respiratory system of newborn calves with intrauterine growth retardation. *Agricultural Biology*, 2018, vol. 53, no. 4, pp. 831-841. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.831eng>
31. Nakamura T., Yamada T., Kataoka K., Sera K., Saunders T., Takatsuji T., Makie T., Nose Y. Statistical resolutions for large variabilities in hair mineral analysis. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 12, e0208816. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208816>
32. Shabunin S., Nezhdanov A., Mikhalev V., Lozovaya E., Chernitskiy A. Diselementosis as a risk factor of embryo loss in lactating cows. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 2017, vol. 41, no. 4, pp. 453-459. <http://dx.doi.org/10.3906/vet-1609-76>
33. Sullivan T.M., Micke G.C., Greer R.M., Irving-Rodgers H.F., Rodgers R.J., Perry V.E. Dietary manipulation of *Bos indicus* x heifers during gestation affects the reproductive development of their heifer calves. *Reproduction Fertility and Development*, 2009, vol. 21, no. 6, pp. 773-784. <https://doi.org/10.1071/RD09004>
34. Suttle N.F. *Mineral Nutrition of Livestock*. 5th ed. Boston: CABI, 2022. 600 p. <http://dx.doi.org/10.1079/9781789240924.0000>
35. Van Emon M., Sanford C., McCoski S. Impacts of bovine trace mineral supplementation on maternal and offspring production and health. *Animals*, 2020, vol. 10, no. 12, 2404. <https://doi.org/10.3390/ani10122404>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Сафонов Владимир Александрович, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды, доктор биологических наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук
ул. Косыгина, 19, г. Москва, 119991, Российская Федерация
safirus2003@mail.ru

Ермилова Татьяна Сергеевна, научный сотрудник лаборатории биогеохимии окружающей среды
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук
ул. Косыгина, 19, г. Москва, 119991, Российская Федерация
tatianaermilov@yandex.ru

Черницкий Антон Евгеньевич, заведующий отделом репродуктивной биологии и неонатологии, доктор биологических наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук»
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
cherae@mail.ru

Салимзаде Эмиль Афлатун Оглы, аспирант кафедры ветеринарной медицины
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение высшего образования «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»
ул. Татищева, 20а, г. Астрахань, 414056, Российская Федерация
salimzade.emil@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vladimir A. Safonov, Leading Researcher of the Laboratory of Environmental Biogeochemistry, Doctor of Biological Sciences
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences

19, Kosygin Str., Moscow, 119991, Russian Federation

safrus2003@mail.ru

SPIN-code: 5110-8671

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5040-6178>

ResearcherID: L-7174-2016

Scopus Author ID: 57198771314

Tatiana S. Ermilova, Researcher of the Laboratory of Environmental Biogeochemistry

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russian Academy of Sciences

19, Kosygin Str., Moscow, 119991, Russian Federation

tatianaermilov@yandex.ru

SPIN-code: 6712-6866

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8251-8545>

Scopus Author ID: 57956288700

Anton E. Chernitskiy, Head of the Department of Reproductive Biology and Neonatology, Doctor of Biological Sciences

Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

112a, Belinskogo Str., Yekaterinburg, 620142, Russian Federation

cherae@mail.ru

SPIN-code: 3776-3502

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8953-687X>

ResearcherID: C-6746-2013

Scopus Author ID: 56410871400

Emil A.O. Salimzade, Postgraduate Student of the Department of Veterinary Medicine

Astrakhan State University name of V.N. Tatishcheva

20a, Tatischev Str., Astrakhan, 414056, Russian Federation

salimzade.emil@bk.ru

SPIN-code: 1491-4339

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4389-2892>

Поступила 18.11.2023

После рецензирования 01.02.2024

Принята 10.02.2024

Received 18.11.2023

Revised 01.02.2024

Accepted 10.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-833

УДК 57.043/ 57.044: 579.22



Научная статья

О ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ IV (SiO_2) И ЭКСТРАКТА КОРЫ ДУБА НА БАКТЕРИАЛЬНУЮ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ

Д.Е. Шошин, Е.А. Сизова, А.М. Камирова

Состояние вопроса. Фитобиотические добавки и ультрадисперсные частицы (УДЧ), в особенности металлической природы, находят все большее применение в сельском хозяйстве как удобрения и компоненты кормовых добавок. Однако о действии неметаллических УДЧ данных крайне мало. В частности, кремнийсодержащие УДЧ показали высокую эффективность как стимуляторы роста растений в стрессовых условиях, но могут ли они выступать как антибактериальные средства или в качестве протекторных агентов в микробиальных экосистемах неизвестно.

Цель работы – оценка позитивно-негативных реакций модельного люминесцирующего микроорганизма *Escherichia coli* K12 TG1 при воздействии на него суспензий УДЧ оксида кремния IV (SiO_2) в различных концентрациях как в чистом виде, так и в сочетании с фитобиотической добавкой – экстрактом коры дуба.

Материалы и методы. В статье изучена интенсивность свечения рекомбинантного штамма *Escherichia coli* природного морского микроорганизма *Photobacterium leiognathi* с клонированными luxCDABE-генами при воздействии концентраций (0,5-0,00024 М) ультрадисперсных частиц SiO_2 и разведений водного экстракта коры дуба (2-1024 кратное).

Результаты. Установлено, что УДЧ в чистом виде стимулируют бактериальную люминесценцию на 252,2% в отношении контроля в стационарной фазе роста при 0,5 моль/л. Они же выступают как протекторы внутриклеточного метаболизма, снижая ингибирующее действие экстракта коры дуба. Последний в чистом виде подавляет более 50% свечения бактерий вплоть до 4-кратного разведения (12,5 мг/мл), что определяет возможность его использования в качестве альтернативы антибиотическим препаратам.

Заключение. УДЧ SiO_2 обладают выраженными защитными свойствами в отношении микробиального сообщества.

Ключевые слова: ультрадисперсные частицы; бактериальные клетки; биолюминесценция; оксид кремния; кора дуба

Для цитирования. Шошин Д.Е., Сизова Е.А., Камирова А.М. О влиянии ультрадисперсных частиц оксида кремния IV (SiO_2) и экстракта коры дуба на бактериальную люминесценцию // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 317-357. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-833

Original article

INFLUENCE OF ULTRAFINE PARTICLES OF SILICON IV OXIDE (SiO_2) AND OAK BARK EXTRACT ON BACTERIAL LUMINESCENCE

D.E. Shoshin, E.A. Sizova, A.M. Kamirova

Background. Phytobiotic additives and ultrafine particles (UFP), especially of metallic nature, are increasingly used in agriculture as fertilizers and components of feed additives. However, there is very little data about the effect of non-metallic UFP. In particular, silicon-containing UFP have shown high efficiency as plant growth stimulators under stress conditions, but whether they can act as antibacterial agents or as protective agents in microbial ecosystems is unknown.

Therefore, the aim of the presented work is to evaluate positive and negative reactions of the model luminescent microorganism *Escherichia coli* K12 TG1 when exposed to suspensions of silicon IV oxide (SiO_2) in various concentrations both in pure form and in combination with phytobiotic additive – oak bark extract.

Materials and methods. The luminescence intensity of the recombinant strain of *Echerichia coli* of the natural marine microorganism *Photobacterium leiognathi* with cloned luxCDABE-genes under the influence of concentrations (0.5-0.00024 M) of UFP SiO_2 and aqueous extract of oak bark (2-1024 multiples) was studied.

Results. It was found that UFP in pure form stimulate bacterial luminescence by 252.2% with respect to the control in the stationary phase of growth at 0.5 mol/L. They also act as protectors of intracellular metabolism, reducing the inhibitory effect of oak bark extract. The latter in pure form suppresses more than 50 % of bacterial luminescence up to 4-fold dilution (12.5 mg/mL), which determines the possibility of its use as an alternative to antibiotic drugs.

Conclusion. UFP SiO_2 have pronounced protective properties with respect to microbial community.

Keywords: *ultrafine particles; bacterial cells; bioluminescence; silicon oxide; oak bark*

For citation. *Shoshin D.E., Sizova E.A., Kamirova A.M. Influence of Ultrafine Particles of Silicon IV Oxide (SiO₂) and Oak Bark Extract on Bacterial Luminescence. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 317-357. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-833*

Введение

Макрообъекты растительного и животного царства в своей жизнедеятельности прямо или косвенно зависят, от, казалось бы, наиболее примитивных существ – бактерий, грибов и простейших. Эти *animalcule* по Левенгуку [61] слагают уникальные экосистемы почвы [98], в частности ризосферное окружение [28], а также являются неотъемлемой составляющей пищеварительного тракта млекопитающих [60, 111], тем самым опосредуя урожайность и продуктивность сельскохозяйственных культур и пород [117, 32, 48, 120, 102]. Более того, микроорганизмы первыми реагируют на изменения, происходящие в окружающей среде, то есть являются универсальными индикаторами [5, 3].

Последнее обстоятельство позволяет использовать методы оценки биологической активности веществ, например, комплексных кормовых добавок, с использованием бактериальных штаммов [15, 16, 13]. Что особенно актуально в реалиях XXI века, в частности, при выборе формы внесения макро и микроэлементов в корма и почву [12, 74, 30, 91], а также при решении вопроса преодоления антибиотикорезистентности и стимуляции симбионтной микрофлоры [38, 29, 79]. Оба направления возникли на фоне экстенсивного ведения сельского хозяйства в последние десятилетия прошлого века – истощения почв и неконтролируемого применения антибиотиков.

Сегодня для их решения используют в первом случае различные минеральные комплексы – неорганические или органические соли, хелатируемые агенты или ультрадисперсные частицы (УДЧ) [84, 90, 74, 35, 91, 92]. Причем последние наиболее перспективны [2]. Они высокоселективны и эффективно взаимодействуют с элементами окружающей среды, включая микро- и макроорганизмы, на молекулярном уровне [34]. Более того, их свойства можно регулировать, меняя способ производства, размер, концентрацию и форму [85, 10]. Во втором – фитобиотические добавки, представленные растительными экстрактами или очищенными действующими веществами, поскольку они не только угнетают патогенную микрофлору, но и способствуют росту нормальной микробиоты [86].

Однако, при использовании подобных веществ, остаются опасения относительно потенциальной токсичности УДЧ в виду их высокой биологической доступности и лабильности [37], а также неполноты данных о синергетических или антагонистических эффектах УДЧ и фитобиотиков.

Поэтому цель представленной работы – оценка позитивно-негативных реакций модельного люминесцирующего микроорганизма *Escherichia coli* K12 TG1 при воздействии на него суспензий УДЧ на примере оксида кремния IV (SiO₂) в различных концентрациях как в чистом виде, так и в сочетании с фитобиотической добавкой – экстрактом коры дуба (КД).

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в три этапа на базе центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» ФГБУ ФНЦ БСТ РАН, г. Оренбург по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1.

Схема эксперимента												
Опыт 1												
Ультрадисперсные частицы SiO ₂ (УДЧ SiO ₂)												
Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Концентрация (моль/л)	0,5	0,25	0,12	0,06	0,03	0,015	0,0078	0,0039	0,0019	0,0009	0,0004	0,0002
Опыт 2												
Экстракт коры дуба (КД)												
Разведения	×2	×4	×8	×16	×32	×64	×128	×256	×512	×1024	×2048	×4096
Опыт 3												
УДЧ SiO ₂ + КД												
Концентрация (моль/л) УДЧ	0,25											
Разведения КД	×2	×4	×8	×16	×32	×64	×128	×256	×512	×1024	×2048	×4096
Контроль												
Дистиллированная вола												

При этом, опыты № 1 и 2 включали предварительную оценку УДЧ SiO₂ и КД с целью определения их ингибирующего или интенсифицирующего действия в отдельности. Опыт № 3 в свою очередь был направлен на выявление антагонистических или синергетических эффектов изучаемых веществ, для чего образцы УДЧ SiO₂ в концентрации, стимулирующей люминесценцию бактериального штамма смешивали с различными разведениями КД.

Чистые (99 %) УДЧ SiO_2 (ИП Хисамутдинов Р. А., Россия) в количестве 120,2 мг (весы лабораторные ВЛА, класс точности I, допускаемая погрешность $\pm 0,5$ мг) диспергировали ультразвуком частотой 35 кГц в 2 мл дистиллированной воды в течение 30 минут при температуре 25 °С для получения однородной суспензии с концентрацией УДЧ SiO_2 1 моль/л.

Одновременно проводили экстрагирование коры дуба массой 10 грамм (АО «Красногорсклесредства», Россия) на водяной бане в 200 мл дистиллированной воды ($T=100^\circ\text{C}$; $t=10$ мин). Полученный экстракт процеживали и охлаждали до комнатной температуры.

Подготовку лиофилизированного люминесцентного штамма *Escherichia coli* K12 TG1, несущего гибридную плазмиду pUC19 с клонированными *luxCDABE* генами *P. leiognathi* 54D10, под коммерческим названием «Эколюм» («НВО ИММУНОТЕХ», Россия), осуществляли путем добавления 10 мл дистиллированной охлажденной до 4 °С воды, после чего выдерживали суспензию 30 минут при той же температуре [1].

Далее для опытов № 1 и 2 готовили серию двукратных разбавлений УДЧ SiO_2 и КД в трех повторностях объемом по 100 мкл с добавлением идентичного количества суспензии *Escherichia coli* K12 TG1. В опыте № 3 к КД в разведениях от 2 до 1024 раз объемом 50 мкл добавляли аналогичное количество суспензии УДЧ SiO_2 в концентрации 1 моль/л.

В этом пункте следует сделать оговорку о возможности некоторых УДЧ SiO_2 самопроизвольно испускать интенсивное сине-зеленое излучение [113], тем самым корродируя результаты эксперимента по биолюминесценции. В связи с чем требуется постановка дополнительных «чистых» проб с УДЧ SiO_2 , но без индикаторных биообъектов. В представленной работе свечения УДЧ SiO_2 не выявлено.

Токсичность исследуемых образцов определяли на многофункциональном микропланшетном ридере TECAN Infinite F200 (Tecan Austria GmbH, Австрия), фиксируя значение люминесценции бактериального штамма *Escherichia coli* K12 TG1 («Эколюм») в среде с различным содержанием УДЧ SiO_2 и КД в течение трех часов с периодом 5 минут. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. На основе полученных данных вычисляли относительное значение люминесценции по формуле:

$$A = I_o / I_k * 100\%$$

где I_k – светимость контрольной пробы, I_o – светимость опытной пробы

В сущности, это величина отражает различие в интенсивности свечения контрольной и опытной проб.

Достоверность различий между абсолютными значениями люминесценции определяли по t-критерию Стьюдента с требуемым уровнем значимости $p \leq 0,01$. В таблицах указаны относительные значения, соответствующие представленному порогу.

Результаты и их обсуждение

1. Распространение в природе и роль кремния в биологических системах. Земная кора на 27,7 % сложена из кремния – второго после кислорода химического элемента в ее составе [75]. Он же в виде оксида формирует до половины массы почвы [80]. Входя в подгруппу углерода Периодической системы Д. И. Менделеева, кремний имеет аналогичное строение внешнего энергетического уровня, четырехвалентен, но не склонен к образованию кратных связей или цепей, подобных тем, что лежат в основе биоорганических молекул [4]. Он обладает меньшим сродством к электрону и чаще всего представлен нерастворимыми формами, такими как кварц, полевой шпат, алюмосиликатные минералы. В виду последнего ранее кремнию не придавали большого значения в физиологических процессах, в частности потому, что многие растения способны нормально развиваться на питательных средах без силикатов.

Однако новые исследования в сфере биоэлементологии показали, что кремний играет важную роль в жизнедеятельности не только представителей царства флоры, но и фауны. Он придает растениям механическую прочность за счет отложений Si(OH)_4 во внецеллюлярном пространстве или специализированных клетках [58, 77], предотвращает полегание зерновых, способствует лучшему обмену макро- и микроэлементов, стимулирует развитие корневой системы, повышает устойчивость к патогенам и прочим неблагоприятным условиям [18]. Поглощение и транспортировка кремния облегчаются специализированными Si-транспортерами (Lsi1, Lsi2, Lsi3 и Lsi6), присутствие которых определяется дифференциальной анатомией корня у однодольных и двудольных растений. Кремний опосредует осмотические, ионные стрессовые реакции, метаболические процессы, устьичную физиологию, фитогормональную деятельность и поглощение питательных веществ [21]. При этом растения в зависимости от способности накапливать Si-содержащие вещества в своих тканях классифицируются как гипераккумуляторы, аккумуляторы и неаккумуляторы [55]. Так однодольные, к примеру, имеют специфические фотосинтез-активирующие Si-клетки в эпидермисе листьев, известные как фитолит [101].

Кремний также способствует формированию соединительной ткани, а именно гликозаминогликанов, эластина и коллагена, укрепляет стенки сосу-

дов, снижает абсорбцию алюминия и его накопление в организме животных [6, 11]. При этом в качестве его источника чаще всего выступают монокремниевая кислота, силикаты натрия и калия, а также ультрадисперсные формы кремнезема [82]. Причем, применение последних в растениеводстве и животноводстве показало наибольший потенциал [45, 17, 9]. Так, например, УДЧ SiO_2 с диаметром 20-40 нм в большей степени чем объемистый кремнезем улучшали поглощение питательных веществ в семенах кукурузы (*Zea mays*) [110], они же, в сравнении с силикатом калия, показали больший стимулирующий эффект по отношению к устьичной проводимости, относительному содержанию воды и скорости фотосинтеза [50].

Было установлено также, что наноразмерные частицы SiO_2 повышают скорость прорастания семян [51], интенсифицируют процессы роста [69], метаболизм азота [105], фотосинтетическую активность и антиоксидантные свойства у растений [52], снижают концентрацию тяжелых металлов и увеличивают количество гемоглобина крови в организме цыплят-бройлеров [7], одновременно с ростом живой массы и доли аминокислот в мясной продукции [8].

2. *Фитобиотические добавки как альтернатива антибиотикам.* Фитобиотики – это сложная смесь биологически активных веществ растительного происхождения, состоящая из широкого комплекса химических соединений, среди которых гликозиды и алкалоиды (спирты, альдегиды, сложные и простые эфиры, кетоны, лактоны и т. д.), антоцианы, кумарины, флавоноиды, фенольные производные (дубильные вещества, танины), сапонины и терпеноиды (моно- и сесквитерпены, стероиды и т. д.) [46, 108]. Они обеспечивают защиту растений от патогенной микрофлоры и могут применяться как альтернатива антибиотикам стимуляторам роста в кормлении сельскохозяйственных животных [14]. При этом в отличие от последних, фитобиотики обладают рядом преимуществ. Они не только подавляют болезнетворные грамположительные и отрицательные микроорганизмы [104], например *Salmonella typhimurium* [25], *Eschericia coli* [59], *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* [73], *Streptococcus uberis*, *Enterobacter cloacae*, *Candida albicans*, *Proteus mirabilis* [72], *Bacillus cereus* [19], *Enterobacter aerogenes* [22], *Klebsiella pneumonia* [64], но также являются иммуностимуляторами [70], снижают окислительный стресс, модулируют показатели крови [39], повышают секрецию и ферментацию кишечника [118] совместно с продуктивными качествами животных [97].

В связи с чем фитобиотики находят все большее применение в птицеводстве [49], мясном и молочном скотоводстве [76], свиноводстве [93,

65], козоводстве [54], кролиководстве [107], аквакультуре [41] и т. д. В частности, относительно КД, установлено, что при введении его в рацион цыплят-бройлеров, улучшаются продуктивные показатели и иммунный статус: в крови повышается содержание лейкоцитов, моноцитов, гранулоцитов и лимфоцитов, активность супероксиддисмутазы и каталазы более чем на 10 % [53]. В то же время, исследования *in vitro* на искусственном рубце с применением КД свидетельствуют о увеличении ферментативной активности и усвояемости корма с 2,42 % ($P < 0,05$) до 7,13 % ($P < 0,01$), с максимумом в дозировке 3,3 мг/мл [31], на фоне модуляции профиля жирных кислот в связи с ингибированием начальных стадий биогидрирования [81], что позитивно сказывается на липидном обмене. КД также способствует выведению токсичных элементов из мышечной ткани [78] и подавлению патогенной микрофлоры [115].

3. УДЧ SiO_2 в тесте бактериальной люминесценции. Люминесценция бактериального штамма в опыте с чистыми УДЧ SiO_2 росла пропорционально повышению их содержания в среде. Так в стационарной фазе на 30 минуте она превышала контрольные значения в 3,52 раза в 0,5 моль/л; в 2,77 раза в 0,25 моль/л; в 2,42 раза в 0,12 моль/л; в 1,97 раза в 0,06 моль/л; в 1,76 раза в 0,03 моль/л; в 1,51 раза в 0,015 моль/л; в 1,33 раза в 0,007 моль/л; в 1,2 раза в 0,003 моль/л; в 1,14 раза в 0,0019 моль/л, что свидетельствует о положительном воздействии на инкубируемую культуру (Рисунок 1).

Последнее может быть обусловлено повышенным поглощением питательных веществ, смягчением окислительного стресса и активацией ряда ферментативных процессов, что отчетливо демонстрируется в экспериментах на растениях как в нативных, так и в стрессовых условиях, опосредованных биотическими и абиотическими факторами [45], как то: засоление, засуха, термическое воздействие, присутствие тяжелых металлов или насекомых-паразитов.

Так, нанесение суспензии УДЧ Si в концентрации 150 мг/л ($\approx 0,005$ моль/л) на листья лимонграсса (*Cymbopogon flexuosus*) улучшало газообменные модули и повышало активность фотосинтеза и ферментов, участвующих в метаболизме эфирных масел (гераниолдегидрогеназа) и азота (нитратредуктаза), а также в антиоксидантной системе (каталаза, пероксидаза и супероксиддисмутаза), что способствовало смягчению перекисного окисления липидов, снижению содержания H_2O_2 и повышению осмопротекции [87].

Внекорневое распыление УДЧ SiO_2 на засоленные почвы с *Phaseolus vulgaris* приводило к усиленному накоплению N, P, K, Ca, росту соотношения ионов калия и натрия (K / Na), устьичной проводимости и скоро-

сти ассимиляционных процессов [50]. Аналогично, в опыте с масличным рапсом (*Brassica napus*) в условиях засухи кремнезем способствовал накоплению аквапоринов BnPIP1, BnPIP2-1-7, BnTIP1;1 и экспрессии их генов, повышал уровень каталазы и активность супероксиддисмутазы, а также общие неферментативные антиоксидантные характеристики тканей листьев [99]. Он же значительно увеличивал вегетативный рост, интенсивность цветения и процент завязывания плодов, относительное содержание воды в листьях, общее количество хлорофиллов и растворимых белков, а также активность каталазы, супероксиддисмутазы, пероксидазы и полифенолоксидазы в *Cucurbita pepo* L. при различных уровнях орошения [100].

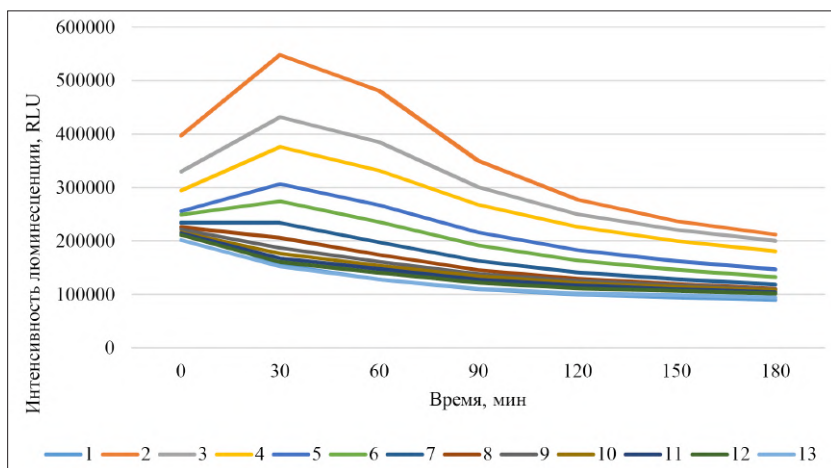


Рис. 1. Динамика интенсивности биолюминесценции бактериального штамма *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием УДЧ SiO₂

Примечание: Кривые графика соответствуют следующим концентрациям УДЧ в суспензии: 1 – 0 моль/л; 2 – 0,5 моль/л; 3 – 0,25 моль/л; 4 – 0,125 моль/л; 5 – 0,0625 моль/л; 6 – 0,031 моль/л; 7 – 0,016 моль/л; 8 – 0,008 моль/л; 9 – 0,004 моль/л; 10 – 0,002 моль/л; 11 – 0,001 моль/л; 12 – $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л; 13 – $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л

В то же время совместное применение УДЧ SiO₂ и PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) продемонстрировало синергетический эффект в отношении роста и урожайности пшеницы. Взаимодействие между УДЧ SiO₂ и PGPR улучшило биомассу (свежий и сухой вес) и содержание хлорофилла-а, b на 138,78 %, 65,70 %, 128,57 % и 283,33 % соответственно, по сравнению с необработанными, но подверженными засухе растениями. Отмечено также повышение относительного содержания воды (71,66 %),

газообменных свойств, поглощения питательных веществ и производство осмолитов. Выросла активность супероксиддисмутазы (60,49 %), пероксидазы (55,99 %) и каталазы (81,69 %) [23].

УДЧ SiO₂ при повышенной солености и дефиците воды стимулировали рост и продуктивность *Cucumis sativus*, что сопровождалось накоплением в корне, листе и стебле таких элементов как непосредственно Si (на 51, 57, 8 и 78 %), K (на 52, 41 и 75 %) и N (на 30 %) [26].

Примечательно также, что кремний способен снижать биодоступность тяжелых металлов в почве и их накопление в корнях растений, влияя на интенсивность связывания и поглощения последних при посредстве нескольких механизмов, среди которых: формирование Fe/Mn-бляшек, клеточной стенки и компартментов корневых клеток; образование комплексов с тяжелыми металлами и ограничение их транслокации и переноса; регуляция экспрессии соответствующих генов [68]. К примеру, кремний способствовал модуляции ферментного цикла AsA-GSH в томатах, что способствовало детоксикации мышьяка (накапливается в различных органах и тканях растений, присоединяется к сульфгидрильным группам тканевых белков и ферментов, тем самым ограничивая фотосинтетическую активность и изменяя водный потенциал) [67]. Он же совместно с оксидом азота и в чистом виде снижал токсичность меди в саженцах *Vigna radiata L.* и *Panicum maximum cv. Tanzania*, соответственно, за счет улучшения фотосинтетической активности и индукции антиоксидантной активности [56, 116]. Аналогичные эффекты выявлены в отношении Al, Cd, Zn и Cr [93]. Так, комбинация УДЧ Si и индоловой уксусной кислоты усиливала толерантность и защитные механизмы *Oryza sativa* в отношении Cr-стресса, что проявлялось в увеличении биомассы, эндогенного NO, фотосинтетических пигментов и уровня антиоксидантов. Также было отмечено, что они восстанавливают рост в фазе G2/M клеточного цикла, ингибируемого хромом [106].

Добавление Si в питательную среду увеличивало рост растений, выход биомассы, длину и диаметр корня, количество хлорофилла и интенсивность фотосинтетической ассимиляции, эффективность ион-транспортных процессов, активность антиоксидантных ферментов при ванадиевом стрессе в *Oryza sativa L.* Кроме того, Si защищал проростки риса от вредного воздействия метилглиоксала, повышая активность ферментов глиоксалазы. Он же увеличивал экспрессию многочисленных генов, участвующих в детоксикации активных форм кислорода (например, OsCuZnSOD1, OsCaTB, OsGPX1, OsAPX1, OsGR2 и OsGSTU37) и метилглиоксала (например, OsGLYI-1 и OsGLYII-2) [27].

Важно также, что кремний предохраняет растения от различных патогенов и заболеваний. Он способствует снижению яйцекладки, аппетита и усвояемости питательных веществ, приспособленности насекомых, но повышает активность агентов биологического контроля за счет различных физических, химических и молекулярных механизмов. [63, 66]. Так, кремний способствовал снижению внекорневых симптомов антракноза, вызванных *Colletotrichum sublineolum*, путем потенцирования защитных реакций и сохранения фотосинтетического аппарата, включая модификацию гормонального ответа. Клеточные оболочки у растений, обработанных Si были менее колонизированы грибковыми гифами из-за интенсивной продукции фенолов и осаждения лигнина, а также производства большого количества перекиси водорода [95]. Более того, УДЧ Si замедляли рост личинок *Helicoverpa armigera* [33] и оказывали энтомотоксическое действие против рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* [42].

Все вышеперечисленное объясняется исходя гипотезы апопластической обструкции [40], подразумевающей формирование полимеризованных механических препятствий под кутикулой и в клеточных стенках, предотвращающих проникновение патогенов, нарушение осмотических и ион-транспортных процессов [20]; быстрым производством вторичных метаболитов, как агентов химической защиты, включая перекрестные помехи между фитогормонами (этилен, абсцизовая, гиббереллиновая, жасмоновая и салициловая кислоты) [103]; активацией антиоксидантной и фотосинтетической систем и регуляцией экспрессии генов через различные метаболические пути [47, 94].

Тем не менее, не смотря на такое обилие информации по воздействию кремния на растительные сообщества, данных о его непосредственном воздействии на прокариот крайне мало. Однако, исходя из того, что УДЧ SiO_2 могут адсорбироваться на поверхности *E. coli* и *S. aureus*, за счет формирования водородных связей с аминокислотными остатками мембранных белков [112], а силикагель способен длительное время поддерживать жизнеспособность прокариот [88], можно предположить, что кремний в наноформе также, как и в фитосреде, способствует регуляции метаболических путей бактерий, что согласуется с относительными значениями люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 (Таблица 2).

При этом интенсифицирующее действие может быть обусловлено реструктуризацией клеточной стенки и мембранно-опосредованных физиологических циклов, включая поглощение питательных веществ, или же усилением кворум-зависимых взаимодействий.

Таблица 2.

Относительные значения люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием УДЧ SiO₂

Время (мин)	Концентрация (моль/л)											
	0.5	0.25	0.12	0.06	0.03	0.015	0.0078	0.0039	0.0019	0.00097	0.00048	0.00024
0	178.3	148.1	132.3	115.1	111.9	105.0	101.6	99.6	97.3	96.3	94.8	90.6
30	352.2	277.6	242.0	197.1	176.4	150.6	132.6	120.3	113.7	107.9	103.4	98.0
60	374.4	299.7	258.3	207.5	183.4	154.0	135.7	125.6	119.9	114.6	109.4	99.8
90	320.3	275.1	244.6	198.0	175.9	149.1	133.7	126.8	122.1	116.7	111.2	101.0
120	278.3	251.2	227.5	183.8	164.7	142.0	129.8	125.6	121.6	117.0	111.7	102.2
150	250.9	233.4	211.5	171.6	154.0	135.6	126.3	123.6	120.4	115.5	112.3	104.0
180	236.3	222.3	201.2	163.5	147.2	131.8	123.3	121.4	119.9	115.7	113.2	104.8

Примечание: Числовые данные соответствуют величине относительного значения люминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ■ - NTOX³⁺, ■ - NTOX²⁺, ■ - NTOX⁺, ■ - NTOX, то есть концентрациям УДЧ, вызывающим интенсификацию люминесценции в диапазоне 250-500, 130-250, 105-130%, соответственно, и не имеющим значимого действия (80-105 %)

4. КД в тесте бактериальной люминесценции. КД, в отличие от УДЧ SiO₂, в 2 и 4-кратном разбавлении значительно лимитирует свечение бактериального штамма, подавляя, соответственно, до 80 и 50% люминесценции. Однако, уже при 8-кратном разведении показатели RLU за 3 часа экспозиции восстанавливаются от 18,4 до 108,2%, а далее превышают контрольные значения, достигая максимума в 64-кратной пробе – 203,6% (Таблица 3).

Таблица 3.

Относительные значения люминесценции *Escherichia coli* K12TG1 в среде с различным разведением КД

Время (мин)	Разведения исходного экстракта (кратность)							
	2	4	8	16	32	64	128	256
0	1,1	4,4	18,4	40,0	64,1	82,2	92,7	90,4
30	0,7	7,5	30,6	55,2	73,8	97,1	110,0	112,9
60	1,7	13,1	38,7	69,0	87,1	118,1	123,7	109,5
90	3,8	23,9	58,7	99,5	127,6	165,3	145,4	150,2
120	6,2	34,4	78,5	130,1	163,7	168,0	182,9	162,5
150	9,2	41,1	94,8	150,4	181,3	181,3	192,3	148,8
180	13,7	45,9	108,2	168,2	171,5	203,6	176,6	118,4

Примечание: Числовые данные соответствуют величине относительного значения люминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ■ - Тох, ■ - ЕС₈₀, ■ - ЕС₅₀, ■ - ЕС₂₀, ■ - NTOX, ■ - NTOX⁺, ■ - NTOX²⁺, то есть концентрациям КД, ингибирующим свыше 95 %, 80 %, 50 %, 20 % люминесценции, а также нетоксичным (80-105 %) и стимулирующим дозам в диапазоне 105-130 %, 130-250 %.

При этом, относительный негативный эффект на первых минутах опыта сохраняется вплоть до 32-кратного разведения. Такое поведение можно связать с высокой летучестью полифенольных соединений, входящих в состав КД.

Но, стоит отметить, что абсолютное снижение светимости наблюдается во всех пробах (Рисунок 2), однако в опытных образцах оно протекает относительно медленно, в связи с чем в конце эксперимента все еще превышает контрольные значения. О низкой интенсивности гашения свидетельствует также и соотношение аналогичных величин RLU (O_n/O_o , где O_n – светимость пробы в конце опыта, а O_o – в начале), постепенно падающее от 0,64 в 2-кратном разбавлении к 0,06 в 1024-кратном, против контрольных 0,05.

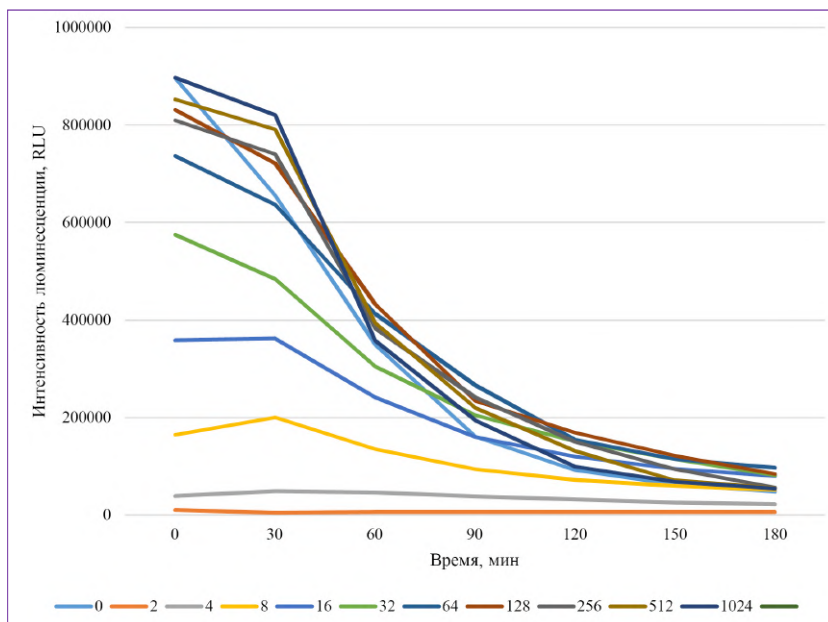


Рис. 2. Динамика интенсивности биолуминесценции бактериального штамма *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием КД

Примечание: Кривые графика соответствуют кратности разведения исходного экстракта КД

Иными словами, нативный и слабаразбавленный КД обладает выраженными бактерицидными свойствами, что согласуется с более ранними

исследованиями. Так, в частности, этаноловый и ацетоновый экстракты коры *Quercus robur* в различной степени были эффективны против клинических изолятов возбудителей мастита крупного рогатого скота *Escherichia coli*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Serratia liquefaciens*, *Staphylococcus aureus* [109]. Установлено также, что совместное инкубация *Pectobacterium carotovorum*, продуцирующего ряд ферментов, разрушающих клеточную стенку растений, включая пектиназы, целлюлазы и протеазы, и как следствие, провоцирующего возникновение мягкой гнили у многих видов растений, с экстрактом коры дуба снижает продукцию ацилглюкозаминуронидов, и соответственно целлюлазную и протеазную активность бактерий, а также подавляет гены, связанные с кворум-сенсингом [115].

При этом в другой работе по изучению реакции эталонных штаммов *S. aureus* и *E. coli* на спиртовой и водный экстракты КД при семидневной экспозиции было установлено, что грамположительный штамм является более чувствительным, хотя минимальная ингибирующая концентрация в обоих случаях составила 100 мг/мл [24]. Последнее, однако превышает представленные нами значения в 12,5 мг/л, что может быть связано с длительностью эксперимента либо же экстрактивным химическим составом КД, в котором преобладают полифенолы и, в первую очередь, дубильные вещества и фенольные кислоты: вескалагин, касталагин, грандинин, робурин, эвгенол, сиригальдегид, кониферальдегид, ванилин, катехин, галлокатехин, лейкопеларгонидин, лейкоцианидин, лейкодельфинидин, галловая и эллаговая кислоты. Причем относительное содержание каждого из компонентов может существенно варьировать в зависимости от условий произрастания, возраста деревьев и экстрагируемого сырья [43], хотя именно присутствие каждого из этих веществ определяет антибиотические свойства КД.

Так галловая кислота эффективна против *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* и *Listeria monocytogenes* и ведет к необратимым модификациям свойств мембраны в результате изменений гидрофобности, снижения отрицательного поверхностного заряда и возникновения локального разрыва или образования пор с последующей утечкой существенных внутриклеточных составляющих [36].

В то же время у *Escherichia coli* в присутствии ванилина изменяется активность ряда транскрипционных факторов, ответственных, в частности, за развертывание потенциальных систем детоксикации, изменения в метаболизме углерода, активацию реакции на окислительный стресс и гомеостаз ионов металлов. Следствием этого становится смещение ко-

личественных соотношений отдельных компонентов протеома. Вызывая митохондриальную дисфункцию и окислительный стресс, ванилин также препятствует росту грибковых патогенов, таких как *Cryptococcus neoformans* [71] *Alternaria alternata* [96], представителей родов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Fusarium*. Не остаются в стороне и бактерии порчи пищевых продуктов – *Pantoea agglomerans*, *Aeromonas enteropelogenes*, *Micrococcus lylae* и *Sphingobacterium spiritovorun* [89].

Аналогично, эвгенол продемонстрировал антибактериальные свойства против *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Escherichia coli*, что соотносится с его гидрофобностью, и как следствие способностью легко проникать через билипидный слой, а также наличием свободной гидроксильной группы в молекуле [114]. Последняя, в частности, ингибирует действие протеазы, гистидинкарбоксилазы и амилазы, связываясь с ними [83, 44].

Эвгенол потенциально подавляет активность мембраносвязанной АТФазы у *Escherichia coli* и *Listeria monocytogenes* [57], продуцирует внутриклеточные активные формы кислорода (АФК), провоцирующие подавление роста клеток, повреждения ДНК, деструкцию мембран и гибель [62]. Он же обладает и противогрибковой активностью *in vitro*, подавляет рост и развитие *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium glabrum*, *Penicillium italicum*, *Fusaria oxysporum*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Lenzites betulina*, *Laetiporus sulphureus* и *Trichophyton rubrum*, за счет нарушения функций клеточных мембран, ингибирования факторов вирулентности и возможностей образования грибковой биопленки [114].

Таким образом, полифенольная структура КД позволяет интенсивно воздействовать на микробиологические сообщества, а также является важным ресурсом для поиска высокоэффективных альтернатив антибиотическим препаратам.

5. Комплекс SiO_2 и КД в тесте бактериальной люминесценции. При совместном внесении в бактериальную систему КД в различных разведениях и 0,25 моль/л УДЧ SiO_2 динамика свечения была схожа с аналогичной для второго компонента: постепенный рост до максимальных значений на 30 минуте с последующим снижением. Ингибирующий диапазон при этом был выявлен только в первой пробе с наибольшим содержанием КД, причем свечение достигало контрольных значений к 120 минуте. Далее люминесценция с каждым разведением усиливалась, достигнув пика в 693900 RLU в 64-кратном разбавлении (Рисунок 3).

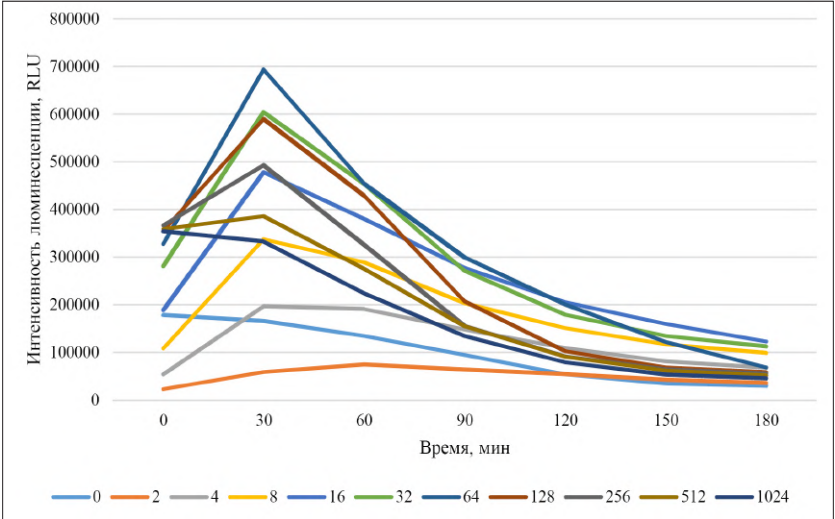


Рис. 3. Динамика интенсивности биолуминесценции бактериального штамма *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным содержанием КД и 0,25 моль/л УДЧ SiO₂
Примечание: Кривые графика соответствуют кратности разведения исходного экстракта КД

Таблица 4.

Относительные значения люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 в среде с различным разведением КД и 0,25 моль/л УДЧ SiO₂

Время (мин)	Разведения исходного экстракта (кратность)									
	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024
0	13.1	30.8	60.9	106.0	157.7	183.8	198.9	205.6	201.4	198.6
30	36.0	118.6	203.6	288.2	364.1	417.8	355.3	296.9	232.8	200.3
60	55.5	141.4	213.7	280.9	335.4	335.9	316.9	241.0	203.9	166.1
90	68.2	157.0	215.4	293.5	286.9	316.5	219.1	165.0	163.6	142.9
120	99.7	201.8	278.8	377.6	330.4	369.3	188.8	169.8	168.3	146.5
150	122.3	231.1	332.7	453.2	381.9	346.1	196.0	183.2	176.4	152.8
180	121.2	226.7	331.0	412.2	376.3	231.9	194.8	184.9	171.8	153.0

Примечание: Числовые данные соответствуют величине относительного значения люминесценции А (%). Цветовая заливка – показателям ■ - ЕС₈₀⁺, ■ - ЕС₅₀⁺, ■ - ЕС₂₀⁺, ■ - NTOX, ■ - NTOX⁺, ■ - NTOX²⁺, ■ - NTOX³⁺, то есть концентрациям КД, ингибирующим свыше 95%, 80%, 50%, 20% люминесценции, а также нетоксичным (80-105 %) и стимулирующим дозам в диапазоне 105-130%, 130-250%, 250-500%

При этом относительные значения люминесценции (Таблица 4), также как и во втором опыте говорят о более медленном снижении свечения в экспериментальных пробах по отношению к контролю, показатель O_n/O_0 падает от 1,56 в 2-кратном разбавлении к 0,16 в 128-кратном, аналогичном контролю.

Явное ингибирование негативных эффектов КД при участии УДЧ SiO_2 еще раз подтверждает, что кремний может выступать в качестве своеобразного протектора в метаболических реакциях прокариот на стрессорное воздействие, однако он фактически не препятствует стимулирующим эффектам. Это подкрепляется высокой интенсивностью свечения при использовании комплекса с малым содержанием КД (64-кратное разбавление): в чистом виде УДЧ SiO_2 (0,25 моль/л) соответствовало 432000 RLU, а в смеси – 693900 RLU.

Заключение

УДЧ SiO_2 , изучаемые в области биологии и сельского хозяйства, как основа для создания удобрений, гербицидов, пестицидов, сенсоров и целевых систем доставки молекул питательных веществ и фитогормонов, повышающие производительность и устойчивость растений к различным стрессам, также эффективно могут воздействовать на микробиальные системы, что подтверждается интенсификацией люминесценции *Escherichia coli* K12 TG1 на 252,2 % в отношении контроля в стационарной фазе роста при 0,5 моль/л. Они же выступают как протекторы внутриклеточного метаболизма, снижая ингибирующее действие КД. Последний в чистом виде подавляет более 50 % свечения свечение вплоть до 4-кратного разведения (12,5 мг/мл), что определяет возможность его использования в качестве альтернативы антибиотическим препаратам.

Заключение комитета по этике. Неприменимо.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта президента РФ (Проект № 075-15-2022-682/1).

Список литературы

1. Алешина Е. С. Методы биолюминесцентного тестирования: Методические указания к лабораторному практикуму / Е. С. Алешина, И. Ф. Каримов, Д. Г. Дерябин. Оренбург: Оренбургский государственный университет; ЭБС АСВ, 2011. 56 с.

2. Аринжанов А. Е., Мирошникова Е. П., Киякова Ю. В. Перспективы использования наночастиц в животноводстве (обзор) // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 2(85). С. 7-12.
3. Гречихин И. В. Микроорганизмы как индикатор биологической стабильности экосистем // К вершинам науки: сборник статей по результатам Всероссийского конкурса, Елец, 23 ноября 2020 года. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. С. 5-8.
4. Карманова А. А. Геохимическая характеристика элемента кремния // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2021. № 1.
5. Косумов Р. С., Оказова З. П. Микроорганизмы как индикаторы качества почв // Вестник Биомедицина и социология. 2021. Т. 6. № 2. С. 45-50. <https://doi.org/10.26787/nydha-2618-8783-2021-6-2-45-50>
6. Мансурова Л. А. и др. Физиологическая роль кремния // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2009. Т. 90. № 7. С. 16-18.
7. Мустафина А. С. Влияние наноразмерного оксида кремния на концентрацию тяжелых металлов в организме сельскохозяйственной птицы // Перспективные аграрные и пищевые инновации: Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 06–07 июня 2019 года / Под общей редакцией И.Ф. Горлова. Волгоград: СФЕРА, 2019. С. 180-183.
8. Мустафина А. С. Влияние ультрадисперсного диоксида кремния на аминокислотный состав мяса и печени цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 8-15. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-8>
9. Мустафина А. С., Никулин В. Н., Мустафин Р. З. Изменение продуктивных качеств бройлеров под действием ультрадисперсного кремния // Актуальные вопросы управления производством растениеводческой и животноводческой продукции АПК и здоровьем сельскохозяйственных животных : материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, пос. Персиановский, 20 декабря 2019 года. Персиановский: Донской государственный аграрный университет, 2019. С. 270-278.
10. Петросян А. Д. и др. Влияния наночастиц металлов (НЧМ) разных размеров на рост и развитие семян гороха // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 27 марта 2020 года. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. С. 108-111.
11. Рахманин Ю. А. и др. Кремний, его биологическое действие при энтеральном поступлении в организм и гигиеническое нормирование в питьевой

- воде. Обзор литературы // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 5. С. 492-498. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-492-498>
12. Рогозинникова И. В. Органический источник меди в кормлении цыплят-бройлеров – альтернатива неорганической соли // Инновационные направления и разработки для эффективного сельскохозяйственного производства: материалы международной научно-практической конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента РАН В.И. Левахина: в 2-х частях, Оренбург, 27–28 октября 2016 года. Оренбург: Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства, 2016. С. 171-174.
 13. Родичева Э. К., Кузнецов А. М., Медведева С. Е. Биолюминесцентные биотесты на основе светящихся бактерий для экологического мониторинга // Вестник Оренбургского государственного университета. 2004. № 5. С. 96-100.
 14. Рязанов В. А. Фитобиотики как альтернатива антибиотикам в животноводстве // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 4. С. 108-123. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-108>
 15. Самолук В. В., Кацев А. М Биосенсоры на основе природных люминесцентных бактерий для анализа экотоксичности лекарственных веществ // Молодежный инновационный вестник. 2021. Т. 10. № S1. С. 227-229.
 16. Свиридова Д. А. Изучение механизма генотоксичности диоксида с помощью lux-биосенсоров *Escherichia coli* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2020. Т. 60. № 6. С. 595-603. <https://doi.org/10.31857/S0869803120060223>
 17. Сизова Е. А., Макаева А. М. Влияние высокодисперсных препаратов на обмен веществ и продуктивность молодняка крупного рогатого скота // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 12(185). С. 22-33. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2012-03>
 18. Шелкова А. О., Новикова Н. Е. Физиологическая роль кремния в жизни растений // Russian Agricultural Science Review. 2015. Т. 5. № 5-1. С. 187-190.
 19. Abdulhussein J. M. et al. The phytobiotic potential of hydro-alcoholic extract of *Allium porrum* against *Bacillus cereus*: A computational sight into PlcR protein as a putative target // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021. Vol. 35, 102062. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102062>
 20. Ahammed G. J., Yang Y. Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in plants // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 165. P. 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.031>
 21. Ahire M. L. et al. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 169. P. 291-310. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010>

22. Ahmad B. et al. Evaluation of *in-vitro* and *in-vivo* antimicrobial potential of *Typha elephantina* leaves extracts using *Cyprinus carpio* as a research model // Pak. J. Pharm. Sci. 2022. Vol. 35. № 1. P. 323-333. <https://doi.org/10.36721/PJPS.2022.35.1.SUP.323-333.1>
23. Akhtar N. et al. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nanoparticles for amelioration of drought stress in wheat // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 166. P. 160-176. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.039>
24. Al Hawani I. A. A., Aldhaher A. H. S., Abdalzahra I. M. A biological study on *Quercus* bark as antimicrobial agent // Annals of Tropical Medicine and Public Health. 2020. Vol. 23. <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/publications/1632339350.pdf>
25. Aljumaah M. R. et al. Effects of phytobiotic feed additives on growth traits, blood biochemistry, and meat characteristics of broiler chickens exposed to *Salmonella typhimurium* // Poultry Science. 2020. Vol. 99. № 11. P. 5744-5751. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.033>
26. Alsaedi A. et al. Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake // Plant Physiology and Biochemistry. 2019. Vol. 139. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.008>
27. Altaf M. M. et al. Silicon-mediated metabolic upregulation of ascorbate glutathione (AsA-GSH) and glyoxalase reduces the toxic effects of vanadium in rice // Journal of Hazardous Materials. 2022. Vol. 436. P. 129145. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129145>
28. Andrade G. Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics // Plant surface microbiology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. P. 51-69. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74051-3_4
29. Apata D. F. et al. Antibiotic resistance in poultry // International Journal of Poultry Science. 2009. Vol. 8. № 4. P. 404-408. <https://doi.org/10.3923/ijps.2009.404.408>
30. Ashmead H. D. W. et al. Foliar feeding of plants with amino acid chelates. Noyes publications, 1986.
31. Atlanderova K. N. et al. Stimulation of ruminal digestion of young cattle with oak bark extract (*Quercus cortex*) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. Vol. 341. № 1, 012059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012059>
32. Avis T. J. et al. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity // Soil biology and biochemistry. 2008. Vol. 40. № 7. P. 1733-1740. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.013>

33. Bapat G., Zinjarde S., Tamhane V. Evaluation of silica nanoparticle mediated delivery of protease inhibitor in tomato plants and its effect on insect pest *Helicoverpa armigera* // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2020. Vol. 193, 111079. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111079>
34. Bayda S. et al. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine // Molecules. 2019. Vol. 25. № 1, 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
35. Bobrenko I. et al. Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region // International Scientific Conference The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019). Atlantis Press, 2020. P. 227-230. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.175>
36. Borges A. et al. Antibacterial activity and mode of action of ferulic and gallic acids against pathogenic bacteria // Microbial drug resistance. 2013. Vol. 19. № 4. P. 256-265. <https://doi.org/10.1089/mdr.2012.0244>
37. Chen M. et al. Toxicity of carbon nanomaterials to plants, animals and microbes: Recent progress from 2015-present // Chemosphere. 2018. Vol. 206. P. 255-264. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.020>
38. Cheng G. et al. Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry? // Frontiers in microbiology. 2014. Vol. 5. P. 217. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00217>
39. Chodkowska K. A. et al. Effect of Phytobiotic Composition on Production Parameters, Oxidative Stress Markers and Myokine Levels in Blood and Pectoral Muscle of Broiler Chickens // Animals. 2022. Vol. 12. № 19, 2625. <https://doi.org/10.3390/ani12192625>
40. Coskun D. et al. The controversies of silicon's role in plant biology // New Phytologist. 2019. Vol. 221. № 1. P. 67-85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
41. Cristea V. et al. The use of phytobiotics in aquaculture // Lucrări Științifice-Seria Zootehnie. 2012. Vol. 57. P. 250-255.
42. Debnath N. et al. Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.) // Journal of Pest Science. 2011. Vol. 84. P. 99-105. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0332-3>
43. Dedrie M. et al. Oak barks as raw materials for the extraction of polyphenols for the chemical and pharmaceutical sectors: A regional case study // Industrial Crops and Products. 2015. Vol. 70. P. 316-321. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.071>
44. Devi K. P. et al. Eugenol (an essential oil of clove) acts as an antibacterial agent against *Salmonella typhi* by disrupting the cellular membrane // Journal of eth-

- nopharmacology. 2010. Vol. 130. № 1. P. 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.025>
45. Dhakate P. et al. Silicon nanoforms in crop improvement and stress management // *Chemosphere*. 2022. Vol. 305, 135165. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135165>
46. Dhama K. et al. Evidence based antibacterial potentials of medicinal plants and herbs countering bacterial pathogens especially in the era of emerging drug resistance: An integrated update // *Int J pharmacol*. 2014. Vol. 10. № 1. 3. 1-43. <https://doi.org/10.3923/ijp.2014.1.43>
47. Dhiman P. et al. Fascinating role of silicon to combat salinity stress in plants: An updated overview // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 162. P. 110-123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.023>
48. Diaz Carrasco J. M., Casanova N. A., Fernández Miyakawa M. E. Microbiota, gut health and chicken productivity: what is the connection? // *Microorganisms*. 2019. Vol. 7. № 10. P. 374. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100374>
49. El-Ghany A. et al. Phytobiotics in poultry industry as growth promoters, antimicrobials and immunomodulators – A review // *Journal of World's Poultry Research*. 2020. Vol. 10. № 4. P. 571-579. <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2020.65>
50. El-Saadony M. T. et al. Biological silicon nanoparticles improve *Phaseolus vulgaris* L. yield and minimize its contaminant contents on a heavy metals-contaminated saline soil // *Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 106. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.012>
51. Emamverdian A. et al. The Effect of Silicon Nanoparticles on the Seed Germination and Seedling Growth of Moso Bamboo (*Phyllostachys edulis*) under Cadmium Stress // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30. № 4. <https://doi.org/10.15244/pjoes/129683>
52. Fatemi H., Pour B. E., Rizwan M. Isolation and characterization of lead (Pb) resistant microbes and their combined use with silicon nanoparticles improved the growth, photosynthesis and antioxidant capacity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under Pb stress // *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 266. № 114982. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114982>
53. Fisinin V. I. et al. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers // *Agricultural biology*. 2018. Vol. 53. № 2. P. 385-92. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.385eng>
54. Foksowicz-Flaczyk J. et al. The Effect of Herbal Feed Additives in the Diet of Dairy Goats on Intestinal Lactic Acid Bacteria (LAB) Count // *Animals*. 2022. Vol. 12. № 3. P. 255. <https://doi.org/10.3390/ani12030255>

55. Frew A. et al. The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach // *Annals of botany*. 2018. Vol. 121. № 7. P. 1265-1273. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy009>
56. Gaur S. et al. Silicon and nitric oxide interplay alleviates copper induced toxicity in mung bean seedlings // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 167. P. 713-722. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.08.011>
57. Gill A. O., Holley R. A. Inhibition of membrane bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics // *International journal of food microbiology*. 2006. Vol. 111. № 2. P. 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.046>
58. Guerriero G., Hausman J. F., Legay S. Silicon and the plant extracellular matrix // *Frontiers in plant science*. 2016. Vol. 7. P. 463. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00463>
59. Hassirian N., Karimi E., Oskoueian E. Nanoliposome-encapsulated phenolic-rich fraction from *Alcea rosea* as a dietary phytobiotic in mice challenged by *Escherichia coli* // *Annals of Microbiology*. 2022. Vol. 72. № 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01665-9>
60. Heinken A. et al. Systems-level characterization of a host-microbe metabolic symbiosis in the mammalian gut // *Gut microbes*. 2013. Vol. 4. № 1. P. 28-40. <https://doi.org/10.4161/gmic.22370>
61. Hughes E., Pierson R. The animalcules of Antoni van Leeuwenhoek // *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*. 2013. Vol. 35. № 10. P. 960. [https://doi.org/10.1016/S1701-2163\(15\)30820-3](https://doi.org/10.1016/S1701-2163(15)30820-3)
62. Hyldgaard M., Mygind T., Meyer R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components // *Frontiers in microbiology*. 2012. Vol. 3. P. 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
63. Islam W. et al. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. Vol. 168. P. 104641. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>
64. Ismail A. et al. Prevalence of some Enteric Bacterial Infections Causing Rabbit Enteritis and Attempts to Control Rabbit Coli Enteritis with Phytobiotics // *Zagazig Veterinary Journal*. 2017. Vol. 45. № Supplementary 1. P. 91-101. <https://doi.org/10.21608/zvjz.2017.29244>
65. Jukna V. et al. The effect of probiotics and phytobiotics on meat properties and quality in pigs // *Veterinarija ir zootechnika*. 2005. Vol. 29. № 51. <https://vetzoo.lsmuni.lt/data/vols/2005/29/pdf/jukna2.pdf>
66. Kalleshwaraswamy C. M., Kannan M., Prakash N. B. Silicon as a natural plant guard against insect pests // *Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress*

- Management and Crop Quality Improvement. Academic Press, 2022. P. 219-227. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91225-9.00004-2>
67. Kaya C., Ashraf M. Sodium hydrosulfite together with silicon detoxifies arsenic toxicity in tomato plants by modulating the AsA-GSH cycle // Environmental Pollution. 2022. Vol. 294. P. 118608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118608>
68. Khan I. et al. Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant interphase: A review // Ecotoxicology and environmental safety. 2021. Vol. 222. P. 112510. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112510>
69. Khan Z. S. et al. Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. № 5. P. 4958-4968. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06673-y>
70. Kiczorowska B. et al. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review // Annals of animal science. 2017. Vol. 17. № 3. P. 605-625. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
71. Kim J. H. et al. A vanillin derivative causes mitochondrial dysfunction and triggers oxidative stress in *Cryptococcus neoformans* // PloS one. 2014. Vol. 9. № 2. P. e89122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089122>
72. Krivonogova A. et al. Inhibitory effect of plant metabolites of *Nigella sativa* on conditionally pathogenic microflora of productive animals // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. Vol. 282. P. 04014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128204014>
73. Krivonogova A. et al. The influence of phytobiotic based on essential oils of *Salvia sclarea*, *Mentha canadensis*, *Mentha piperita* and *Coriandrum sativum* on pathogenic microorganisms of lactating cow udder // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. Vol. 282. P. 04013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128204013>
74. Kropyvka Y., Bomko V. Efficiency of use of premixes on the basis of metal chelates in feeding cows in the first 100 days of lactation // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences. 2017. Vol. 19. № 79. P. 154-158.
75. Kuhlmann A. M. The second most abundant element in the earth's crust // Jom. 1963. Vol. 15. № 7. P. 502-505. <https://doi.org/10.1007/BF03378936>
76. Kumar N. et al. Phytobiotics and Reproductive Performance of Livestock // Phytobiotics & Animal Production. International books and periodicals supply services. 2019. Vol. 97. P. 108.
77. Kumar S., Soukup M., Elbaum R. Silicification in grasses: variation between different cell types // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. P. 438. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00438>

78. Kvan O. et al. Changes in the content of chemical elements in the muscle tissue of broilers on the background of plant extract and tetracyclines // International Journal of Environmental Science and Development. 2019. Vol. 10. № 12. P. 419-423. <https://pdfs.semanticscholar.org/7f78/c519a0e5fe5b15c31187cdf12a5be66e65c7.pdf>
79. Low C. X. et al. Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: A review // Antibiotics. 2021. Vol. 10. № 5. P. 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>
80. Ma J. F. Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron // Critical Reviews in Plant Sciences. 2005. Vol. 24. № 4. P. 267-281. <https://doi.org/10.1080/07352680500196017>
81. Majewska M. P. et al. Comparison of the Effect of Synthetic (Tannic Acid) or Natural (Oak Bark Extract) Hydrolysable Tannins Addition on Fatty Acid Profile in the Rumen of Sheep // Animals. 2022. Vol. 12. № 6. P. 699. <https://doi.org/10.3390/ani12060699>
82. Mantovani C. et al. Silicon toxicity induced by different concentrations and sources added to *in vitro* culture of epiphytic orchids // Scientia Horticulturae. 2020. Vol. 265. P. 109272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109272>
83. Marchese A. et al. Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint // Critical reviews in microbiology. 2017. Vol. 43. № 6. P. 668-689. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1295225>
84. Mion B. et al. Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows // Journal of Dairy Science. 2022. Vol. 105. № 8. P. 6693-6709. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>
85. Miroshnikov S. et al. Comparative Toxicity of CuZn Nanoparticles with Different Physical and Chemical Characteristics // Oriental journal of Chemistry. 2019. Vol. 35. № 3. P. 973. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/350308>
86. Mohammadi Gheisar M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review // Italian journal of animal science. 2018. Vol. 17. № 1. P. 92-99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
87. Mukarram M., Khan M. M. A., Corpas F. J. Silicon nanoparticles elicit an increase in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) Wats) agronomic parameters with a higher essential oil yield // Journal of Hazardous Materials. 2021. Vol. 412. P. 125254. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125254>
88. Nassif N. et al. Living bacteria in silica gels // Nature materials. 2002. Vol. 1. № 1. P. 42-44. <https://doi.org/10.1038/nmat709>
89. Ngarmsak M. et al. Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes // Journal of food protection. 2006. Vol. 69. № 7. P. 1724-1727. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.7.1724>

90. Nollet L. et al. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion // Journal of Applied Poultry Research. 2007. Vol. 16. № 4. P. 592-597. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00115>
91. Patra A., Lalhriatpuui M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – A review // Biological Trace Element Research. 2020. Vol. 197. № 1. P. 233-253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>
92. Qasim M. et al. Potential role of nanoparticles in Plants Protection // Life Sci J. 2022. Vol. 19. № 2. P. 31-38. http://www.lifesciencesite.com/ljs/lsj190222/05_37743lsj190222_31_38.pdf
93. Rabelo-Ruiz M. et al. Allium extract implements weaned piglet's productive parameters by modulating distal gut microbiota // Antibiotics. 2021. Vol. 10. № 3. P. 269. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030269>
94. Ranjan A. et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture // Plant Physiology and Biochemistry. 2021. Vol. 163. P. 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044>
95. Resende R. S. et al. New insights into the hormonal regulation of silicon-supplied sorghum plants challenged with *Colletotrichum sublineolum* // Physiological and Molecular Plant Pathology. 2021. Vol. 115. P. 101682. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101682>
96. Romero-Cortes T. et al. Antifungal activity of vanilla juice and vanillin against *Alternaria alternata* // CyTA-Journal of Food. 2019. Vol. 17. № 1. P. 375-383. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1586776>
97. Ruesga-Gutiérrez E. et al. Allium-Based Phytobiotic for Laying Hens' Supplementation: Effects on Productivity, Egg Quality, and Fecal Microbiota // Microorganisms. 2022. Vol. 10. № 1. P. 117. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010117>
98. Saccá M. L. et al. Ecosystem services provided by soil microorganisms // Soil biological communities and ecosystem resilience. Springer International Publishing, 2017. P. 9-24. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7_2
99. Saja-Garbarz D. et al. Silicon-induced alterations in the expression of aquaporins and antioxidant system activity in well-watered and drought-stressed oil-seed rape // Plant Physiology and Biochemistry. 2022. Vol. 174. P. 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.033>
100. Salim B. B. M. et al. Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, flowering and yield of squash plants under deficit irrigation condition // Annals of Agricultural Sciences. 2021. Vol. 66. № 2. P. 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.12.003>

101. Sangster A. G., Hodson M. J., Tubb H. J. Silicon deposition in higher plants // Studies in plant science. Elsevier, 2001. Vol. 8. P. 85-113. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80009-4)
102. Santra A., Karim S. A. Rumen manipulation to improve animal productivity // Asian-australasian journal of animal sciences. 2003. Vol. 16. № 5. P. 748-763. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.748>
103. Sarkar M. M., Mathur P., Roy S. Silicon and nano-silicon: New frontiers of bio-stimulants for plant growth and stress amelioration // Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement. Academic Press, 2022. P. 17-36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91225-9.00010-8>
104. Senthamil Pandian C. et al. Antimicrobial activity of selected phytobiotics individually and in combination against gram positive and gram negative bacteria. 2021. <https://www.entomoljournal.com/archives/2021/vol9issue1/PartAF/9-1-378-490.pdf>
105. Shabbaj I. I. et al. Silicon dioxide nanoparticles orchestrate carbon and nitrogen metabolism in pea seedlings to cope with broomrape infection // Environmental Science: Nano. 2021. Vol. 8. № 7. P. 1960-1977. <https://doi.org/10.1039/D0EN01278E>
106. Sharma A. et al. Synergistic action of silicon nanoparticles and indole acetic acid in alleviation of chromium (CrVI) toxicity in *Oryza sativa* seedlings // Journal of Biotechnology. 2022. Vol. 343. P. 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.005>
107. Silvana N. et al. Use of vulgar oregano (*Origanum vulgare*) as phytobiotic in fattening rabbits // Cuban Journal of Agricultural Science. 2011. Vol. 45. № 2. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/136>
108. Singh J., Gaikwad D. S. Phytogetic feed additives in animal nutrition // Natural bioactive products in sustainable agriculture. Springer, Singapore, 2020. P. 273-289. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3024-1_13
109. Šukele R. et al. Antibacterial effects of oak bark (*Quercus robur*) and heather herb (*Calluna vulgaris* L.) extracts against the causative bacteria of bovine mastitis // Veterinary World. 2022. Vol. 15. № 9. P. 2315-2322. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.2315-2322>
110. Suriyaprabha R. et al. Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays*. L) seeds under hydroponic conditions // Current Nanoscience. 2012. Vol. 8. № 6. P. 902-908. <https://doi.org/10.2174/157341312803989033>
111. Tellez G. et al. Digestive physiology and the role of microorganisms // Journal of Applied Poultry Research. 2006. Vol. 15. № 1. P. 136-144. <https://doi.org/10.1093/japr/15.1.136>

112. Tian B., Liu Y., Chen D. Adhesion behavior of silica nanoparticles with bacteria: Spectroscopy measurements based on kinetics, and molecular docking // *Journal of Molecular Liquids*. 2021. Vol. 343. P. 117651. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117651>
113. Tiwari A. et al. One-pot green synthesis of highly luminescent silicon nanoparticles using *Citrus limon* (L.) and their applications in luminescent cell imaging and antimicrobial efficacy // *Materials Today Communications*. 2019. Vol. 19. P. 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.12.005>
114. Ulanowska M., Olas B. Biological Properties and prospects for the application of eugenol – A review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. № 7. P. 3671. <https://doi.org/10.3390/ijms22073671>
115. Vasilchenko A. S. et al. Oak bark (*Quercus sp.* cortex) protects plants through the inhibition of quorum sensing mediated virulence of *Pectobacterium carotovorum* // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022. Vol. 38. № 11. P. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03366-6>
116. Vieira-Filho L. O., Monteiro F. A. Silicon improves photosynthetic activity and induces antioxidant enzyme activity in Tanzania Guinea grass under copper toxicity // *Plant Stress*. 2022. Vol. 3. P. 100045. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100045>
117. Watt M., Kirkegaard J. A., Passioura J. B. Rhizosphere biology and crop productivity – a review // *Soil Research*. 2006. Vol. 44. № 4. P. 299-317. <https://doi.org/10.1071/SR05142>
118. Windisch W., Kroismayr A. The effects of phytobiotics on performance and gut function in monogastrics // *World nutrition forum: The future of animal nutrition*. 2006. P. 85-90. <https://www.efeedlink.com/shared/pdfiles/Biomin-EfectOfPhytobioticsOnPerformance.pdf>
119. Zhao K. et al. Silicon-based additive on heavy metal remediation in soils: Toxicological effects, remediation techniques, and perspectives // *Environmental Research*. 2022. Vol. 205. P. 112244. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112244>
120. Ziablitseva M. et al. Study of the effect of EM (effective microorganisms) technology on the productivity of broiler chickens // *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29. № 2. P. 1964-1974.

References

1. Aleshina E. S. Bioluminescence testing methods: Methodical instructions for laboratory practical / E. S. Alyoshina, I. F. Karimov, D. G. Deryabin. *Methods of bioluminescence testing: Methodological instructions for laboratory practical*. Orenburg: Orenburg State University; EBS ASV, 2011, 56 p.

2. Arinzhanov A. E., Miroshnikova E. P., Kilyakova Y. V. Prospects for the use of nanoparticles in animal husbandry (review). *Bulletin of beef cattle breeding*. 2014. № 2(85). P. 7-12.
3. Grechikhin I. V. Microorganisms as an indicator of biological stability of ecosystems. *To the heights of science: a collection of articles based on the results of the All-Russian competition, Elets, November 23, 2020*. Elets: Elets State University named after I.A. Bunin. I.A. Bunin, 2020. P. 5-8.
4. Karmanova A. A. Geochemical characterization of the element silicon. *International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral*. 2021. № 1.
5. Kosumov R. S., Okazova Z. P. Microorganisms as indicators of soil quality. *Vestnik Biomedicine and Sociology*. 2021. Vol. 6. № 2. P. 45-50. <https://doi.org/10.26787/nydha-2618-8783-2021-6-2-45-50>
6. Mansurova L. A. et al. Physiologic role of silicon. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2009. Vol. 90. № 7. P. 16-18.
7. Mustafina A. P. Effect of nanosized silicon oxide on the concentration of heavy metals in the body of poultry. *Perspective agrarian and food innovations: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, June 06-07, 2019 / Under the general editorship of I.F. Gorlov*. Volgograd: SFERA, 2019. P. 180-183.
8. Mustafina A. P. Effect of ultradisperse silica on the amino acid composition of meat and liver of broiler chickens. *Animal husbandry and fodder production*. 2020. Vol. 103. № 3. P. 8-15. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-103-3-8>
9. Mustafina A. S., Nikulin V. N., Mustafin R. Z. Changes in productive qualities of broilers under the action of ultradisperse silicon. *Actual issues of management of crop and livestock production of AIC and health of farm animals : proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference, Persianovsky settlement, December 20, 2019*. Persianovsky: Don State Agrarian University, 2019. P. 270-278.
10. Petrosyan A. D. et al. Effects of metal nanoparticles (MNP) of different sizes on the growth and development of pea seeds. *Ecology and Nature Management: trends, models, forecasts, applied aspects: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Ryazan, March 27, 2020*. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev. P.A. Kostychev, 2020. P. 108-111.
11. Rakhmanin Yu. A. et al. Silicon, its biological effect at enteral intake into the body and hygienic rationing in drinking water. Literature review. *Hygiene and sanitation*. 2017. Vol. 96. № 5. P. 492-498. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-492-498>

12. Rogozinnikova I. V. Organic source of copper in the feeding of broiler chickens - an alternative to inorganic salt. *Innovative directions and developments for effective agricultural production: proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the memory of corresponding member of the Russian Academy of Sciences V.I. Levakhin: in 2 parts, Orenburg, October 27-28, 2016*. Orenburg: All-Russian Research Institute of Meat Cattle Breeding, 2016. P. 171-174.
13. Rodicheva E. K., Kuznetsov A. M., Medvedeva S. E. Bioluminescent bio-tests based on luminous bacteria for environmental monitoring. *Vestnik of Orenburg State University*. 2004. № 5. P. 96-100.
14. Ryazanov V. A. Phytobiotics as an alternative to antibiotics in animal husbandry. *Animal husbandry and fodder production*. 2021. Vol. 104. № 4. P. 108-123. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-108>
15. Samolyuk V. V., Katsev A. M Biosensors based on natural luminescent bacteria to analyze the ecotoxicity of drugs. *Youth Innovation Bulletin*. 2021. Vol. 10. № S1. P. 227-229.
16. Sviridova D. A. Study of the mechanism of dioxidine genotoxicity using lux-biosensors of Escherichia coli. *Radiation Biology. Radioecology*. 2020. Vol. 60. № 6. P. 595-603. <https://doi.org/10.31857/S0869803120060223>
17. Sizova E. A., Makayeva A. M. Effect of highly dispersed preparations on metabolism and productivity of young cattle. *Feeding of farm animals and fodder production*. 2020. № 12(185). P. 22-33. <https://doi.org/10.33920/sel-05-2012-03>
18. Shelkova A. O., Novikova N. E. Physiological role of silicon in plant life. *Russian Agricultural Science Review*. 2015. T. 5. № 5-1. P. 187-190.
19. Abdulhussein J. M. et al. The phytobiotic potential of hydro-alcoholic extract of *Allium porrum* against *Bacillus cereus*: A computational sight into PlcR protein as a putative target. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021. Vol. 35, 102062. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102062>
20. Ahammed G. J., Yang Y. Mechanisms of silicon-induced fungal disease resistance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 165. P. 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.031>
21. Ahire M. L. et al. Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 169. P. 291-310. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010>
22. Ahmad B. et al. Evaluation of *in-vitro* and *in-vivo* antimicrobial potential of *Typha elephantina* leaves extracts using *Cyprinus carpio* as a research model. *Pak. J. Pharm. Sci*. 2022. Vol. 35. № 1. P. 323-333. <https://doi.org/10.36721/PJPS.2022.35.1.SUP.323-333.1>

23. Akhtar N. et al. Synergistic effects of plant growth promoting rhizobacteria and silicon dioxide nanoparticles for amelioration of drought stress in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 166. P. 160-176. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.039>
24. Al Hawani I. A. A., Aldaher A. H. S., Abdalzahra I. M. A biological study on *Quercus* bark as antimicrobial agent. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*. 2020. Vol. 23. <https://faculty.uobasrah.edu.iq/uploads/publications/1632339350.pdf>
25. Aljumaah M. R. et al. Effects of phytobiotic feed additives on growth traits, blood biochemistry, and meat characteristics of broiler chickens exposed to *Salmonella typhimurium*. *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. № 11. P. 5744-5751. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.033>
26. Alsaeedi A. et al. Silica nanoparticles boost growth and productivity of cucumber under water deficit and salinity stresses by balancing nutrients uptake. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019. Vol. 139. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.008>
27. Altaf M. M. et al. Silicon-mediated metabolic upregulation of ascorbate glutathione (AsA-GSH) and glyoxalase reduces the toxic effects of vanadium in rice. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. Vol. 436. P. 129145. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129145>
28. Andrade G. Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. *Plant surface microbiology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. P. 51-69. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74051-3_4
29. Apata D. F. et al. Antibiotic resistance in poultry. *International Journal of Poultry Science*. 2009. Vol. 8. № 4. P. 404-408. <https://doi.org/10.3923/ijps.2009.404.408>
30. Ashmead H. D. W. et al. Foliar feeding of plants with amino acid chelates. Noyes publications, 1986.
31. Atlanderova K. N. et al. Stimulation of ruminal digestion of young cattle with oak bark extract (*Quercus cortex*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. Vol. 341. № 1, 012059. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012059>
32. Avis T. J. et al. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity. *Soil biology and biochemistry*. 2008. Vol. 40. № 7. P. 1733-1740. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.02.013>
33. Bapat G., Zinjarde S., Tamhane V. Evaluation of silica nanoparticle mediated delivery of protease inhibitor in tomato plants and its effect on insect

- pest *Helicoverpa armigera*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2020. Vol. 193, 111079. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111079>
34. Bayda S. et al. The history of nanoscience and nanotechnology: from chemical-physical applications to nanomedicine. *Molecules*. 2019. Vol. 25. № 1, 112. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
35. Bobrenko I. et al. Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region. *International Scientific Conference The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector (TFTS 2019)*. Atlantis Press, 2020. P. 227-230. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200113.175>
36. Borges A. et al. Antibacterial activity and mode of action of ferulic and gallic acids against pathogenic bacteria. *Microbial drug resistance*. 2013. Vol. 19. № 4. P. 256-265. <https://doi.org/10.1089/mdr.2012.0244>
37. Chen M. et al. Toxicity of carbon nanomaterials to plants, animals and microbes: Recent progress from 2015-present. *Chemosphere*. 2018. Vol. 206. P. 255-264. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.020>
38. Cheng G. et al. Antibiotic alternatives: the substitution of antibiotics in animal husbandry? *Frontiers in microbiology*. 2014. Vol. 5. P. 217. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00217>
39. Chodkowska K. A. et al. Effect of Phytobiotic Composition on Production Parameters, Oxidative Stress Markers and Myokine Levels in Blood and Pectoral Muscle of Broiler Chickens. *Animals*. 2022. Vol. 12. № 19, 2625. <https://doi.org/10.3390/ani12192625>
40. Coskun D. et al. The controversies of silicon's role in plant biology. *New Phytologist*. 2019. Vol. 221. № 1. P. 67-85. <https://doi.org/10.1111/nph.15343>
41. Cristea V. et al. The use of phytobiotics in aquaculture. *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie*. 2012. Vol. 57. P. 250-255.
42. Debnath N. et al. Entomotoxic effect of silica nanoparticles against *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Pest Science*. 2011. Vol. 84. P. 99-105. <https://doi.org/10.1007/s10340-010-0332-3>
43. Dedrie M. et al. Oak barks as raw materials for the extraction of polyphenols for the chemical and pharmaceutical sectors: A regional case study. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 70. P. 316-321. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.071>
44. Devi K. P. et al. Eugenol (an essential oil of clove) acts as an antibacterial agent against *Salmonella typhi* by disrupting the cellular membrane. *Journal of ethnopharmacology*. 2010. Vol. 130. № 1. P. 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.025>

45. Dhakate P. et al. Silicon nanoforms in crop improvement and stress management. *Chemosphere*. 2022. Vol. 305, 135165. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135165>
46. Dhama K. et al. Evidence based antibacterial potentials of medicinal plants and herbs countering bacterial pathogens especially in the era of emerging drug resistance: An integrated update. *Int J pharmacol*. 2014. Vol. 10. № 1. P. 1-43. <https://doi.org/10.3923/ijp.2014.1.43>
47. Dhiman P. et al. Fascinating role of silicon to combat salinity stress in plants: An updated overview. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 162. P. 110-123. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.023>
48. Diaz Carrasco J. M., Casanova N. A., Fernández Miyakawa M. E. Microbiota, gut health and chicken productivity: what is the connection? *Microorganisms*. 2019. Vol. 7. № 10. P. 374. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7100374>
49. El-Ghany A. et al. Phytobiotics in poultry industry as growth promoters, antimicrobials and immunomodulators – A review. *Journal of World's Poultry Research*. 2020. Vol. 10. № 4. P. 571-579. <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2020.65>
50. El-Saadony M. T. et al. Biological silicon nanoparticles improve *Phaseolus vulgaris* L. yield and minimize its contaminant contents on a heavy metals-contaminated saline soil. *Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 106. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.01.012>
51. Emamverdian A. et al. The Effect of Silicon Nanoparticles on the Seed Germination and Seedling Growth of Moso Bamboo (*Phyllostachys edulis*) under Cadmium Stress. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2021. Vol. 30. № 4. <https://doi.org/10.15244/pjoes/129683>
52. Fatemi H., Pour B. E., Rizwan M. Isolation and characterization of lead (Pb) resistant microbes and their combined use with silicon nanoparticles improved the growth, photosynthesis and antioxidant capacity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under Pb stress. *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 266. № 114982. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114982>
53. Fisinin V. I. et al. Mixtures of biologically active substances of oak bark extracts change immunological and productive indicators of broilers. *Agricultural biology*. 2018. Vol. 53. № 2. P. 385-92. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.2.385eng>
54. Foksowicz-Flaczyk J. et al. The Effect of Herbal Feed Additives in the Diet of Dairy Goats on Intestinal Lactic Acid Bacteria (LAB) Count. *Animals*. 2022. Vol. 12. № 3. P. 255. <https://doi.org/10.3390/ani12030255>

-
55. Frew A. et al. The role of silicon in plant biology: a paradigm shift in research approach. *Annals of botany*. 2018. Vol. 121. № 7. P. 1265-1273. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy009>
 56. Gaur S. et al. Silicon and nitric oxide interplay alleviates copper induced toxicity in mung bean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 167. P. 713-722. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.08.011>
 57. Gill A. O., Holley R. A. Inhibition of membrane bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics. *International journal of food microbiology*. 2006. Vol. 111. № 2. P. 170-174. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.046>
 58. Guerriero G., Hausman J. F., Legay S. Silicon and the plant extracellular matrix. *Frontiers in plant science*. 2016. Vol. 7. P. 463. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00463>
 59. Hassirian N., Karimi E., Oskoueian E. Nanoliposome-encapsulated phenolic-rich fraction from *Alcea rosea* as a dietary phytobiotic in mice challenged by *Escherichia coli*. *Annals of Microbiology*. 2022. Vol. 72. № 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13213-022-01665-9>
 60. Heinken A. et al. Systems-level characterization of a host-microbe metabolic symbiosis in the mammalian gut. *Gut microbes*. 2013. Vol. 4. № 1. P. 28-40. <https://doi.org/10.4161/gmic.22370>
 61. Hughes E., Pierson R. The animalcules of Antoni van Leeuwenhoek. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*. 2013. Vol. 35. № 10. P. 960. [https://doi.org/10.1016/S1701-2163\(15\)30820-3](https://doi.org/10.1016/S1701-2163(15)30820-3)
 62. Hyldgaard M., Mygind T., Meyer R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. *Frontiers in microbiology*. 2012. Vol. 3. P. 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
 63. Islam W. et al. Silicon-mediated plant defense against pathogens and insect pests. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2020. Vol. 168. P. 104641. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104641>
 64. Ismail A. et al. Prevalence of some Enteric Bacterial Infections Causing Rabbit Enteritis and Attempts to Control Rabbit Coli Enteritis with Phytobiotics. *Zagazig Veterinary Journal*. 2017. Vol. 45. № Supplementary 1. P. 91-101. <https://doi.org/10.21608/zvjz.2017.29244>
 65. Jukna V. et al. The effect of probiotics and phytobiotics on meat properties and quality in pigs. *Veterinarija ir zootechnika*. 2005. Vol. 29. № 51. <https://vetzoo.lsmuni.lt/data/vols/2005/29/pdf/jukna2.pdf>
 66. Kalleshwaraswamy C. M., Kannan M., Prakash N. B. Silicon as a natural plant guard against insect pests. Silicon and Nano-silicon in Environmental

- Stress Management and Crop Quality Improvement. Academic Press, 2022. P. 219-227. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91225-9.00004-2>
67. Kaya C., Ashraf M. Sodium hydrosulfite together with silicon detoxifies arsenic toxicity in tomato plants by modulating the AsA-GSH cycle. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 294. P. 118608. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118608>
68. Khan I. et al. Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant interphase: A review. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2021. Vol. 222. P. 112510. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112510>
69. Khan Z. S. et al. Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. № 5. P. 4958-4968. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06673-y>
70. Kiczorowska B. et al. The natural feed additives as immunostimulants in monogastric animal nutrition – a review. *Annals of animal science*. 2017. Vol. 17. № 3. P. 605-625. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0076>
71. Kim J. H. et al. A vanillin derivative causes mitochondrial dysfunction and triggers oxidative stress in *Cryptococcus neoformans*. *PloS one*. 2014. Vol. 9. № 2. P. e89122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089122>
72. Krivonogova A. et al. Inhibitory effect of plant metabolites of *Nigella sativa* on conditionally pathogenic microflora of productive animals. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, 2021. Vol. 282. P. 04014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128204014>
73. Krivonogova A. et al. The influence of phytobiotic based on essential oils of *Salvia sclarea*, *Mentha canadensis*, *Mentha piperita* and *Coriandrum sativum* on pathogenic microorganisms of lactating cow udder. *E3S Web of Conferences. EDP Sciences*, 2021. Vol. 282. P. 04013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128204013>
74. Kropyvka Y., Bomko V. Efficiency of use of premixes on the basis of metal chelates in feeding cows in the first 100 days of lactation. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 19. № 79. P. 154-158.
75. Kuhlmann A. M. The second most abundant element in the earth's crust. *Jom*. 1963. Vol. 15. № 7. P. 502-505. <https://doi.org/10.1007/BF03378936>
76. Kumar N. et al. Phytobiotics and Reproductive Performance of Livestock. *Phytobiotics & Animal Production. International books and periodicals supply services*. 2019. Vol. 97. P. 108.
77. Kumar S., Soukup M., Elbaum R. Silicification in grasses: variation between different cell types. *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. P. 438. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00438>

-
78. Kvan O. et al. Changes in the content of chemical elements in the muscle tissue of broilers on the background of plant extract and tetracyclines. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2019. Vol. 10. № 12. P. 419-423. <https://pdfs.semanticscholar.org/7f78/c519a0e5fe5b-15c31187cdf12a5be66e65c7.pdf>
 79. Low C. X. et al. Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: A review. *Antibiotics*. 2021. Vol. 10. № 5. P. 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>
 80. Ma J. F. Plant root responses to three abundant soil minerals: silicon, aluminum and iron. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24. № 4. P. 267-281. <https://doi.org/10.1080/07352680500196017>
 81. Majewska M. P. et al. Comparison of the Effect of Synthetic (Tannic Acid) or Natural (Oak Bark Extract) Hydrolysable Tannins Addition on Fatty Acid Profile in the Rumen of Sheep. *Animals*. 2022. Vol. 12. № 6. P. 699. <https://doi.org/10.3390/ani12060699>
 82. Mantovani C. et al. Silicon toxicity induced by different concentrations and sources added to *in vitro* culture of epiphytic orchids. *Scientia Horticulturae*. 2020. Vol. 265. P. 109272. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109272>
 83. Marchese A. et al. Antimicrobial activity of eugenol and essential oils containing eugenol: A mechanistic viewpoint. *Critical reviews in microbiology*. 2017. Vol. 43. № 6. P. 668-689. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1295225>
 84. Mion B. et al. Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105. № 8. P. 6693-6709. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-21908>
 85. Miroshnikov S. et al. Comparative Toxicity of CuZn Nanoparticles with Different Physical and Chemical Characteristics. *Oriental journal of Chemistry*. 2019. Vol. 35. № 3. P. 973. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/350308>
 86. Mohammadi Gheisar M., Kim I. H. Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review. *Italian journal of animal science*. 2018. Vol. 17. № 1. P. 92-99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>
 87. Mukarram M., Khan M. M. A., Corpas F. J. Silicon nanoparticles elicit an increase in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus* (Steud.) Wats) agronomic parameters with a higher essential oil yield. *Journal of Hazardous Materials*. 2021. Vol. 412. P. 125254. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125254>
 88. Nassif N. et al. Living bacteria in silica gels. *Nature materials*. 2002. Vol. 1. № 1. P. 42-44. <https://doi.org/10.1038/nmat709>

89. Ngarmsak M. et al. Antimicrobial activity of vanillin against spoilage microorganisms in stored fresh-cut mangoes. *Journal of food protection*. 2006. Vol. 69. № 7. P. 1724-1727. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-69.7.1724>
90. Nollet L. et al. The effect of replacing inorganic with organic trace minerals in broiler diets on productive performance and mineral excretion. *Journal of Applied Poultry Research*. 2007. Vol. 16. № 4. P. 592-597. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00115>
91. Patra A., Lalhriatpuii M. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding – A review. *Biological Trace Element Research*. 2020. Vol. 197. № 1. P. 233-253. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01959-1>
92. Qasim M. et al. Potential role of nanoparticles in Plants Protection. *Life Sci J*. 2022. Vol. 19. № 2. P. 31-38. http://www.lifesciencesite.com/ljs/lsj190222/05_37743lsj190222_31_38.pdf
93. Rabelo-Ruiz M. et al. Allium extract implements weaned piglet's productive parameters by modulating distal gut microbiota. *Antibiotics*. 2021. Vol. 10. № 3. P. 269. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030269>
94. Ranjan A. et al. Silicon-mediated abiotic and biotic stress mitigation in plants: Underlying mechanisms and potential for stress resilient agriculture. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 163. P. 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.044>
95. Resende R. S. et al. New insights into the hormonal regulation of silicon-supplied sorghum plants challenged with *Colletotrichum sublineolum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2021. Vol. 115. P. 101682. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101682>
96. Romero-Cortes T. et al. Antifungal activity of vanilla juice and vanillin against *Alternaria alternata*. *CyTA-Journal of Food*. 2019. Vol. 17. № 1. P. 375-383. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1586776>
97. Ruesga-Gutiérrez E. et al. Allium-Based Phytobiotic for Laying Hens' Supplementation: Effects on Productivity, Egg Quality, and Fecal Microbiota. *Microorganisms*. 2022. Vol. 10. № 1. P. 117. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010117>
98. Saccá M. L. et al. Ecosystem services provided by soil microorganisms. Soil biological communities and ecosystem resilience. Springer International Publishing, 2017. P. 9-24. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63336-7_2
99. Saja-Garbarz D. et al. Silicon-induced alterations in the expression of aquaporins and antioxidant system activity in well-watered and drought-stressed oilseed rape. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022. Vol. 174. P. 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.033>

100. Salim B. B. M. et al. Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, flowering and yield of squash plants under deficit irrigation condition. *Annals of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 66. № 2. P. 176-183. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2021.12.003>
101. Sangster A. G., Hodson M. J., Tubb H. J. Silicon deposition in higher plants. *Studies in plant science*. Elsevier, 2001. Vol. 8. P. 85-113. [https://doi.org/10.1016/S0928-3420\(01\)80009-4](https://doi.org/10.1016/S0928-3420(01)80009-4)
102. Santra A., Karim S. A. Rumen manipulation to improve animal productivity. *Asian-australasian journal of animal sciences*. 2003. Vol. 16. № 5. P. 748-763. <https://doi.org/10.5713/ajas.2003.748>
103. Sarkar M. M., Mathur P., Roy S. Silicon and nano-silicon: New frontiers of biostimulants for plant growth and stress amelioration. *Silicon and Nano-silicon in Environmental Stress Management and Crop Quality Improvement*. Academic Press, 2022. P. 17-36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91225-9.00010-8>
104. Senthamil Pandian C. et al. Antimicrobial activity of selected phytobiotics individually and in combination against gram positive and gram negative bacteria. 2021. <https://www.entomoljournal.com/archives/2021/vol9issue1/PartAF/9-1-378-490.pdf>
105. Shabbaj I. I. et al. Silicon dioxide nanoparticles orchestrate carbon and nitrogen metabolism in pea seedlings to cope with broomrape infection. *Environmental Science: Nano*. 2021. Vol. 8. № 7. P. 1960-1977. <https://doi.org/10.1039/D0EN01278E>
106. Sharma A. et al. Synergistic action of silicon nanoparticles and indole acetic acid in alleviation of chromium (CrVI) toxicity in *Oryza sativa* seedlings. *Journal of Biotechnology*. 2022. Vol. 343. P. 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.005>
107. Silvana N. et al. Use of vulgar oregano (*Origanum vulgare*) as phytobiotic in fattening rabbits. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 45. № 2. <http://cjas.science.com/index.php/CJAS/article/view/136>
108. Singh J., Gaikwad D. S. Phytogenic feed additives in animal nutrition. *Natural bioactive products in sustainable agriculture*. Springer, Singapore, 2020. P. 273-289. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3024-1_13
109. Šukele R. et al. Antibacterial effects of oak bark (*Quercus robur*) and heather herb (*Calluna vulgaris* L.) extracts against the causative bacteria of bovine mastitis. *Veterinary World*. 2022. Vol. 15. № 9. P. 2315-2322. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.2315-2322>
110. Suriyaprabha R. et al. Silica nanoparticles for increased silica availability in maize (*Zea mays*. L) seeds under hydroponic conditions.

- Current Nanoscience*. 2012. Vol. 8. № 6. P. 902-908. <https://doi.org/10.2174/157341312803989033>
111. Tellez G. et al. Digestive physiology and the role of microorganisms. *Journal of Applied Poultry Research*. 2006. Vol. 15. № 1. P. 136-144. <https://doi.org/10.1093/japr/15.1.136>
112. Tian B., Liu Y., Chen D. Adhesion behavior of silica nanoparticles with bacteria: Spectroscopy measurements based on kinetics, and molecular docking. *Journal of Molecular Liquids*. 2021. Vol. 343. P. 117651. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117651>
113. Tiwari A. et al. One-pot green synthesis of highly luminescent silicon nanoparticles using *Citrus limon* (L.) and their applications in luminescent cell imaging and antimicrobial efficacy. *Materials Today Communications*. 2019. Vol. 19. P. 62-67. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2018.12.005>
114. Ulanowska M., Olas B. Biological Properties and prospects for the application of eugenol – A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22. № 7. P. 3671. <https://doi.org/10.3390/ijms22073671>
115. Vasilchenko A. S. et al. Oak bark (*Quercus sp.* cortex) protects plants through the inhibition of quorum sensing mediated virulence of *Pectobacterium carotovorum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022. Vol. 38. № 11. P. 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11274-022-03366-6>
116. Vieira-Filho L. O., Monteiro F. A. Silicon improves photosynthetic activity and induces antioxidant enzyme activity in Tanzania Guinea grass under copper toxicity. *Plant Stress*. 2022. Vol. 3. P. 100045. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100045>
117. Watt M., Kirkegaard J. A., Passioura J. B. Rhizosphere biology and crop productivity – a review. *Soil Research*. 2006. Vol. 44. № 4. P. 299-317. <https://doi.org/10.1071/SR05142>
118. Windisch W., Kroismayr A. The effects of phytobiotics on performance and gut function in monogastrics. World nutrition forum: The future of animal nutrition. 2006. P. 85-90. <https://www.efeedlink.com/shared/pdfs/Biomin-EffectOfPhytobioticsOnPerformance.pdf>
119. Zhao K. et al. Silicon-based additive on heavy metal remediation in soils: Toxicological effects, remediation techniques, and perspectives. *Environmental Research*. 2022. Vol. 205. P. 112244. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112244>
120. Ziablitseva M. et al. Study of the effect of EM (effective microorganisms) technology on the productivity of broiler chickens. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29. № 2. P. 1964-1974.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шошин Даниил Евгеньевич, магистр, лаборант-исследователь центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве»

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук; Оренбургский государственный университет

ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация; пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Российская Федерация
daniilshoshin@mail.ru

Сизова Елена Анатольевна, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», профессор кафедры биологии и почвоведения

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук; Оренбургский государственный университет

ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация; пр. Победы, 13, г. Оренбург, 460018, Российская Федерация
sizova.l78@yandex.ru

Камирова Айна Маратовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве»

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук

ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
atlander-kn@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Daniil E. Shoshin, Master's Degree, Research Laboratory Assistant at the Center «Nanotechnology in Agriculture»

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Orenburg State University

29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation; 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation
daniilshoshin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

SPIN-code: 7444-9999

Elena A. Sizova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Center «Nanotechnology in Agriculture», Professor of the Department of Biology and Soil Science

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences; Orenburg State University

29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation; 13, Pobedy Ave., Orenburg, 460018, Russian Federation

sizova.178@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

SPIN-code: 9819-1051

Aina M. Kamirova, PhD of Biological Sciences, Researcher of the Center «Nanotechnology in Agriculture»

Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences

29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation

atlander-kn@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

SPIN-code: 7991-3950

Поступила 28.09.2023

После рецензирования 30.10.2023

Принята 12.11.2023

Received 28.09.2023

Revised 30.10.2023

Accepted 12.12.2023

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-832

УДК 631.452:631.874.2/3



Научная статья

УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА И СИДЕРАЛЬНОЙ МАССЫ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е.В. Семинченко

Обоснование. Впервые в абиотических условиях Нижнего Поволжья на светло – каштановых почвах разработаны и изучены новые приемы биологизации сохранения плодородия почв и специализированные полевые севообороты, основанные на замещении чистого пара, занятым сидеральным паром с мало изученными культурами на зеленое удобрение – донник двулетний желтый, овес и фацелия; в структуру посевных площадей включаются культуры различных биологических групп, в том числе зерновые, зернобобовые, масличные, пропашные и многолетние бобовые травы; помимо сидератов применяются органические удобрения в виде соломы и пожнивно-корневых остатков возделываемых сельскохозяйственных культур.

Цель работы заключается влияние чистого и сидерального пара на урожайность полевых культур

Материалы и методы. Проведено исследование влияния сидеральных масс на урожайность зерновых культур в полевых севооборотах в условиях Нижнего Поволжья.

Результаты. Согласно проведенным исследованиям установлено, что биологизированные севообороты являются первым основным этапом при переходе к органическому земледелию в Волгоградской области. Оптимальным вариантом для почв сухостепной зоны каштановых подзоны светло-каштановых почв Нижнего Поволжья является четырехпольный зернопаропропашной биологизированный полевой севооборот и пятипольный севооборот с сидеральным паром (донник).

Заключение. Анализ данных показал, что наилучшие показатели урожайности озимой пшеницы получены по чистому и сидеральному (донник) парам – 1,8 т/га, у нута по предшественнику озимая пшеница в пятипольном севообороте – 0,87 т/га и у ярового ячменя по предшественнику нут – 1,48 т/га.

Ключевые слова: севообороты; урожайность; корреляционно-регрессионный анализ; полевые культуры

Для цитирования. Семинченко Е.В. Урожайность зерна и сидеральной массы полевых культур в севооборотах Нижнего Поволжья // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 358-373. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-832

Original article

GRAIN YIELD AND SIDERAL MASS OF FIELD CROPS IN CROP ROTATIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

E.V. Seminchenko

Background. For the first time in the abiotic conditions of the Lower Volga region on light chestnut soils, new methods of biologization of soil fertility preservation and specialized field crop rotations based on the replacement of pure steam with sideral steam with little-studied crops for green fertilizer – biennial yellow clover, oats and phacelia were developed and studied; the structure of sown areas includes cultures of various biological groups, including cereals, legumes, oilseeds, rowed and perennial legumes; in addition to siderates, organic fertilizers are used in the form of straw and crop –root residues of cultivated crops.

The purpose of the work is the influence of pure and sideral steam on the yield of field crops

Materials and methods. The study of the influence of sideral masses on the yield of grain crops in field crop rotations in the conditions of the Lower Volga region.

Results. According to the conducted research, it has been established that biologized crop rotations are the first major stage in the transition to organic farming in the Volgograd region. The best option for the soils of the dry-steppe zone of chestnut subzones of light chestnut soils of the Lower Volga region is a four-field biologized field crop rotation and a five-field crop rotation with sideral steam (donnik).

Conclusion. *Data analysis showed that the best indicators of winter wheat yield were obtained for pure and sidual (sweet clover) pairs - 1.8 t/ha, chickpeas for the predecessor winter wheat in the five-field crop rotation - 0.87 t/ha and spring barley for the predecessor chickpeas – 1.48 t/ha.*

Keywords: *crop rotations; yield; correlation and regression analysis; field crops*

For citation. *Seminchenko E.V. Grain Yield and Sidual Mass of Field Crops in Crop Rotations of the Lower Volga Region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 358-373. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-832*

Основной задачей земледелия является производство конкурентоспособной продукции, отвечающей спросу современного рынка. Устойчивое земледелие основано на воспроизведении почвенного плодородия, что является одной из основных проблем сельхозпроизводства. Негативное влияние на плодородие почв оказывает интенсивное использование пашни, не правильное построение севооборота, недостаточное или избыточное внесение в почву макро- и микроэлементов и другое, все это приводит к ухудшению состояния почв и снижению продуктивности культур, а в некоторых случаях и полной гибели посевов. Воспроизводство почвенного плодородия завязано на возврате в почву энергии и элементов питания, выносимых с урожаем [4, 6, 10]. Сильнейшим биологическим фактором повышения почвенного плодородия, а, следовательно, и урожайности сельскохозяйственных культур, является сидерация. При подборе сидеральной культуры в севообороте, необходимо обращать внимание на коэффициент транспирации, норму посева и способность быстрого наращивания биомассы для более ранней заделки ее в почву [2, 8, 13].

Севооборот является одним из наиболее действенных агротехнологических мероприятий, способствующих восстановлению, сохранению и повышению почвенного плодородия, создавая широкий спектр по разнообразию действий, влияющих на урожайность растений [5, 7, 14].

Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что зеленое удобрение является важнейшим элементом научного земледелия, оказывающим комплексное воздействие на свойства почв, продуктивность растений и качество продукции. В структуре севооборота зеленое удобрение рассматривается как почвозащитное звено системы земледелия, при применении которого в комплексе с другими элементами агротехники повышается рентабельность сельскохозяйственного производства [9, 11, 16].

Многие ученые занимались изучением влияния занятых паров и сидеральных культур в структуре севооборота на плодородие почв, продуктивность и урожайность сельскохозяйственных культур [1, 3, 14, 17, 18, 19].

Ученые Д. А. Болучевский и Б. А. Сотников [3, 12] утверждают, что при возделывании озимой пшеницы без удобрений, масса растительных остатков в пахотном слое почвы в севообороте с занятым паром в два раза меньше, чем в севообороте с сидеральным паром.

Г. Г. Тарабрина [15] отмечает, что наиболее низкая урожайность была получена в варианте без удобрений, на озимой пшенице она равнялась – 3,67 т/га. Комплекс приемов повышения плодородия увеличивал урожай зерна озимой пшеницей на 0,26-0,8 т/га. Содержание клейковины было более высоким при возделывании после сидерального пара озимой пшеницы – 26,0 %. При замене его на занятый этот показатель снижался на 0,7 %.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2018-2020 гг. Севообороты размещены на участке с уклоном до 1° в северо-восточном направлении. По классификации рабочий участок (контур) относится к I классу, на котором возможно возделывание всех культур. Почвы опытного участка светло-каштановые, но результатам обследования содержат гумуса 1,7-2,3%, рН почвы от 7,2 до 7,8, общего азота 0,12-0,19%, валового фосфора 0,12-0,15%, общего калия 1,26-2,06%. В пахотном слое почвы содержится доступного фосфора 90-100 кг, обменного калия 1080-1296 кг, азота (NO₃) - 72-90 кг. Содержание тяжелых металлов и пестицидов не превышает ПДК. Основная обработка почвы в опыте – безотвальная, стойкой СибПМЭ на глубину 25-27 см. Возделываются районированные сорта сельскохозяйственных культур.

Подсчет массы корневых и пожнивных остатков культур возделываемых в полевых биологизированных севооборотах проводили после их уборки в пахотном слое почвы (0,0-0,03 м) методом монолита по Н. З. Станкову в 8 – кратной повторности.

Биологизированная масса сельскохозяйственных культур, сидерального типа – фацелии, донника и овса, сена многолетних трав – эспарцета и люцерны, а также соломы зерновых культур подсчитывалась в фазе бутонизации и колошения из двух смежных рядов, длиной 0,833 м, расположенных в четырех местах учетной делянки.

Хозяйственная урожайность зерновых культур учитывалась весовым методом при сплошной комбайновой уборке каждой учетной делянки. В последующем ее приводили к 100 % чистоте и стандартной 14 % влажности.

Дисперсионный анализ урожайности озимой пшеницы, нута и ярового ячменя проводился методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову, а также корреляционный анализ данных полевого опыта на персональном компьютере с использованием пакетов прикладных программ.

Условия увлажнения в годы исследований характеризовались: 2017 – засушливый (ГТК=0,6), 2018 – сухой (ГТК=0,5), 2019 – слабо засушливый (ГТК=0,7), 2020 – сухой (ГТК=0,3). Суммарное количество осадков в 2017-2018, 2018-2019 и 2019-2020 сельскохозяйственных годах, соответственно составляли 391,0; 388,3 и 271,5 мм при среднемноголетнем показателе 339,2 мм. Осадки вегетационного периода: 149,7 мм (2017), 138,5 мм (2018), 169,2 мм (2019) и 90,3 мм (2020) при норме 190,4 мм.

Результаты и обсуждения

Урожайность – это интегральный показатель продуктивности растений, результат взаимодействия всех количественных признаков растения с условиями внешней среды. Увеличение урожайности является наиболее важным условием эффективности технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Сидеральные культуры обеспечивают прибавку урожая первой культуры на 0,5 – 0,9 т/га. Внесение соломы в почву с азотными удобрениями повышает урожайность на 0,31 т/га. Введение в севооборот культур различных биологических групп, поступление в почву дополнительного органического вещества в виде сидератов, соломы и пожнивно-корневых остатков полевых культур способствует росту их урожайности (табл. 1-4).

Таблица 1.

Влияние предшественника и способа биологизации на урожайность озимой пшеницы, т/га

№ варианта	Предшественник, прием биологизации	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя
1(к)	Чистый пар	0,59	1,28	3,54	1,80
2	Занятой пар (донник)	0,71	1,22	3,46	1,80
3	Занятой пар (овес)	0,64	1,24	3,17	1,68
4	Занятой пар (фацелия)	0,71	1,30	3,32	1,78
НСР ₀₅		0,03	0,05	0,03	-

Из данных приведенных в таблице 1 видно, что наибольшая урожайность культуры озимая пшеница отмечалась в 2020 году и изменялась в зависимости от предшественника в пределах от 3,17 т/га при культивировании ее в сеимпольном севообороте по занятому овсом на сидерат пару до 3,54 т/га по чистому пару в четырехпольном контрольном севообороте.

Самая низкая урожайность озимой пшеницы наблюдалась в 2018 году – 0,59-0,71 т/га. В среднем за три года исследований урожайность озимой пшеницы в варианте, где она возделывалась в пятипольном севообороте по занятому донником на сидерат пару находилась на уровне с контролем и составляла – 1,80 т/га. При возделывании озимой пшеницы в семипольных севооборотах по занятым овсом и фацелией на сидерат парам, урожайность в сравнении с контролем снижалась, соответственно, на 0,12 и 0,02 т/га или 6,7 и 1,1 %.

Таблица 2.

**Урожайность нута в зависимости от предшественников
и способов биологизации, т/га**

№ варианта	Предшественник, способ биологизации	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя
1(к)	Пшеница озимая	0,17	0,36	1,76	0,76
2	Пшеница озимая (солома)	0,23	0,25	2,12	0,87
3	Горчица (солома)	0,19	0,22	1,51	0,64
4	Пшеница яровая (солома)	0,22	0,30	1,69	0,74
НСР ₀₅		0,03	0,06	0,02	-

Из данных таблицы 2 видно, что самая высокая урожайность нута обеспечивалась в 2020 году и колебалась от 1,51 т/га при возделывании в семипольном севообороте по горчице, солома которой запахивалась в почву до 2,12 т/га в пятипольном севообороте по озимой пшенице, солома которой также оставалась в поле. Самая низкая урожайность нута была получена в 2018 году – 0,17-0,23 т/га. В среднем за годы исследований наибольшая урожайность формировалась при возделывании нута в пятипольном севообороте по предшественнику озимая пшеница, солома которой запахивалась в почву – 0,87 т/га, что выше контроля, где предшественником нута была также озимая пшеница, но солома которой отчуждается с поля на 0,11 т/га или 14,5 %. Остальные варианты уступали контролю: при возделывании нута в семипольных севооборотах по пшенице яровой и горчице, солома которых запахивалась в почву, соответственно, на 0,02 и 0,12 т/га или 2,6 и 15,8 %.

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод, что самая высокая урожайность ярового ячменя наблюдалась в 2020 году, самая низкая – в 2019 году. В среднем за годы исследований урожайность этой культуры по вариантам с применением приемов биологизации была приблизительно одинаковой. Так, наибольшая средняя урожайность формировалась при возделывании яро-

вого ячменя в семипольном и пятипольном севооборотах по зерновому сорго и нуту, солома которых запахивалась в почву, соответственно 1,46 и 1,48 т/га, что было выше, чем в контрольном варианте по нуту, но солома которого отчуждалась с поля, на 0,32 и 0,34 т/га или 28,1 и 29,8 %. При выращивании ярового ячменя в семипольном севообороте по сафлору, солома которого запахивалась в почву, урожайность превышала контроль на 0,18 т/га или 15,8%. В контрольном варианте урожайность этой культуры равнялась 1,14 т/га.

Таблица 3.

Хозяйственная урожайность ярового ячменя в зависимости от предшественников и способов биологизации, т/га

№ варианта	Предшественник, способ биологизации	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средняя
1(к)	Нут	0,97	0,18	2,27	1,14
2	Нут (солома)	1,07	0,22	3,15	1,48
3	Сафлор (солома)	1,06	0,24	2,66	1,32
4	Сорго зерновое (солома)	1,13	0,27	2,97	1,46
НСР ₀₅		0,03	0,04	0,03	-

Данные таблицы 4 показали, что в среднем за годы исследований наибольшая надземная воздушно-сухая масса обеспечивалась у донника на сидерат второго года жизни, возделываемого в пятипольном севообороте по горчице, солома которой запахивалась в почву – 1,17 т/га, что было выше, чем у овса и фацелии на сидерат по предшественнику яровой ячмень, солома которого также запахивалась в почву, соответственно, на 9,3 и 7,3 %.

Таблица 4.

Урожайность надземной, корневой сырой и воздушно-сухой массы сидеральных культур, т/га (среднее за 2018 – 2020 гг.)

№ ва-рианта	Предшественник, способ биологизации	Сырая масса			Воздушно-сухая масса		
		надзем-ная	корне-вая	всего	надзем-ная	корне-вая	всего
Донник на сидерат 2 г. ж.							
2	Горчица (солома)	4,50	1,92	6,42	1,17	0,74	1,91
Овес на сидерат							
3	Яровой ячмень (солома)	3,39	1,15	4,54	1,07	0,53	1,60
Фацелия на сидерат							
4	Яровой ячмень (солома)	3,98	1,20	5,18	1,09	0,62	1,71

Корневой воздушно-сухой массы сидеральных культур накапливалось меньше, чем надземной. Так, самая высокая она обеспечивалась у донника на сидерат – 0,74 т/га, у овса на сидерат – 0,53 т/га и у фацелии на сидерат – 0,62 т/га. Наибольшая общая воздушно-сухая масса сидеральных культур обеспечивалась у донника – 1,91 т/га, что было выше, чем у овса на 0,31 т/га или 19,4 % и у фацелии – на 0,2 т/га или 11,7 %.

Корреляционная зависимость урожайности зерновых культур от гидро-термических коэффициентов представлена на рисунках 1-3.

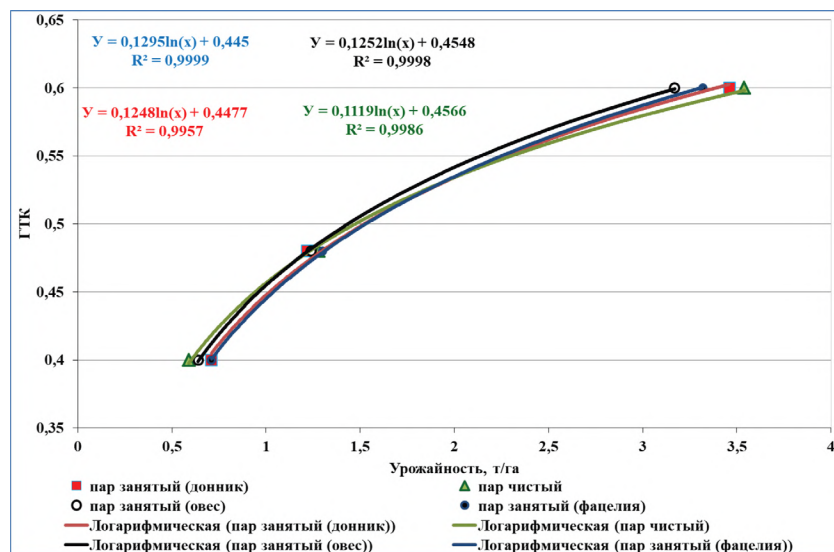


Рис. 1. Корреляционная зависимость урожайности озимой пшеницы за годы исследований от ГТК

Данные рисунка 1 показали, что в результате проведенного корреляционно-регрессионного анализа между урожайностью озимой пшеницы и гидро-термическим коэффициентом (ГТК) была выявлена положительная корреляция логарифмической функции, выражающаяся уравнением по предшественникам: пар чистый $Y = 0,1119 \ln(X) + 0,4566$ ($r^2 = 0,99$); пар занятый (донник) $Y = 0,1248 \ln(X) + 0,4477$ ($r^2 = 0,99$); пар занятый (овес) $Y = 0,1252 \ln(X) + 0,4548$ ($r^2 = 0,99$); пар занятый (фацелия) $Y = 0,1295 \ln(X) + 0,445$ ($r^2 = 0,99$).

Анализ корреляционных связей у нута (рис. 2) имел логарифмическую функцию, сильную степень корреляции и выражался уравнением регрес-

сии по пшенице озимой в контрольном варианте $Y = 0,084 \ln(X) + 0,5557$ ($r^2 = 0,99$); пшенице озимой в пятипольном севообороте $Y = 0,0744 \ln(X) + 0,5455$ ($r^2 = 0,87$); горчице и пшенице яровой в семипольных севооборотах $Y = 0,0819 \ln(X) + 0,5687$ ($r^2 = 0,89$) и $Y = 0,0884 \ln(X) + 0,558$ ($r^2 = 0,93$) соответственно.

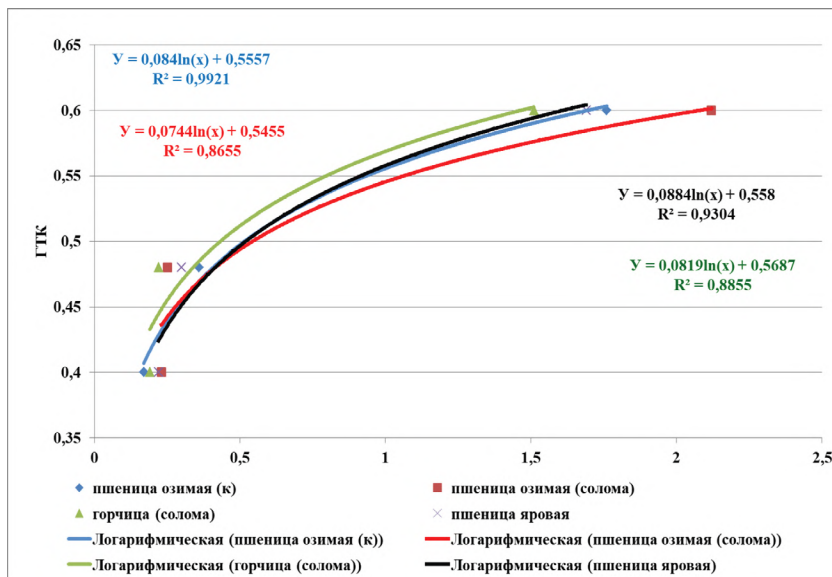


Рис. 2. Корреляционная зависимость урожайности нута за годы исследований от ГТК

Из рисунка 3 видно, что корреляционный анализ зависимости урожайности ячменя от ГТК имел линейную функцию средней степени и выражался уравнением регрессии по нуту в контроле $Y = 0,067X + 0,417$ ($r^2 = 0,49$); нуту в пятипольном севообороте $Y = 0,0513X + 0,4174$ ($r^2 = 0,59$); сафлору $Y = 0,0599X + 0,4142$ ($r^2 = 0,54$) и сорго $Y = 0,0546X + 0,4138$ ($r^2 = 0,56$).

Результаты корреляционного анализа зависимости урожайности зерновых культур от наиболее влияющих на продуктивность культур критериев (влажность почвы в слое почвы 0-30 см (X_1), метровом слое почвы (X_2), ГТК (X_3), осадков вегетационного периода (X_4), среднесуточных температур (X_5), относительной влажности воздуха (X_6) за вегетационный период представлены рисунке 4.

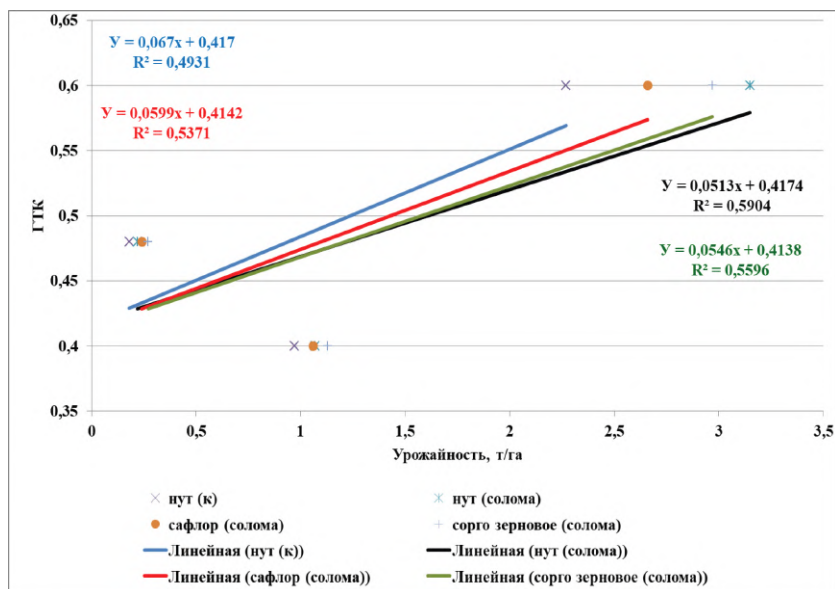


Рис. 3. Корреляционная зависимость урожайности ярового ячменя за годы исследований от ГПК

Из рисунка 4 видно, что в среднем за три года исследований выявлена сильная корреляционная зависимость фактора У (урожайность) озимой пшеницы по пару чистому в четырехпольном севообороте с факторами X_2 ($r^2 = 0,9$), X_4 ($r^2 = 0,95$) и X_5 ($r^2 = 0,99$), средняя степень зависимости с факторами X_1 ($r^2 = 0,43$); по пару занятому (донник) в пятипольном севообороте сильная степень корреляции по факторам X_4 ($r^2 = 0,97$), X_5 ($r^2 = 0,99$); по пару занятому (овес) сильная степень корреляции с факторами X_2 ($r^2 = 0,79$), X_4 ($r^2 = 0,95$) и X_5 ($r^2 = 0,99$), средняя степень зависимости с факторами X_1 ($r^2 = 0,56$); по пару занятому (фацелия) сильная степень корреляционной зависимости с факторами X_4 ($r^2 = 0,95$) и X_5 ($r^2 = 0,99$) и средняя с фактором X_2 ($r^2 = 0,55$).

У нута корреляционная зависимость фактора У (урожайность) показала низкие результаты. Средняя степень корреляции по фактору X_1 ($r^2 = 0,42$) по пшенице озимой в четырехпольном контрольном севообороте, по фактору X_2 по пшенице озимой в пятипольном севообороте ($r^2 = 0,49$), по горчице и пшенице яровой в семипольных севооборотах ($r^2 = 0,54$ и $r^2 = 0,68$) соответственно.

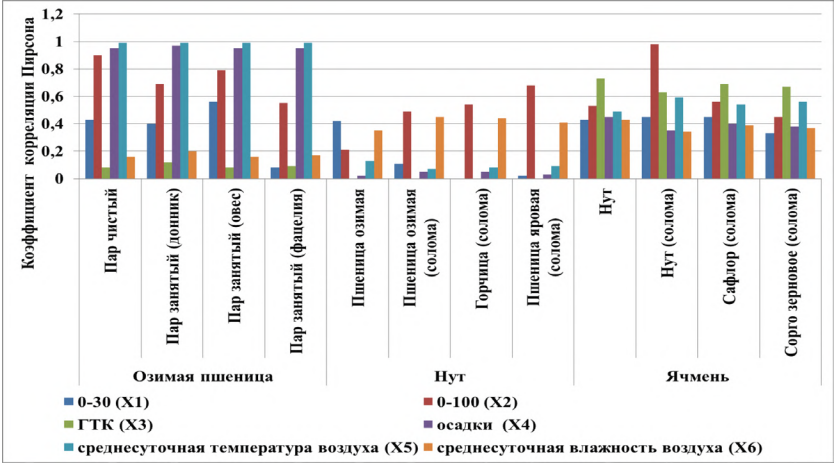


Рис. 4. Коэффициент корреляции урожайности (Y) от различных факторов вегетационного периода зерновых культур (среднее за 2018-2020 гг.)

Таблица 5.
Эмпирические модели зависимости урожайности зерновых культур (Y, ц/га) от условий тепло- и влагообеспеченности критических периодов по различным предшественникам

Культура	Предшественники	Уравнение множественной регрессии	R ²
Озимая пшеница	Пар чистый	$Y = 0,04X_1 - 0,13X_4 + 21,6$	0,99
	Пар занятый (донник)	$Y = 0,14X_1 + 0,09X_2 - 10,2$	0,98
	Пар занятый (овес)	$Y = -0,14X_4 + 0,08X_6 + 22,05$	0,97
	Пар занятый (фацелия)	$Y = -0,05X_2 - 0,18X_4 + 36,32$	0,98
Нут	Пшеница озимая	$Y = 0,23X_2 + 0,15X_4 + 31,18$	0,98
	Пшеница озимая (солома)	$Y = 0,14X_2 + 0,10X_4 - 19,29$	0,98
	Горчица (солома)	$Y = 0,18X_2 + 0,06X_4 - 17,85$	0,98
	Пшеница яровая (солома)	$Y = 0,14X_2 + 0,04X_4 - 13,2$	0,97
Яровой ячмень	Нут	$Y = 0,08X_2 - 0,04X_4 - 1,77$	0,98
	Нут (солома)	$Y = 0,12X_2 - 0,01X_4 - 7,2$	0,97
	Сафлор (солома)	$Y = 0,09X_2 - 0,04X_4 - 2,57$	0,98
	Сорго зерновое (солома)	$Y = 0,10X_2 - 0,05X_4 - 2,10$	0,99

По результатам статистических исследований построены эмпирические модели формирования урожайности зерновых культур по наиболее значимым погодным факторам (табл. 5).

Анализ данных полученных в ходе исследования и приведённых в таблице 5 показал, что урожайность зерновых культур зависела от почвенно-метеорологических условий, а именно запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы (X_2), осадков вегетационного периода (X_4), среднесуточной температура воздуха (X_5) и предшественника, причем последний оказывал незначительное влияние на урожайность зерновых культур.

Заключение

Возделывание озимой пшеницы по сидеральному пару (донник) формировала урожай на уровне с контролем – 1,80 т/га. По другим предшественникам урожайность в сравнении с контролем снижалась. Урожайность нута превышала контроль на – 0,11 т/га. Урожайность ярового ячменя выше контроля по всем предшественникам.

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

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены в рамках государственного задания НИР: ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Арефьев А. Н., Кузина Е.Е., Кузин Е.Н. Приемы повышения плодородия черноземных и лугово-черноземных почв лесостепного Поволжья: монография. Пенза: Изд-во Пензенского ГАУ, 2017. 483 с.
2. Борисова Е.Е. Применение сидератов в мире // Вестник НГИЭИ. 2015. № 6 (49). С. 24-33.
3. Болучевский Д.А. Плодородие чернозема типичного и урожайность озимой пшеницы при различных приемах биологизации в лесостепи ЦЧР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Воронеж, 2014. 24 с.
4. Горохов С.А. Влияние сидеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистей почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в севообороте: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Йошкар-Ола, 2013. 20 с.

5. Денисова А.В. Влияние возделывания сидеральных культур в паровых полях и промежуточных посевах на продуктивность звеньев севооборотов и показатели плодородия дерново-подзолистых почв Кировской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Уфа, 2015. 19 с.
6. Зеленев А.В., Уришев Р.Х., Семинченко Е.В. Эффективность средств биологизации в полевых севооборотах засушливой степной зоны Нижнего Поволжья // Вестник Нижневолжского агроуниверситета: наука и высшее профессиональное образование. 2017. №1. С. 63-69.
7. Зеленев А. В. Семинченко Е.В. Солома – важный фактор биологизации при возделывании зернового сорго на светло-каштановых почвах Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. №3. С. 62-69.
8. Кузнецова Н.В. Проблемы почвенного плодородия // Инновационная наука. 2015. № 12-1. С. 150-152.
9. Лукин С.М. К 100-летию научных исследований по плодородию почв и применению удобрений: от Судогодского опытного поля до Всероссийского НИИ органических удобрений и торфа // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 2-7.
10. Минеев В.Г. Агрохимия: учебник. 2-е изд. перераб. и доп. М.: изд-во МГУ, изд-во «КолосС», 2004. 720 с.
11. Постников П. А., Попова В.В. Продуктивность сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 2. С. 5–11.
12. Скорочкин Ю.П., Джабраилов А.А. Новые культуры в биологическом земледелии // Системы использования органических удобрений и возобновляемых ресурсов в ландшафтном земледелии: материалы Всероссийской науч.-практ. конференции с международным участием, посвященной 100-летию Судогодского опытного поля / ГНУ ВНИИОУ Россельхозакадемии. Владимир, 2013. С. 326-332.
13. Сотников Б.А. Влияние приемов биологизации на динамику лабильных форм органического вещества и урожайность культур: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Воронеж, 2004. 18 с.
14. Скорочкин Ю.П., Брюхова З.Я. Сидеральный пар и солома – элементы биологизации земледелия в условиях Северо-Восточной части ЦЧР // Земледелие. 2011. № 3. С. 20-21.
15. Смутнев П.А., Волынский В.П. Севооборот в сельском хозяйстве Нижнего Поволжья // Достижения науки и техники агропромышленного комплекса. 2005. №2. С. 5-7.

16. Тарабрина Г.Г. Влияние комплекса приемов биологизации на показатели плодородия чернозема выщелоченного и урожайность культур севооборота: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. Воронеж, 2005. 19 с.
17. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw // *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 57. P. 264-279. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.015>
18. Peltre C., Nielsen M., Bruun S. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil c and n losses: a simulation study // *Agricultural Systems*. 2016. Vol. 143. P. 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.01.002>
19. Field crop rotations in organic agriculture of the Volgograd region / Shatokhin A.A., Chamurliiev O.G., Zelenev A.V., Chamurliiev G.O., Vorontsova E.S. // *BIO Web of Conferences*, 2020. Vol. 27, 00152. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20202700152>

References

1. Arefiev A. N., Kuzina E.E., Kuzin E.N. *Methods of improving the fertility of chernozem and meadow-chernozem soils of the forest-steppe Volga region: monograph*. Penza: Izd-vo Penza GAU, 2017, 483 p.
2. Borisova E.E. Application of siderates in the world. *Vestnik NIEEI*, 2015, no. 6 (49), pp. 24-33.
3. Boluchevskiy D.A. *Fertility of typical chernozem and yield of winter wheat under different methods of biologization in the forest-steppe of the CDR*. Voronezh, 2014, 24 p.
4. Gorokhov S.A. *Influence of sideral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil and productivity of agricultural crops in crop rotation*. Yoshkar-Ola, 2013, 20 p.
5. Denisova A.V. *Influence of cultivation of sideral crops in fallow fields and intermediate crops on the productivity of crop rotation links and fertility indicators of sod-podzolic soils of Kirov region*. Ufa, 2015, 19 p.
6. Zelenev A.V., Urishev R.H., Seminchenko E.V. Efficiency of biologization means in field crop rotations of arid steppe zone of the Lower Volga region. *Bulletin of Nizhnevolzhskiy agro-university: science and higher professional education*, 2017, no. 1, pp. 63-69.
7. Zelenev A. V. Seminchenko E.V. Straw - an important factor of biologization in the cultivation of grain sorghum on light-chestnut soils of the Volgograd region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, 2018, no. 3, pp. 62-69.
8. Kuznetsova N.V. Problems of soil fertility. *Innovatsionnaya nauka*, 2015, no. 12-1, pp. 150-152.

9. Lukin S.M. Towards the 100th anniversary of scientific research on soil fertility and fertilizer application: from Sudogodsk experimental field to the All-Russian Research Institute of organic fertilizers and peat. *Agrochemical Bulletin*, 2013, no. 4, pp. 2-7.
10. Mineev V.G. *Agrochemistry*. Moscow: MSU; KolosS, 2004, 720 p.
11. Postnikov P.A., Popova V.V. Productivity of agricultural crops in field crop rotations. *Agrarny vestnik Verkhnevolzhye*, 2018, no. 2, pp. 5-11.
12. Skorochkin Y.P., Dzhabrailov A.A. New crops in biological farming. *Systems of using organic fertilizers and renewable resources in landscape farming: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 100th anniversary of Sudogodskiy experimental field* / Rosselkhozakademy. Vladimir, 2013, pp. 326-332.
13. Sotnikov B.A. *Influence of biologization techniques on the dynamics of labile forms of organic matter and crop yield*. Voronezh, 2004, 18 p.
14. Skorochkin Y.P., Bryukhova Z.Ya. Sideral steam and straw - elements of biologization of farming in the conditions of the North-Eastern part of the CDR. *Zemledeliye*, 2011, no. 3, pp. 20-21.
15. Smutnev P.A., Volynskov V.P. Crop rotation in the agriculture of the Lower Volga region. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, 2005, no. 2, pp. 5-7.
16. Tarabrina G.G. *Influence of a complex of biologization techniques on fertility indicators of leached chernozem and crop yield of crop rotation*. Voronezh, 2005, 19 p.
17. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw. *Biomass and Bioenergy*, 2013, vol. 57, pp. 264-279. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.015>
18. Peltre C., Nielsen M., Bruun S. Straw export in continuous winter wheat and the ability of oil radish catch crops and early sowing of wheat to offset soil c and n losses: a simulation study. *Agricultural Systems*, 2016, vol. 143, pp. 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.01.002>
19. Field crop rotations in organic agriculture of the Volgograd region / Shatokhin A.A., Chamurliev O.G., Zelenev A.V., Chamurliev G.O., Vorontsova E.S. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 27, 00152. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20202700152>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Семиначенко Елена Валерьевна, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиора-*

ций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)

Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

eseminchenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Elena V. Seminchenko, Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences

97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation

eseminchenko@mail.ru

SPIN-code: 2756-2340

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-9563>

Scopus Author ID: 57222146275

Поступила 22.09.2023

После рецензирования 18.10.2023

Принята 01.11.2023

Received 22.09.2023

Revised 18.10.2023

Accepted 01.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-842

УДК 632.93:631.53.01:633.11



Научная статья

ВЛИЯНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЕЕ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО

В.А. Гулидова, Р.В. Щучка, Т.В. Зубкова, В.Л. Захаров

Изучили комбинированные суспензионные композиции, приготовленные методами жидкофазной механообработки на основе фунгицидов дифеноконазола, тебуконазола, имазалила, флудиоксанила, тиабендазола, прохлораза, седоксана и инсектицидов тиаметоксама, имидаклоприда, регуляторов роста растений энергосанса, которые проявили широкий спектр биологической активности в полевых условиях. Установили, что основные показатели качества конечной продукции - натура зерна, количество белка и клейковины, стекловидность, качество клейковины зависели от фунгицидного и инсектицидного воздействия на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы. Защитным воздействием обладали все изучаемые препараты. Они способствовали обеззараживанию семян озимой пшеницы от семенной и почвенной патологии и вредных насекомых раннего периода развития растений. Выявили, что для эффективного протравливания семян озимой пшеницы лучше всего применять препараты инсектофунгицидного назначения, содержащие в своем составе несколько компонентов различных химических классов. Установили, что предпосевная обработка семян озимой пшеницы суспензионной композицией состава тиаметоксам + седаксан + флудиоксонил + тебуконазол в виде препарата Вайбранс Интеграл, КС обеспечила наибольшее повышение сбора зерна на 0,49 т/га (7,3%) при урожайности в контроле 6,74 т/га. Применение этого препарата обеспечивает особенно высокое содержание белка в зерне (16,07%) и клейковины (36,8%) первой группы качества. Установили разносторонние положительные воздействия препарата Вайбранс Интеграл, проявляющиеся в усилении ростовых процессов корневой системы за счет присутствия молекулы седаксана, назначение которой направлено на формирование здоровой и хорошо развитой корневой системы, повышение стрессустойчивости растений к абиотическим факторам, проявление хорошего эффекта защитного действия в отношении почвенно-семенной

инфекции. Определили самую низкую, относительно других изучаемых препаратов, урожайность (6,17 т/га) от применения суспензионной композиции состава тиаметоксам (262,5 г/л) + дифеноконазол (25 г/л) + флудиоксонил (25 г/л (Селест Топ), но зерно при этом было высокого качества. Все другие протравители семян занимали промежуточное положение между вышеназванными препаратами.

Ключевые слова: многокомпонентные протравители; озимая пшеница; урожайность; клейковина; белок; натура зерна; стекловидность; инсектофунгициды; фунгициды; суспензионные композиции

Для цитирования. Гулидова В.А., Щучка Р.В., Зубкова Т.В., Захаров В.Л. Влияние многокомпонентных протравителей семян озимой пшеницы на ее продуктивность и качество // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 374-392. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-842

Original article

THE INFLUENCE OF MULTICOMPONENT WINTER WHEAT SEED PROTECTANTS ON ITS PRODUCTIVITY AND QUALITY

V.A. Gulidova, R.V. Shchuchka, T.V. Zubkova, V.L. Zakharov

We studied combined suspension compositions prepared by liquid-phase mechanical treatment based on the fungicides difenoconazole, tebuconazole, imazalil, fludioxanil, thiabendazole, prochloraz, sedoxan and the insecticides thiamethoxam, imidacloprid, plant growth regulators Enershans, which showed a wide range of biological activity in field conditions. It was established that the main indicators of the quality of the final product - the nature of the grain, the amount of protein and gluten, glassiness, and the quality of gluten - depended on the fungicidal and insecticidal effects on the phytosanitary condition of winter wheat crops. All studied drugs had a protective effect. They contributed to the disinfection of winter wheat seeds from seed and soil pathology and harmful insects of the early period of plant development. It was found that for effective treatment of winter wheat seeds, it is best to use insectofungicidal preparations containing several components of different chemical classes. It was found that pre-sowing treatment of winter wheat seeds with a suspension composition of thiamethoxam + sedaxan + fludioxanil + tebuconazole in the form of Vibrant Integral, suspension concentrate provided the greatest increase in grain yield by

0.49 t/ha (7.3%) with a control yield of 6.74 t/ha. The use of this drug ensures a particularly high protein content in the grain (16.07%) and gluten (36.8%) of the first quality group. We have established diverse positive effects of the drug *Vibrant Integral*, manifested in enhancing the growth processes of the root system due to the presence of the sedaxane molecule, the purpose of which is aimed at the formation of a healthy and well-developed root system, increasing the stress resistance of plants to abiotic factors, and the manifestation of a good protective effect in relation to soil and seed infections. We determined the lowest, relative to other studied drugs, yield (6.17 t/ha) from the use of a suspension composition of thiamethoxam (262.5 g/l) + difenoconazole (25 g/l) + fludioxonil (25 g/l (*Celest Top*), but the grain was of high quality. All other seed protectants occupied an intermediate position between the above-mentioned drugs.

Keywords: multicomponent disinfectants; winter wheat; yield; gluten; protein; grain nature; glassiness; insectofungicides; fungicides; suspension compositions

For citation. Gulidova V.A., Shchuchka R.V., Zubkova T.V., Zakharov V.L. The Influence of Multicomponent Winter Wheat Seed Protectants on its Productivity and Quality. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 374-392. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-842

Введение

Зерно – это хлеб, который является необходимым продуктом питания для каждого человека. Россия является крупным производителем продовольственного зерна в мире. По данным Росстата, в 2022 году был рекордный урожай зерна – 157,7 млн. тонн в весе после доработки, что на 29,9% выше показателей 2021 года (121,4 млн. тонн). Впервые в России собрали 104,2 млн. тонн пшеницы в весе после доработки, в сравнении с 2021 годом, когда было собрано 76,1 млн. т, это на 37,1% больше. Высокая урожайность зерновых культур, в том числе и продовольственной пшеницы связана с совершенствованием технологии возделывания, включая современные инновационные элементы агротехники, как протравливание семян современными многокомпонентными суспензионными композициями.

Протравливание посевного зерна для защиты от болезней и вредителей – это самое экономичное и экологичное агромероприятие в системе защиты растений [9, 10, 15, 16], особенно при использовании высокоэффективных современных химических средств защиты. Применяя их от вредных организмов в 2 раза сокращаются потери зерна за счет повышения урожайности и улучшения качества продукции [3]. Ежегодно из-за болезней и вредителей растений в России недополучение продукции

составляет десятки тонн зерна. Через семена передается более 50% всех болезней растений. Поэтому во многих зернопроизводящих странах предпосевная обработка семян средствами защиты является законодательно обязательным агроприемом.

Защита семян для будущего урожая требует от технолога ответственности, так как даже незначительные допущенные ошибки в начале роста и развития растений в последующем отрицательно отразятся на урожае. Просчеты на начальных этапах развития растений больше всего сказываются на величине урожая [8, 10]. Верхний слой почвы, куда при посеве ложатся семена, содержит большое количество пожнивных растительных остатков, которые являются жизненной средой для большинства фитопатогенов и фитофагов, которые усложняют прохождение растениями наиболее уязвимого периода от прорастания семян и до формирования полных всходов [15, 19, 17].

Обеззараживание кондиционного семенного материала это не простой агроприем, его надо проводить с учетом фитосанитарной обстановки прошедшего сезона. Для чего и проводят фитоэкспертизу семян. Фитоэкспертиза выявляет видовой состав патогенного комплекса и степень инфицированности семян, позволяет не ошибиться с выбором химического препарата для более эффективного обеззараживания [9, 14, 4, 13].

В настоящее время для формирования ассортимента пестицидов для предпосевной обработки семян предпочтение следует отдавать комплексным препаратам, которые могут в себе сочетать фунгицидные, инсектицидные или инсектофунгицидные свойства. Многие из этих препаратов оказывают стимулирующее действие на рост и развитие растений, способствуют повышению зимостойкости и улучшению перезимовки растений [10, 20]. В настоящее время определенный экономический интерес вызывает поиск препаратов для протравливания семян, которые сочетали в себе одновременно повышение стрессустойчивости к различным климатическим факторам и обладали низкой фитотоксичностью. В сельском хозяйстве в качестве протравителей широко используют фунгициды химического класса азолов. Препараты этого химкласса хорошо работают против патогенов головни и корневых гнилей, так как в их составе имеются триазольная или имидазольная группы. В равнении с другими азолами эти препараты обладают низкой фитотоксичностью и хорошо защищают посевной материал в малых дозах [12]. Кроме того, они еще дополнительно обладают ретардантным эффектом.

Каждый год ассортимент протравителей обновляется. Появляются новые более совершенные препараты, в составе которых несколько дей-

ствующих веществ, они обладают многосторонней инсектофунгицидной и ретардантной эффективностью. Научно обоснованный поиск комбинированных препаратов, включающих в свой состав фунгициды, инсектициды и регуляторы роста методами механохимии [3,1,18] с учетом физико-химических свойств исходных действующих веществ в настоящее время является весьма актуальным.

Цель исследований заключалась в том, чтобы подобрать состав суспензионных форм из многих компонентов методами механического смешивания композиции на основе фунгицидов дифеноконазола, тебуконазола, имадазила, флудиоксанила, тиабендазола, прохлораза, седаксана и инсектицидов тиаметоксама, имидаклоприда, регулятора роста энергошанса, а также дать оценку эффективности обработки семян озимой пшеницы этими композициями на качественные показатели выращенной продукции в условиях типичной лесостепи Центрального Черноземья.

Материалы и методы исследования

Полевой эксперимент провели на полях фермерского хозяйства «Крапп» Тульской области. Объектами исследований были препараты, которые предназначены для обеззараживания семян зерновых культур: Систива, Кинто Дуо, Имадашанс, Шансометокс, Шансил Ультра, Шансил Трио, Вайбранс Интеграл, Селест Макс, Селест Топ и семена озимой пшеницы сорта Немчиновская 17 из естественных условий. Испытанию подвергали суспензионные композиций для обработки семян, указанные в табл. 1. Суспензионные композиций готовили вручную, расчет вели на 1 тону семян, исходя из рекомендованных норм расхода каждого препарата. Контрольным вариантом была композиция фунгицида (Шансил Трио) и инсектицида (Имадашанс). Все исследуемые препараты включены в каталог [5].

Исследования проводились в 2020-2021 гг. на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом, в котором содержание гумуса 4,5%, обеспеченность почвы подвижными формами фосфора (P_2O_5 по Чирикову) 12,2-12,5 мг и обменного калия (K_2O по Чирикову) - 6,5-7,3 мг на 100 г почвы, $pH_{(KCl)}$ – 5,5. Повторность вариантов – 4-кратная. Площадь делянки 45 м², расположение делянок последовательное в один ярус. Озимую пшеницу Немчиновская 17 возделывали после пара согласно принятой технологии [8]. Обеззараживание семян проводили с увлажнением, используя 10 л воды на 1 тонну семян [5]. В опыте изучали влияние препаратов на развитие семенных инфекций согласно ГОСТ Р 12044-93 [6]. Уборку делянок проводили снопами в фазу полной спелости.

Таблица 1.

Схема опыта по изучение програвителей семян озимой пшеницы

№ варианта	Препарат	Действующее вещество и его концентрация в препарате	Норма расхода, л (кг)/т
1	Шансил Трио, КС + Имидашанс, КС (контроль)	Тиабендазола (60г/л) + тебуконазол (60г/л) + имазалил (40г/л) + Имидаклоприд (600 г/л)	0,5+0,6
2	Систива, КС + Кинто Дуо, КС + Имидашанс, КС	Ксемиум (333,3 г/л) + Тритиконазол (20 г/л) + прохлораз (60 г/л) + Имидаклоприд (600 г/л)	0,75+2,0+0,6
3	Селест Макс, КС	Тиаметоксам (125 г/л)+ флудиоксонил (25 г/л)+ тебуконазол (15 г/л)	2,0
4	Селест Топ, КС	Тиаметоксам (262,5 г/л) + дифеноконазол (25 г/л) + флудиоксонил (25 г/л)	1,5
5	Шансометокс, КС+ Шансил Ультра, КС + Энергошанс, Ж	Тиаметоксам (262,5 г/л)+ дифеноконазол (25 г/л) +флудиоксонил (25 г/л)+ Тебуконазол (120 г/л) + Энергошанс	1,5+0,12+0,2
6	Вайбранс Интеграл, КС	Тиаметоксам (175 г/л)+ седаксан (25 г/л)+ флудиоксонил (25 г/л)+ тебуконазол (10 г/л)	2,0

Полевые опыты проведены согласно методике Б.А. Доспехова [11]. Экспериментальные данные анализировали на компьютере с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 6.1. Пестициды, нанесенные на поверхность зерна, служили защитным экраном от вредных организмов (табл. 2).

В течение исследований агрометеорологические условия складывались по-разному, что позволило изучаемым препаратам проявить свои особенности. Выпадение осадков в течение вегетации озимой пшеницы было неравномерным. В начале сентября, когда проводили посев культуры, атмосферных осадков было недостаточно для получения дружных и своевременных всходов. Выпало только 37,1% месячной нормы, что в последствие сказалось на полноте всходов. Гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову в этот период составил 0,62 при среднемноголетнем показании 1,71. Самый влажный месяц был июнь, когда выпало 82,3 мм осадков, что больше на 6,3 мм среднемноголетних значений, а самым за-

сушливым оказался май, когда выпало всего 11,2 мм осадков, это меньше многолетних значений в 3,8 раза.

Таблица 2.

**Рекомендованные препараты для защиты семян пшеницы
фитопатогенов и вредителей**

Препарат	Норма расхода (кг/т, л/т)	Вредный объект
Имидашанс-С, КС	0,3-0,75	Вредители: <i>Zabrus gibbus</i> Fabr., внутрстеблевые мухи (<i>Chloropidae</i> , <i>Cecidomyiidae</i> , <i>Anthomyiidae</i> , <i>Phyllotreta vittula</i> Redt.
Шансил Трио, КС	0,4	Твердая и пыльная головня, фузариозная и гельминтоспориозная корневые гнили, септориоз, плесневение семян
Шансил Ультра, КС	0,2-0,25	Твердая головня, пыльная головня, фузариозная и гельминтоспориозная корневые гнили, плесневение семян, септориоз, снежная плесень
Шансометокс Трио, КС	1,2-1,5	Твердая головня, фузариозная и гельминтоспориозная корневые гнили, снежная плесень, альтернариозная семенная инфекция, плесневение семян, корневая гниль, комплекс почвенных и наземных вредителей.
Вайбранс Интеграл, КС	1,5-2,0	Твердая головня, гельминтоспориозная и фузариозная корневые гнили, плесневение семян (в том числе альтернариозная семенная инфекция), пыльная головня озимой пшеницы, комплекс почвенных и наземных вредителей.
Систива, КС	0,5-1,0	Твердая головня, фузариозная корневая гниль, гельминтоспориозная корневая гниль, плесневение семян
Кинто Дуо, КС	2-2,5	Фузариозная, гельминтоспориозная и ризоктониозная корневые гнили, церкоспореллезная гниль корневой шейки, твердая и пыльная головня, плесневение семян, септориоз
Селест Топ, КС	1,2-1,5	Твердая головня, фузариозная и гельминтоспориозная корневые гнили, корневая гниль, снежная плесень, альтернариоз, плесневение семян, почвенные и наземные вредители.
Селест Макс, КС	1,5-2,0	Твердая и пыльная головня, фузариозная корневая гниль, гельминтоспориозная корневая гниль, плесневение семян. Вредители: <i>Zabrus gibbus</i> Fabr., <i>Chloropidae</i> , <i>Phyllotreta vittula</i> Redt., <i>Cicadellidae</i> , <i>Elateridae</i>

Период нарастания вегетативной массы и формирования репродуктивных органов характеризовался недостаточным обеспечением растений продуктивной влагой, но при этом стояла хорошая солнечная погода, что в последствие сказалось на количестве и качестве белка и клейковины. В целом в период проведения исследований климатические условия сложились вполне благоприятно для выращивания продовольственной озимой пшеницы и оценивания эффективности многокомпонентных суспензионных форм.

Результаты исследований и их обсуждение

Зараженность семян озимой пшеницы патогенами была достаточно высокой. На это указывает проведение фитосанитарной диагностики посевного материала перед закладкой исследований, так микозная инфекция *Alternaria* spp. в среднем составила 19,5%, *Fusarium* spp. - 13,7%. В лесостепной зоне Центрального Черноземья передача вышеуказанных патогенов происходит из года в год двумя путями как через почву, так и через семена. В условиях интенсивного антропогенного воздействия на агрофитоценоз пшеницы, влечет за собой постоянные изменения в количественном и видовом отношении вредных организмов: сорняков, вредителей и болезней. Кроме того, дополнительно включаются механизмы естественного отбора. Поэтому товаропроизводителю требуется постоянный поиск препаратов, содержащих в своем составе фунгициды, инсектициды и регуляторы роста. Если не находится такого препарата, то их готовят на местах непосредственно перед применением методом смешивания, но учитывая при этом физико-химические свойства исходных действующих веществ и спектр их действия.

Исследованиями установлено, что протравливание способствовало снижению инфицированности семян озимой пшеницы независимо от состава исходных компонентов в сравнении с контрольным вариантом. Лучше всего семена были защищены, когда применяли многокомпонентную суспензионную форму в виде препарата Селест Топ, КС (тиаметоксам (262,5 г/л) + дифеноконазол (25 г/л) + флудиоксонил (25 г/л)). Эффект против возбудителей заболеваний достигался за счет содержания в препарате 3-х активных веществ, способных подавлять у патогенов функциональные жизненные процессы: дифеноконазол ингибирует образование стерина у грибов, нарушая избирательность клеточных мембран; флудиоксанил аналог природного антибиотика, действует на споры и на проросшие гифы грибов до проникновения в растение; тиаметоксам обладает системным и трансламинарным действием, контактно-кишечным действием, воз действия на почвенных вредителей. Вследствие подавления семенной

инфекции и почвенных вредителей во всех вариантах опыта отмечалось повышение полевой всхожести на 3-12%.

Анализ проростков озимой пшеницы в фазе 4-х листьев в полевых условиях при низком 4%-ном показателе развития болезни показал, что применение препаратов подавляло развитие *Bipolaris sorokiniana* от 1 до 2,7%. Протравливание семян эффективно оздоравливало у растений пшеницы первичные, вторичные корни, coleoptile.

Новые современные протравители обладают высокими обеззараживающим эффектом, так как содержат в своем составе несколько физиологически активных веществ. Исследования показали, что обеззараженные семена суспензионными концентратами препаратов в полевых условиях имели более высокую энергию прорастания и всхожесть, они интенсивнее росли и развивались, более эффективно использовали доступную влагу для формирования продуктивности. Значение исходного качества семян существенно увеличивалось, когда наблюдался недостаток продуктивной влаги в почве, так как различия между растениями с разными стартовыми условиями в этом случае сохранялись вплоть до уборки. Впоследствии это сказалось на урожайности, которая в опыте была высокой. Максимальная урожайность получена на вариантах, где в качестве протравителя применяли препарат Вайбранс Интеграл в норме расхода 2,0 л/т – 7,23 т/га (рис. 1).

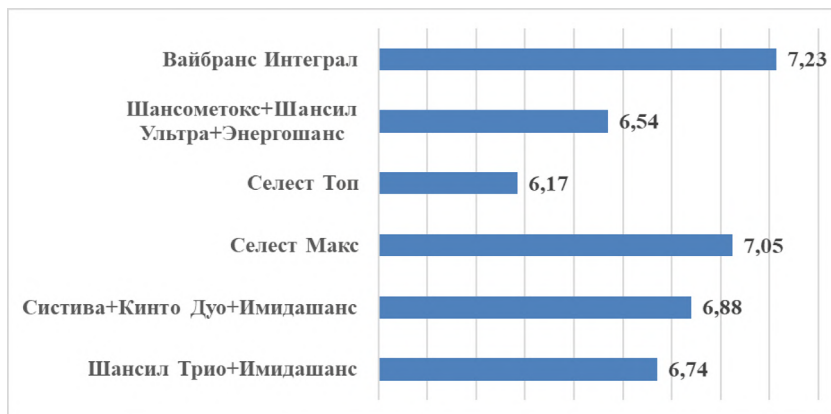


Рис. 1. Влияние обработки семян суспензиями протравителей на урожайность озимой пшеницы, т/га

Превышение к контрольному варианту тиабендазола (60г/л) + тебуконазола (60г/л)+имазалила (40г/л)+имidakлоприда (600 г/л) в виде препа-

ратов Шансил Трио и Имидашанс составило 0,49 т/га (7,3%). Это связано с тем, что помимо защиты посевов от вредных объектов Вайбранс Интеграл увеличивал эффективность азотных удобрений, которые были внесены в виде подкормок в фазу возобновления вегетации (NaNO_3) и в фазу появления флагового листа [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] за счёт того, что корневая система имела мощное развитие, особенно на старте (рис. 2). Присутствие в препарате седаксана в количестве 25 г/л повышает устойчивость посевов к недостатку продуктивной влаги в почве за счет формирования здоровой и разветвленной корневой системы.



Рис. 2. Влияние протравителя Вайбранс Интеграл на развитие корневой системы озимой пшеницы

Несколько меньше зерна было получена от применения комбинированной суспензионной композиции тиаметоксама (125 г/л)+флудиоксонила (25 г/л)+ тебуконазола (15 г/л) в виде препарата Селест Макс (2,0 л/т) –

7,05 т/га. Превышение в сравнении с контрольным вариантом составила 4,6%. На этом варианте был самый высокий коэффициент кустистости, что и положительно повлияло на продуктивность.

Меньше всего зерна было получено на 4 варианте от применения тиа-метоксама (262,5 г/л) + дифеноконазола (25 г/л) + флудиоксонила (25 г/л) в виде препарата Селест Топ (1,5 л/т) – 6,17 т/га. На этом варианте был самый низкий коэффициент кущения (1,46) при одновременно максимальной густоте растений. Применяя препарат Селест Топ для обеззараживания семенного материала озимой пшеницы, следует избегать увеличения нормы посева выше рекомендованной.

Комбинированные суспензионные композиции протравителей семян оказывали влияние не только на количество продукции, но и отразилось их влияние на качество зерна. Ценность зерна пшеницы определялась выходом и качеством муки. Мукомольные свойства зависели от массы 1000 зерен (крупность), натуры зерна, консистенции эндосперма. В крупном, хорошо выполненном зерне меньше оболочек и золы и как итог- выход муки выше, чем при размоле мелкого и щуплого зерна. Масса 1000 зерен в опыте имела колебания в зависимости от изучаемых препаратов (табл. 3). Зерно на всех вариантах было крупное и хорошо выполненное. Наиболее крупное зерно (55,2 г) было на тех вариантах, где обеззараживали семена сложной комбинацией препаратов, включая регулятор роста: шансометокс (1,5 л/т) + шансил ультра (0,12 л/т) + энергошанс (0,2 л/т). На варианте системы (0,75 л/т) + кинто дуо (2,0 л/т) + имидашанс (0,6 л/т) было получено относительно самое мелкое зерно (51,7 г). На других изучаемых вариантах масса 1000 зерен практически не имела различий (53,0-53,3 г).

Зерно со стекловидным эндоспермом при размоле дает больший выход муки, если сравнивать с зерном, имеющим мучнистый эндоспермом. В исследованиях зерно пшеницы имело высокие показатели стекловидности. Установлено, что наиболее сильно выделился вариант с препаратом Вайбранс Интеграл, где стекловидность зерна была самой высокой и составила 84%, превышение над другими с вариантами составило от 12% (ксесмиум (333,3 г/л)+тритиконазол (20 г/л)+прохлораз (60 г/л)+имидаклоприд (600 г/л) до 5% (тиаметоксам (262,5 г/л)+дифеноконазол (25 г/л)+флудиоксонил (25 г/л)+тебуконазол (120 г/л) + энергошанс).

Натура - это один из важнейших показателей качества зерна, с которым сталкиваются производители зерна, покупатели, продавцы зерновой продукции. Этот показатель является обязательным при оценке качества зерновой продукции. Натура зерна в исследованиях варьировала от 802, 6 до 845,0 г/л.

Чем выше натура, тем больше в зерне содержится эндосперма и меньше оболочек, что в итоге скажется на более высоком выходе муки и меньше будет отрубей. Три варианта № 3, №4 и № 5 имели высокие показатели натуры зерна и практически одинаковые - 843, 845 и 842,2 г/л соответственно. Два варианта 1 и 5 характеризовались зерном с более низкой натурой зерна - 816,3 и 815,0 г/л.

Таблица 3.

Влияние обработки семян суспензиями протравителей на качественные показатели зерна озимой пшеницы (за 2020-2021 гг.)

Вариант	Стекло видность, %	Натура зерна, г/л	Масса 1000 зерен, г	Содержание в зерне, %		Показания прибора ИДК, ед
				белок	клейковина	
Вариант 1	73	816,3	53,2	15,53	36,8	70
Вариант 2	72	802,6	51,7	15,79	29,2	57
Вариант 3	77	843,0	53,0	15,18	35,6	67
Вариант 4	80	845,0	53,0	15,77	34,4	50
Вариант 5	79	815,0	55,2	15,43	37,6	66
Вариант 6	84	842,2	53,3	16,07	36,8	57
НСР ₀₅	9	14,3	1,75	0,06	0,17	

Белок и клейковина самые важные технологические свойства зерна, так как они определяют характер назначения пшеницы. В России хлеб выпекают из зерна с содержанием белка 14-15%, для макарон - 17 - 18%. Что ниже вышеуказанных значений - это уже фуражное зерно, которое не пользуется покупательным спросом. Для товаропроизводителя важно вырастить продовольственное зерно с высокими показателями белка и клейковины.

Зерно на всех вариантах изучения было получено только продовольственное с высоким содержанием белка и клейковины. Причем клейковина по показателям прибора ИДК была только I группы и качество ее согласно ГОСТ Р 54478-2011 хорошее [7]. Хорошая клейковина очень важна для хлебопекарной промышленности, так как обладает большой способностью растягиваться в длину и, не разрываясь, оказывать сопротивление растяжению. Показатели, имеющие отношение к технологии хлебопечения, – объемный выход хлеба, отношение высоты подового хлеба к его диаметру, пористость и внешний вид хлеба тем выше, чем больше в зерне пшеницы содержится белка и клейковины. В разрезе по вариантам зерно с максимальным содержанием клейковины (37,6%) было получено на 5 варианте, где применяли комбинированную суспензионную композицию на основе тиаметоксама (262,5 г/л)+ дифеноконазола (25 г/л) +флудиоксонила (25 г/л)+ тебуконазола (120 г/л)+э-

нергошанса. Такое сочетание веществ способствовало значительному повышению качества продовольственной пшеницы. Особенно сильное влияние на качество зерна оказал препарат энергошанс в составе которого содержались питательные вещества в виде азота 60 г/л, фосфора 25 г/л, калия 60 г/л, экстракта морских водорослей с микроэлементами 200 г/л, а также в этом препарате присутствовала альгиновая кислота 10 г/л. Альгиновая кислота за счет удержания воды в корнях, повышала устойчивость растений к засухе, переувлажнению и лучшему усвоению других элементов питания из почвы.

Меньше всего клейковины (29,2%) было в зерне, когда протравливали семена пшеницы композицией на основе ксемиума (333,3 г/л) + тритико-назола (20 г/л) + прохлораза (60 г/л) + имидаклоприда (600 г/л). На других вариантах содержание сырой клейковины варьировало в диапазоне от 34,4% (вариант 4) до 36,8% (варианты 6 и 1).

В настоящее время при реализации зерна на экспорт учитывают содержание белка, а не клейковины. Количество клейковины в зерне пшеницы связано с содержанием белка, между ними была тесная корреляционная связь ($r=0,90-0,98$). Исследованиями установлено, что максимальное содержание белка было на вариантах с суспензионной многокомпонентной композицией тиаметоксама (175 г/л)+седаксана (25 г/л)+флудиоксонила (25 г/л)+тебуконазола (10 г/л), содержащейся в препарате Вайбранс Интеграл – 16,07%. На других вариантах этот показатель имел вариацию от 15,18 до 15,79%, что также хорошо. Белковость зерна, несмотря на большую изменчивость, - генетически обусловленный сортовой признак. Но если у одного и того же сорта, выращенного в одинаковых условиях, накапливается различное количество белков, то на это оказали влияние изучаемые наши препараты.

Заключение

Комбинированные суспензионные композиции, приготовленные методами жидкофазного механического смешивания на основе фунгицидов дифеноконазола, тебуконазола, имазалила, флудиоксонила, тиabendазола, прохлораза и инсектицидов тиаметоксама, имидаклоприда, биостимулятора растений энергошанса, проявили широкий диапазон биологической активности в полевых экспериментах. Анализ основных показателей качества конечной продукции (натура зерна, количество белка и клейковины, стекловидность, качество клейковины) от фунгицидного и инсектицидного воздействия на фитосанитарное состояние посевов показал, что защитным воздействием обладали все изучаемые препараты. Они обеззараживали семена озимой пшеницы от семенной и почвенной патологии и вредных насекомых раннего периода раз-

вития растений. Установили, что для эффективного протравливания семян озимой пшеницы лучше всего применять препараты инсектофунгицидного назначения, содержащие в своем составе несколько компонентов различных химических классов. Выявили, что наилучшие показатели по продуктивности (7,23 т/га) и качеству зерна были получены от применения четырехкомпонентного инсектофунгицида на основе тиаметоксама (175 г/л)+седаксана (25 г/л)+флудиоксонила (25 г/л)+тебуконазола (10 г/л), (препарат Вайбранс Интеграл) в норме расхода 2л/т. Применение этой комбинированной суспензионной композиции обеспечивало особенно высокое содержание белка (16,07%) и клейковины (36,8%) I группы качества в зерне.

Определили, что самая низкая урожайность (6,17 т/га) была получена от применения суспензионной композиции на основе тиаметоксама (262,5 г/л) + дифеноконазола (25 г/л) + флудиоксонила (25 г/л) (Селест Топ) в норме расхода 1,5 л/т, но зерно было высокого качества. Все другие протравители семян занимали промежуточное положение между вышеназванными препаратами.

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

Список литературы

1. Бурлакова С.В., Власенко Н.Г., Халиков С.С. Оценка влияния препаративных форм протравителей семян на основе триазолов на физиологические особенности всходов яров й пшеницы // Агрохимия. 2019. № 11. С. 27-32. <https://doi.org/10.1134/S000218811911005X>
2. Бурлакова С.В., Власенко Н. Г., Чкаников Н. Д., Халиков С. С. Влияние многокомпонентных протравителей на зараженность фитопатогенами посевного материала и фитоценоз яровой пшеницы // Агрохимия. 2020. №2. С. 72-75. <https://doi.org/10.31857/S000218812005004X>
3. Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Метелева Е.С., Поляков Н.Э., Халиков С.С., Душкин А.В. Эффективный препарат для предпосевной обработки зерновых культур на основе комплексов тебуконазола с полисахаридами ламинарии // Успехи современного естествознания. 2017. № 12. С. 28–37.
4. Говоров Д.Н., Живых А.В., Щетинин П.Б. Фитоэкспертиза и предпосевная обработка семян - важнейшие приемы технологии возделывания зерновых// Защита и карантин растений. 2018. № 8. С. 12-13.
5. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. Ч. I. Пестициды. Ч. II. Агрохимикаты (официальное издание). Информация приведена по со-

- стоянию на 8 февраля 2021 г. Москва, 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mscx.ru> (дата обращения: 15.03.2021).
6. ГОСТ Р 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. М.: Стандартиформ, 2011. 55 с.
 7. ГОСТ Р 54478-2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. М.: Стандартиформ, 2012. 20 с.
 8. Гулидова В.А. Ресурсосберегающая технология озимой пшеницы. Липецк: ООО «Центр полиграфии», 2006. 400 с.
 9. Гулидова В.А. Инфицированные семена сельскохозяйственных культур и их защита: монография. Елец: Елецкий гос. ун-т им. И. А. Бунина, 2010. 281 с.
 10. Гулидова В.А. Оптимизация фитосанитарного состояния посевов озимой пшеницы. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2020. 277 с.
 11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. М.: Альянс, 2011. 351 с.
 12. Корсукова А.В., Боровик О.А., Грабельных О.И., Дорофеев Н.В., Побежилова Т.П., Войников В.К. Повышение холодостойкости проростков яровой пшеницы при обработке семян тебуконазолом // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2015. № 4 (15). С. 30-36.
 13. Липчинская Р.А. Фитоэкспертиза - важнейший элемент семенного контроля // Защита и карантин растений. 2021. № 2. С. 3-4.
 14. Федотов В.А. Озимая мягкая пшеница в Центральном Черноземье России: монография. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», 2016. 415 с.
 15. Халиков С.С., Теплякова О.И., Власенко Н.Г. Влияние препаративных форм тебуконазола на фитосанитарное состояние обработанных семян, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы // Агрохимия. 2022. № 2. С. 45-55. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020065>
 16. Edgington L.V., Martin R.A., Bruin G.C., Parsons I.M. Systemic fungicides: a perspective after 10 years // Plant Disease. 1980. Vol. 64 (1). P. 20-23.
 17. Forsberg G., Kristensen L., Eibel P., Titone P., Haiti W. Sensitivity of cereal seeds to short duration treatment with hot, humid air // J. Plant Disease Protect. 2003. Vol. 110 (1). P. 1-16.
 18. Gulidova V.A., Shchuchka R. V. New preparations for winter wheat seeds protection // WSEAS Transactions on Environment and Development. 2021. Vol. 17. P. 630-635. <https://doi.org/10.37394/232015.2021.17.61>

19. Schroeder K.L., Paulitz T.C. Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding // *Plant Disease*. 2006. Vol. 90. P. 1247-1253.
20. Shchuchka R.V., Gulidova V.A. Methods and results of spring barley plants treatment with growth biostimulants // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Krasnoyarsk, 18-20 ноября 2020 года. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. №. 22103. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022103>

Referenses

1. Burlakova S.V., Vlasenko N.G., Khalikov S.S. Evaluation of the effect of preparative forms of seed dressing based on triazoles on the physiological characteristics of seedlings of spring wheat. *Agrochemistry*, 2019, no. 11, pp. 27-32. <https://doi.org/10.1134/S000218811911005X>
2. Burlakova S. V., Vlasenko N. G., Chkanikov N. D., Khalikov S. C. Effect of multi-component dressing agents on phytopathogen infestation of seed and phytocenosis of spring wheat. *Agrochemistry*, 2020, no. 2, pp. 72-75. <https://doi.org/10.31857/S000218812005004X>
3. Vlasenko N.G., Teplyakova O.I., Meteleva E.S., Polyakov N.E., Khalikov S.S., Dushkin A.V. Effective preparation for pre-sowing treatment of cereal crops based on complexes of tebuconazole with polysaccharides of kelp. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2017, no. 12, pp. 28-37.
4. Govorov D.N., Zhivykh A.V., Shchetinin P.B. Phytoexpertise and pre-sowing seed treatment - the most important techniques of grain cultivation technology. *Plant Protection and Quarantine*, 2018, no. 8, pp. 12-13.
5. State catalog of pesticides and agrochemicals authorized for use on the territory of the Russian Federation. PART I. Pesticides. Part II. Agrochemicals (official edition). Information is given as of February 8, 2021 Moscow, 2021. <http://www.mcx.ru> (accessed 15.03.2021).
6. GOST R 12044-93. Seeds of agricultural crops. Methods of determination of disease infestation. Moscow: Standardinform, 2011, 55 p.
7. GOST R 54478-2011. Grain. Methods for determining the quantity and quality of gluten in wheat. Moscow: Standardinform, 2012, 20 p.
8. Gulidova V.A. Resource-saving technology of winter wheat. Lipetsk: LLC "Center of Polygraphy", 2006, 400 p.
9. Gulidova V.A. Infected seeds of agricultural crops and their protection: monograph. Elets: Elets State University named after I.A. Bunin, 2010, 281 p.
10. Gulidova V.A. Optimization of phytosanitary condition of winter wheat crops. Elets: Elets State University named after I.A. Bunin, 2020, 277 p.

11. Dospekhov B.A. Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results): textbook for students of higher agricultural educational institutions in agronomic specialties. Moscow: Alliance, 2011, 351 p.
12. Korsukova AV, Borovik OA, Grabelnykh OI, Dorofeev NV, Pobezhimova TP, Voynikov V.K. Increase in cold resistance of spring wheat seedlings in the treatment of seeds tebuconazole. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiyay*, 2015, no. 4 (15), pp. 30-36.
13. Lipchinskaya R.A. Phytoexpertiza - the most important element of seed control. *Plant Protection and Quarantine*, 2021, no. 2, pp. 3-4.
14. Fedotov V.A. Winter soft wheat in the Central Black Earth Region of Russia: monograph. Voronezh: Voronezh GAU, 2016, 415 p.
15. Khalikov S.S., Teplyakova O.I., Vlasenko N.G. Effect of preparative forms of tebuconazole on the phytosanitary condition of treated seeds, growth and development of spring soft wheat seedlings. *Agrochemistry*, 2022, no. 2, pp. 45-55. <https://doi.org/10.31857/S0002188122020065>
16. Edgington L.V., Martin R.A., Bruin G.C., Parsons I.M. Systemic fungicides: a perspective after 10 years. *Plant Disease*, 1980, vol. 64 (1), pp. 20-23.
17. Forsberg G., Kristensen L., Eibel P., Titone P., Haiti W. Sensitivity of cereal seeds to short duration treatment with hot, humid air. *J. Plant Disease Protect*, 2003, vol. 110 (1), pp. 1-16.
18. Gulidova V.A., Shchuchka R. V. New preparations for winter wheat seeds protection. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2021, vol. 17, pp. 630-635. <https://doi.org/10.37394/232015.2021.17.61>
19. Schroeder K.L., Paulitz T.C. Root Diseases of Wheat and Barley During the Transition from Conventional Tillage to Direct Seeding. *Plant Disease*, 2006, vol. 90, pp. 1247-1253.
20. Shchuchka R.V., Gulidova V.A. Methods and results of spring barley plants treatment with growth biostimulants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Krasnoyarsk, November 18-20, 2020. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. №. 22103. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022103>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гулидова Валентина Андреевна, заслуженный работник сельского хозяйства РФ, 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, Липецкая область, 399770, Российская
Федерация
Guli49@yandex.ru*

Щучка Роман Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
кафедры «Агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяй-
ственной продукции»

*ФГБОУ ВО Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, Липецкая область, 399770, Российская
Федерация
Romanelez@yandex.ru*

Зубкова Татьяна Владимировна, кандидат с сельскохозяйственных наук,
зав. кафедрой «Агротехнологий, хранения и переработки сельско-
хозяйственной продукции»

*ФГБОУ ВО Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, Липецкая область, 399770, Российская
Федерация
zubkovatanua@yandex.ru*

Захаров Вячеслав Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, про-
фессор кафедры «Агротехнологий, хранения и переработки сель-
скохозяйственной продукции»

*ФГБОУ ВО Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, Липецкая область, 399770, Российская
Федерация
zaharov7979@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina A. Gulidova, Honored Worker of Agriculture of the Russian Fed-
eration, 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, Lipetsk region, 399770, Russian Federation
Guli49@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7585-0956>
Scopus Author ID: 57131091400*

Roman V. Shchuchka, Candidate of Agricultural Sciences, Associate 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, Lipetsk region, 399770, Russian Federation

Romanelez@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1011-5413>

Scopus Author ID: 57208116311

Tatyana V. Zubkova, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of Agricultural Products

Yelets State University named after I.A. Bunin

28, Kommunarov Str., Yelets, Lipetsk region, 399770, Russian Federation

zubkovatanua@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3525-488X>

Vyacheslav L. Zakharov, Doctor of Agricultural Sciences, 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, Lipetsk region, 399770, Russian Federation

zaxarov7979@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4891-658X>

Поступила 10.10.2023

После рецензирования 15.11.2023

Принята 20.11.2023

Received 10.10.2023

Revised 15.11.2023

Accepted 20.11.2023

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-855

УДК 631,11:632



Научная статья

ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА В СУХОМ КЛИМАТЕ
НИЖНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА РОССИИ*А.В. Солонкин, Е.П. Сухарева, А.В. Беликина*

Обоснование. Выращивание яровой пшеницы в засушливых условиях сложная задача из-за биологических особенностей культуры.

Цель исследования. Определить наиболее адаптивные сорта яровой пшеницы с высокой урожайностью и хорошим качеством для выращивания в сухом климате Нижневолжского региона России.

Материалы и методы. Для достижения цели было проведено экологическое испытание сортов яровой пшеницы, результаты обработаны методом дисперсионного анализа. Анализ способностей адаптации сортов к местным природно-климатическим условиям проведен с использованием коэффициента адаптивности, стрессоустойчивости и компенсаторной способности сортов. График построен и проведена статистическая обработка данных в программе Microsoft Excel 2008.

Результаты. Установлено, что в среднем за три года исследований высокая урожайность у яровой пшеницы была у сортов: Саратовская 73 – 1,65 т/га, Камышинская 3 – 1,32 т/га, Безенчукская 205 – 1,4 т/га. Обработка данных урожая дисперсионным анализом, позволила определить, что на валовые сборы культуры на 42,0% влияют метеорологические условия, выбор сорта около 19,7%, агротехнологические и другие факторы среды 38,2%.

Наиболее стрессоустойчивыми сортами являются: Зинаида - 0,06 т/га, Камышинская 3 - 0,24 т/га, Альбидум 188 - 0,24. Высокую генетическую гибкость в условиях региона имеют сорта: Саратовская 73 - 1,72 т/га, Безенчукская 205 - 1,5 т/га и Камышинская 3 по 1,32 т/га. Наиболее отзывчивые на изменение условий роста культуры у сортов яровой пшеницы Безенчукской

205 -0,12, на втором месте Добрыня -0,14, на третьем Альбидум, Камышинская 3 - 0,15. Коэффициент адаптивности выше 1 у сортов Альбидум 188, Камышинская3, Саратовская 73, Прохорова, Зинаида.

Заключение. По урожайности, стрессоустойчивости, генетической приспособленности к сухому климату выделяются сорта Саратовская 73 и Камышинская 3.

Ключевые слова: яровая пшеница; урожайность; метеорологические условия; адаптивность; пластичность

Для цитирования. Солонкин А.В., Сухарева Е.П., Беликина А.В. Яровая пшеница в сухом климате Нижневолжского региона России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 393-411. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-855

Original article

SPRING WHEAT IN THE DRY CLIMATE OF THE LOWER VOLGA REGION OF RUSSIA

A.V. Solonkin, E.P. Sukhareva, A.V. Belikina

Background. The growing of spring wheat in arid conditions is a difficult task because the biological characteristics of the crop and its demands on moisture reserves. The need for sowing spring wheat in the spring is dictated by the possible death of winter grains in winter.

Purpose. To determine the most adaptive varieties of spring wheat with high yield and good quality for cultivation in the dry climate of the Lower Volga region of Russia.

Methods. To achieve this goal, an environmental test of spring wheat varieties was carried out by us; the harvest results were processed by analysis of variance. To characterize weather conditions, the hydrothermal coefficient was calculated according to T.G. Selyaninov. An analysis of the ability of varieties to adapt to local climatic conditions was carried out using the coefficient of adaptability, stress resistance and compensatory ability of varieties. The graph was constructed and statistical data processing was carried out in Microsoft Excel 2008.

Result. As a result of the research work, it was established that on average over three years of research, the highest yield of spring wheat was in the following varieties: Saratovskaya 73 -1.65 t/ha, Kamyshinskaya 3 - 1.32 t/ha, Bezenchukskaya 205 - 1, 4 t/ha. Processing of spring wheat harvest data are used by dispersion analysis made it possible to determine that the gross harvest of the

crop is largely influenced by meteorological conditions, up to 42.0%, the choice of variety is about 19.7%, and agrotechnological and other environmental factors are 38.2%. It can be noted that spring soft wheat in the conditions of the Lower Volga region is capable of producing grain yields of good quality with large grains from 31.2 to 36.4 g of 1000 grains.

Analysis of indicators of the level of resistance to drought conditions shows that the most stress-resistant varieties are: Zinaida - 0.06 t/ha, Kamyshinskaya 3 - 0.24 t/ha, Albidum 188 - 0.24. The varieties that have the highest genetic flexibility in the conditions of the Lower Volga region are: Saratovskaya 73 - 1.72 t/ha, Bezenchukskaya 205 - 1.5 t/ha and Kamyshinskaya 3 - 1.32 t/ha. The spring wheat varieties Bezenchukskaya 205 have the highest responsiveness to changes in crop growth conditions - 0.12, Dobrynya is in second place - 0.14, Albidum is in third place, Kamyshinskaya 3 - 0.15. The adaptability coefficient is higher than 1 in the varieties Albidum 188, Kamyshinskaya 3, Saratovskaya 73, Prokhorovka, Zinaida.

Conclusion. *The varieties Saratovskaya 73 and Kamyshinskaya 3 are distinguished by yield, stress tolerance, genetic adaptability to dry climate.*

Keywords: *spring wheat; productivity; meteorological conditions; adaptability; plasticity*

For citation. *Solonkin A.V., Sukhareva E.P., Belikina A.V. Spring Wheat in the Dry Climate of the Lower Volga Region of Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 393-411. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-855*

Введение

Посевы яровой пшеницы в мире расположены на всех континентах. Первенство по производству зерна яровой пшеницы держит Российская Федерация. Сеют яровую пшеницу как страховую культуру в тех местностях, где посевы озимой пшеницы могут повредиться из-за неблагоприятных погодных условий, и сбор зерна будет под угрозой. Её посевы сосредоточены в Нечерноземной зоне, Западной и Восточной Сибири, Поволжье, на Урале [16]. Всего в России расположено 131,1 га, из них в Южном Федеральном округе – 157,01 га, в Волгоградской области – 132,31 га.

В Нижневолжском регионе выращивают для получения зерна яровую мягкую пшеницу на черноземных и каштановых почвах [1, 16]. Сложность ее выращивания связана с биологическими особенностями. Яровая пшеница – влаголюбивая культура, поэтому в засушливой зоне для ее успешного выращивания рекомендуется начинать полевые работы в более ранние сроки, пока содержание весенней влаги позволяет провести сев и получить всходы.

В Нижневолжском регионе, а именно в Волгоградской области, ведется селекционная работа по выведению сортов, пригодных для выращивания в засушливом климате. Всего за годы селекционной работы получено три сорта: Камышинская 3, Зинаида и Фурор. Сорт яровой пшеницы Камышинская 3 допущен к использованию и включен в Государственный реестр [2]. В связи с участвовавшими неблагоприятными погодными условиями, все чаще возникают повреждения посевов озимой пшеницы и весной необходим пересев, поэтому возникла необходимость изыскания сортов яровой пшеницы, которые пригодны для произрастания в сухом климате. Поэтому, было проведено экологическое испытание сортов яровой пшеницы для поиска ответа на поставленный вопрос.

Цель исследования – определить наиболее адаптивные сорта яровой пшеницы с высокой урожайностью и хорошим качеством для выращивания в сухом климате Нижневолжского региона России.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели было проведено экологическое испытание набора сортов яровой пшеницы, которое проводилось в течение 3-х лет с 2020 по 2022 г., проанализированы результаты и определить наиболее пригодные для выращивания в сухом климате Нижневолжского региона. Сорта яровой пшеницы были высеяны блоками в три яруса, так как повторность в исследовании трехкратная, в соответствии с методикой полевого опыта. Всего 18 делянок, длина которых составила 100 м, ширина 7,2 м. [6, 17]. Собранный урожай семян яровой пшеницы был предназначен для семенных целей товаропроизводителям региона. Семена очищались с использованием семяочистительной машины «Петкус».

Изучение сортов яровой мягкой пшеницы проводилось на полях Камышинского опытного участка ФНЦ агроэкологии РАН, земельные угодья которого расположены в правобережной сухостепной зоне Нижнего Поволжья выше 150 м уровня моря, географические координаты 50°01'39" с. ш. 45°07'39" в. д. Участок, предназначенный для экологического испытания сортов, расположен в зоне континентального климата с теплым летом, продолжительностью около 145 дней. Зимний период длится около 135-136 дней, продолжительность весны 44 дня, осени 40 дней [18]. В летний период температура воздуха достигает +45°C, а зимой – 41°C. Среднегодовое количество осадков 280-300 мм. В зимний период возможна гибель или повреждение озимых хлебов из-за оттепелей и резкого похолодания,

образования ледяной корки, вымокания и выпревания посевов. Летом, с повышением температуры воздуха возможны засухи и суховеи [10]. В год испытания число суховейных явлений в июне-июле составило 14 дней. На участке почвы каштановые, суглинистые, слабосолонцеватые с содержанием гумуса в слое 0-30 см – 1,6%.

Результаты экологического испытания сортов яровой пшеницы будут актуальны при пересеве. Агротехника в опытах общепринятая в полевых работах с яровой пшеницей в засушливых регионах [3].

Гидротермический коэффициент (ГТК) был определен по формуле Селянинова Г.Т. (1):

$$\text{ГТК} = \frac{r}{0.1 * \sum t > 10}, \quad (1)$$

где r – сумма осадков, мм;

$t > 10$ – сумма положительных температур.

Анализ способности к адаптации сортов к местным природно-климатическим условиям проведен с использованием коэффициента адаптивности, который определен делением общей видовой реакции отдельных сортов на их количество по методике Животкова и др. [7]. Если коэффициент адаптивности превышает 100%, то считается, что рассматриваемый сорт является потенциально адаптивным.

$$\text{КА} = Y_{ij} * 100 / Y_j, \quad (2)$$

где Y_{ij} – 1000 зерен i -го сорта в j -й год испытания;

Y_j – среднесортная масса 1000 зерен за год.

Стрессоустойчивую способность сортов устанавливали по А.А. Rossielle и S. Hemblin [20] в изложении А.А. Гончаренко [4] и П.Н. Николаева [15]:

$$\text{Устойчивость к стрессу} = Y_{\max} - Y_{\min}, \quad (3)$$

где $Y_{\max}$ и $Y_{\min}$ – максимальная и минимальная урожайность сорта

Компенсаторная способность сорта

$$(Y_{\max} + Y_{\min}) / 2, \quad (4)$$

где $Y_{\max}$ и $Y_{\min}$ – максимальная и минимальная урожайность сорта

В период вегетации яровой пшеницы велись фенологические наблюдения за развитием растений в посевах. Данные о погодных условиях были получены с метеорологического поста, установленного вблизи участка. Данные об урожае были обработаны с помощью дисперсионного анализа [6]. График построен и проведена статистическая обработка данных в программе Microsoft Excel 2008.

Результаты

Научные исследования ученых в Волгоградской области, посвященные культивации яровой пшеницы, представлены селекционными работами по выведению яровой пшеницы [2, 8]. Всего с 70-х годов прошлого столетия получено три сорта яровой пшеницы. Наибольшее распространение в посевах Нижневолжского региона получил сорт Камышинская 3 [8, 14]. Исследования ученых в сухом климате в выращивании яровой пшеницы представлены научными результатами: Иванченко Т.В. посвятила исследования по выращиванию яровой пшеницы с использованием химических и биологических препаратов в защите растений от болезней [11]. Туманян А.Ф. в исследованиях рассматривают возможность выращивания яровой пшеницы на орошаемых землях в острозасушливом климате Астраханской области России [19]. Ученые Центрально-Черноземной зоны России, проводят исследования по испытанию сортов яровой пшеницы, которые пригодны к произрастанию в связи с участвовавшими засушливыми явлениями в регионе [5, 13]. О потенциальной продуктивности сортов, сделан вывод на основе исследований об их адаптивности в публикациях Якушева В.П., Юсовой О.А., Кочетова А.А., Драговцева В.А, Рыбась И.А., Николаева П.Н. [12, 14, 15, 18], которые предлагают оценивать сорта с использованием коэффициентов адаптивности и стрессоустойчивости.

Для оценки сортов яровой пшеницы в сухом климате Нижневолжского региона России было проведено экологическое испытание. Результаты проведенного экологического испытания в 2020-2022 гг. для их оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты экологического испытания сортов яровой пшеницы по урожайности в 2020-2022 гг.

№ позиции	Название сорта, год районирования	Разновидность	Урожайность, т/га			Средняя урожайность, 2020-2022 гг.
			2020	2021	2022	
1	Альбидум 188	альбидум	1,04	1,22	1,28	1,18
2	Зинаида	альбидум	1,29	1,27	1,33	1,29
3	Саратовская 73	грекум	1,14	1,52	2,3	1,65
4	Прохоровка	лютесценс	1,2	0,98	1,65	1,27
5	Добрыня	лютесценс	0,82	1,23	1,47	1,17
6	Каьшинская 3	альбидум	1,44	1,2	1,33	1,32
7	Безенчукская 205	гордеи-форме	0,89	1,23	2,08	1,4

Среднее значение урожайности яровой пшеницы в испытании имела значения от 1,04 до 1,65 т/га (рис. 1). Самая высокая средняя урожайность за три года испытания у сорта яровой пшеницы Саратовская 73 1,65 т/га, происхождение грекум (селекционный центр ФГБНУ НИИИСХ Юго-востока, г. Саратов), по сравнению со стандартным сортом на 0,25 т/га выше.



Рис. 1. Средняя урожайность сортов яровой пшеницы в экологическом испытании 2020-2022 гг., т/га в ФНЦ агроэкологии РАН.

Низкая урожайность в испытании у сорта Добрыня, происхождение лютеценс (селекционный центр ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока») – 1,17 т/га, на 0,23 т/га меньше стандарта. Урожай сортов местной селекции: средняя урожайность за три года в испытании: Камышинская 3 – 1,32, Зинаида – 1,19 т/га, их урожайность ниже урожайности стандартного сорта на 0,11 т/га и 0,08 т/га соответственно.

Сведения о хозяйственно-полезных признаках и показателях качества зерна яровой мягкой пшеницы предоставлены в таблице 2.

Можно отметить, что яровая мягкая пшеница в условиях Нижневолжского региона способна формировать урожаи зерна хорошего качества с крупным зерном от 31,2 до 36,4 г массы 1000 зерен.

Таблица 2.

**Хозяйственно-полезные признаки и показатели качества зерна
яровой мягкой пшеницы урожая 2020-2022 г.**

Сорт	Селекционный центр	Продуктивная кустистость, шт	Число зерен в колосе, шт	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %
Альбидум 188	Федеральный Аграрный Научный Центр Юго-Востока	1,61	21,6	1,17	31,2	16,3	30,9
Камышинская 3	ФНЦ агроэкологии РАН	1,5	20,8	1,06	33,3	14,9	29,9
Саратовская 73	Федеральный Аграрный Научный Центр Юго-Востока	1,39	18,6	1,01	36,4	15,1	29,1
Прохоровка	Ершовская ОСОЗ НИИСХ Юго-Востока	1,32	24,7	1,0	32,0	15,2	27,7
Добрыня	Федеральный Аграрный Научный Центр Юго-Востока	1,46	20,3	1,02	35,0	15,1	31,1
Зинаида	ФНЦ агроэкологии РАН	1,48	20,1	1,11	33,1	15,0	30,2
Безенчукская 205 St	Федеральный Аграрный Научный Центр Юго-Востока	1,45	21,2	1,07	34,2	15,1	29,6

Анализ морфологического строения растений яровой пшеницы, позволил определить, что сорта Зинаида, Добрыня, Камышинская 3, Альбидум 188 превосходили стандартный сорт Безенчукская 205 более, чем на 10%; по числу зерен в колосе превышали стандартный сорт Прохоровка и Альбидум 188 до 16%.

Результаты по качеству зерна яровой мягкой пшеницы представлены в таблице 3, где можно увидеть, что самая высокая массовая доля сырой клейковины у сорта Альбидум 188 -30,9%, белок 16,3%, полученное зерно можно отнести к 1 классу. Зерно остальных испытываемых сортов можно

отности к 2 классу (ГОСТ 9353-2016): содержание белка от 14,9-15,2%, клейковины 27,7-31,1%.

Разобраться в сортах, их перспективе выращивания в Нижневолжском регионе, помогут показатели их адаптивности (табл. 4).

Экологическая пластичность генотипов, отражается в показателе стрессоустойчивости, который показывает разницу между минимальным и максимальным показателем урожайности яровой пшеницы (табл. 3).

Таблица 3.

**Показатели уровня устойчивости к экстремальным условиям
Нижневолжского региона сортов яровой мягкой пшеницы, 2020-2022 гг.**

Сорт	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$	b_i	КА
Альбидум 188	-0.24	1.16	-0,15	1,8
Зинаида	-0.06	1.3	-0,16	1,5
Саратовская 73	-1,16	1.72	-0,2	1,3
Прохоровка	-0.45	1.32	-0,16	1,5
Добрыня	-0.65	1.15	-0,14	1
Камышинская 3	-0.24	1.32	-0,15	1,5
Безенчукская 205, St	-1.19	1.5	-0,12	99,7

Показатель стрессоустойчивости $Y_{\min} - Y_{\max}$ показывает разность минимальной и максимальной урожайности в годы исследований, чем меньше показатель, тем выше стрессоустойчивость сорта и шире диапазон приспособляемости к окружающей среде. В наших исследованиях наиболее стрессоустойчивыми сортами были: Зинаида - 0,06 т/га, Камышинская 3 - 0,24 т/га, Альбидум 188 - 0,24.

Компенсаторная способность сортов характеризует генетическую гибкость испытываемых сортов. Чем выше степень соответствия между генотипом сорта и факторами окружающей растению среды, тем выше показатель компенсаторной способности. В нашем исследовании более высокую генетическую гибкость в условиях Нижневолжского региона, имели сорта: Саратовская 73 - 1,72 т/га, Безенчукская 205 - 1,5 т/га и Камышинская 3 по 1,32 т/га.

Показатель отзывчивости сортов на изменение условий b_i . Коэффициент регрессии по результатам испытания изменялся от -0,16 до -0,2, Самый высокий коэффициент у Безенчукской 205 -0,12, на втором месте Добрыня -0,14, на третьем Альбидум, Камышинская 3 -0,15. Перечисленные сорта более приспособлены к окружающим условиям среды, но при улучшении агротехнических условий, урожай сортов будет выше.

Коэффициент адаптивности выше 1 у сортов Альбидум 188, Камышинская 3, Саратовская 73, Прохоровка, Зинаида, эти сорта отмечены способностью приспосабливаться к экстремальным условиям среды в сухом климате Нижневолжского региона и давать урожаи зерна яровой пшеницы.

Таким образом, по итогам анализа адаптивной способности сортов, наиболее приспособленные к засушливому климату являются Камышинская 3, Зинаида, Безенчукская 205, Альбидум 188, Добрыня, Саратовская 73.

Обсуждения

Погодные условия всего периода вегетации яровой пшеницы можно охарактеризовать как обеспеченные осадками. Гидротермические коэффициенты имели значения в период вегетации яровой культуры от 1,9 до 2,9 в степной зоне каштановых почв. Посев производился при наступлении физической спелости почвы, в третьей декаде апреля, всходы получали в первой декаде мая во всех годах испытания сортов. Полевая всхожесть составляла 80-90%.

Для посевов в экологическом испытании были отведены поля с чистыми парами. На опытном участке проводилась безотвальная обработка почвы в предыдущем году на глубину 20-22 см в конце августа - начале сентября. Доказано, что такой способ для выращивания яровой пшеницы самый эффективный и экономически выгодный в Нижневолжском регионе. Предпосевная обработка почвы решает задачу максимального сохранения весенних влагозапасов и обеспечения возможности посева в оптимально ранние, сжатые сроки. Весной – покровное боронование в два следа и предпосевная культивация. Посев – ранний, по мере наступления физической спелости почвы на глубину 6-8 см, дисковой сеялкой СЗ-3,6. Норма высева семян 3,5 млн. шт./га. Азотные удобрения были внесены под предпосевную культивацию в количестве 30-40 кг/га. Метеорологические условия представлены на рис. 2.

Метеорологические условия в период проведения экологического испытания сортов яровой пшеницы отличались обеспеченностью осадками рис. 1. Гидротермический коэффициент в период вегетации яровой пшеницы изменялся от 1,9 до 2,9. Период посев – всходы – кущение, апрель-май были обеспечены влагой за счет осадков для успешного достижения растениями выхода в трубку.

Обработав результаты экологического испытания сортов яровой пшеницы, методом дисперсионного анализа в программе Microsoft Excel 8, обобщим результаты в таблице 4.

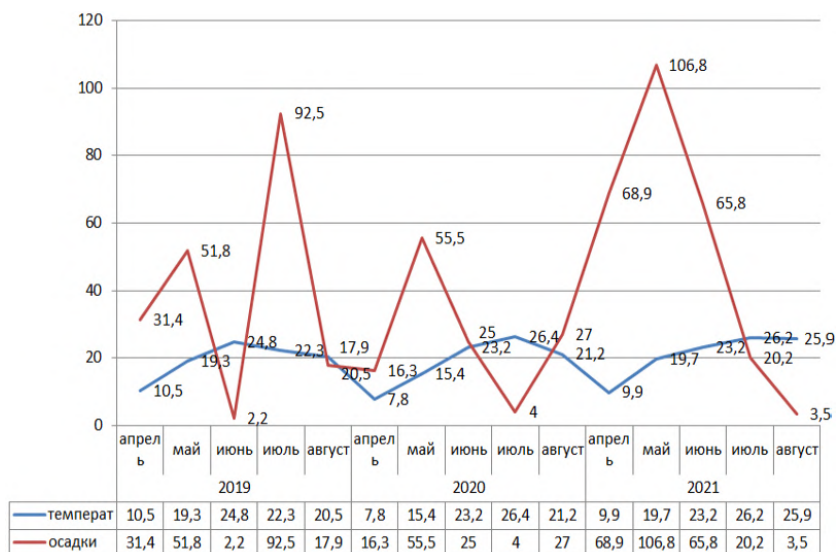


Рис. 2. Метеорологические условия выращивания яровой пшеницы в экологическом испытании 2020-2022 гг.

Таблица 4.

Результаты дисперсионного анализа урожайности сортов яровой пшеницы в экологическом испытании 2020-2022 гг. (ФНЦ агроэкологии РАН)

Вариант	Доля влияния фактора, %	Степень свободы (df)	Средний квадрат (ms)	Критерий Фишера (F)
Фактор А (сорт)	19,7	6	0,08024127	1,030233245
Фактор В (метеорологические условия)	42,0	2	0,51374762	6,596105444
Случайные отклонения	38,2	12	0,07788651	-

В результате анализа урожайности в экологическом испытании, определено, что фактор А (сорт) яровой пшеницы не значим, т.к. F при $p > 0,05$. Фактор Б (метеорологические условия) достоверно значимы, т.к. $p < 0,05$. Фактор А (сорт) на результаты опыта оказывает 19,7%, фактор метеорологических условий Б влияние на результаты урожайности около 42%. На случайные отклонения (удобрения, защита растений, технические условия и пр.) приходится 32%.

Итак, можно заключить, что в Нижневолжском регионе по итогам экологического испытания сортов яровой мягкой пшеницы, способны фор-

мировать высокие урожаи, на валовые сборы которых в большей степени до 42,0% оказывают влияние метеорологические условия.

Заключение

Проведенное экологическое испытание в 2020-2022 гг. сортов яровой пшеницы селекционных центров юга России, позволило сделать вывод о влиянии окружающих условий на её произрастание. Дисперсионным анализом установлено, что на урожайность яровой пшеницы влияют на 42% метеорологические условия, сорт 19,7%, агротехнологические и другие факторы – 38,2%. В результате проведенной работы можно выделить сорта с высокой урожайностью и хорошим качеством, имеющие высокие показатели адаптивности: Саратовская 73, Альбидум, Безенчукская 205 и сорт местной селекции Каышинская 3.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФНЦ агроэкологии РАН Регистрационный номер 122020100448-6 «Создание новых конкурентноспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Балакшина В.И. Особенности выращивания яровой пшеницы в условиях сухостепной зоны Волгоградской области // Пермский аграрный вестник. 2016. №2 (14). С. 4-9.
2. Беляев А.И., Пугачева А.М., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Питоня А.А., Питоня В.Н., Игольникова Л.В., Кулешов А.М., Маркова И.Н., Шатрыкин А.В., Шарко Н.С., Неймышева А.Н., Смутнев П.А., Сухарева Е.П. Каталог селекционных достижений ФНЦ агроэкологии РАН. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 72 с.
3. Беляков А.М., Солонкин А.В., Бабаян Л.А. и др. Региональная адаптивно-ландшафтная система земледелия Нижнего Поволжья. Волгоград: Рос. акад. с.-х. наук, Нижне-Волж. науч.-исследоват. ин-т сел. хоз-ва, 2012. С. 70-72.

4. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. №6. С. 49-53.
5. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / Акентьева Е. М., Александров Е. И., Алексеев Г. В., Анисимов О. А., Балонишникова Ж. А., Булыгина О. Н., Георгиевский В. Ю., Докукин М. Д., Ефимов С. В., Иванов Н. Е., Калов Х. М., Катцов В. М., Киселев А. А., Клепиков А. В., Клюева М. В., Кобышева Н. В., Оганесян В. В., Павлова В. Н., Павлова Т. В., Постнов А. А., Стадник В. В., Солдатенко С. А., Хлебникова Е. И., Шалыгин А. Л., Школьник И. М. Санкт-Петербург, 2017. С. 106.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва, Альянс, 2014. С. 257-353.
7. Животков Л.А., Морозова З.А., Секутаева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайность // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3-6.
8. Зеленев А.В., Маркова И.Н. Перспективные сорта яровой мягкой пшеницы Камышинской селекции // Известия НВ АУК. 2021. №2(62). С. 109-119.
9. Зинковский В.Н., Зинковская Т.С. Учёт атмосферных осадков при агрометеорологических расчётах // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №5(71). С. 130-134.
10. Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А. Характеристики весенне-летних засух в сухие и влажные периоды на юге Европейской России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 4(85). С. 76-83.
11. Иванченко Т.В., Шевяхова Е.А. Приемы защиты яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, №6. С. 356-371. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371>
12. Кочетов А. А., Драгавцев В. А., Макарова Г. А. Эколого-генетические основы ускоренной интродукции культурных растений // Сельскохозяйственная биология. 2012. № 1. С. 3-5.
13. Малокозова Е. И. Хозяйственно-биологическая характеристика сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ ЦЧП им. В. В. Докучаева // Зерновое хозяйство России. 2021. №1(73). С. 31-38.
14. Маркова И.Н., Смутнев П.А., Игольникова Л.В. Влияние экстремальных метеорологических условий на продуктивность сортов яровой пшеницы в нижнем Поволжье // Научно-агрономический журнал. 2017. №1 (100). С. 31-33.

15. Николаев П. Н., Юсова О. А., Аниськов Н. И. Адаптивный потенциал сортов ярового овса селекции Омского аграрного научного центра // Земледелие. 2020. №2. С. 27-31.
16. Растениеводство Центрального Черноземья России / Федотов В.А. [и др.]. Воронеж, 2019. С. 487-488.
17. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. №5. С. 617-626.
18. Сажин А.Н., Кулик К.Н., Васильев Ю.И. Погода и климат Волгоградской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. Волгоград, ФНЦ агроэкологии РАН. 2017. С. 81-134.
9. Селиванова В.Ю., Болдырь Д.А. Энергоэффективность осадков вегетационного периода яровой пшеницы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья // Известия НВ АУК. 2018. № 3 (51). С. 196-203.
20. Туманян А. Ф., Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н. Агротехнологические приемы повышения урожайности озимых и яровых зерновых культур в условиях Астраханской области // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2020. №1(43). С. 3-6.
21. Федин М.А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Первый выпуск. Общая часть. Москва, 2019. 328 с.
22. Юсова О. А., Николаев П. Н. Эффективность применения различных методик для расчета пластичности и стабильности сортов на примере ярового ячменя // Вестник Ульяновской ГСХА. 2021. № 1(53). С. 98-104.
23. Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожаев зерновых культур в России // С.-х. биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 550-560.
24. Huseynov Kazim Garakishi. Evaluation of wheat varieties in response to low and moderate input farming systems // Res. Crop. 2020. Vol. 21. P. 26-30. <https://gauravpublications.com/journal/research-on-crops/volume-21/issue-1-march/004>
25. Ivanov D. I., Ivanova N. N., Kargin V. I., Kamalihin V. E. The influence of the cultivar and foliar treatment with micronutrient preparations on the yield, economics and energy efficiency of grain production of spring soft wheat (*Triticumaestivum* L.). // Res. Crop. 2021. Vol. 22(3). P. 470-477. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.093>
26. Lazukin A. V., Gundareva S. V., Grabelnyh O. I., Saidova L. T., Dorofeev N. V., Romanov G. A., Krivov S. A. Effect of pre-sowing ozone treatment on low temperature tolerance in spring wheat (*Triticumaestivum*) seedlings // Res. Crop. 2021. Vol. 22(3). P. 478-482. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.094>

27. Verbitskaya N. V., Kondratenko E. P., Starovoitova E. V., Soboleva O. M., Sergeeva I. A. Efficiency of liquid humic fertilizer and herbicidal treatment in spring soft wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivation technology // *Res. Crop*. 2022. Vol. 23(1). P. 15-20. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.003>
28. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environments. *Crop Science*. 1981. Vol. 21(6). P. 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x>

References

1. Balakshina V.I. Features of growing spring wheat in the dry-steppe zone of the Volgograd region. *Perm Agrarian Bulletin*, 2016, no. 2 (14), pp. 4-9.
2. Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Solonkin A.V., Kryuchkov S.N., Pitonya A.A., Pitonya V.N., Igolnikova L.V., Kuleshov A.M., Markova I.N., Shatrykin A.V., Sharko N.S., Neymysheva A.N., Smutnev P.A., Sukhareva E.P. Catalog of breeding achievements of FSC Agroecology RAS. Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2021, 72 p.
3. Belyakov A.M., Solonkin A.V., Babayan L.A. et al. Regional adaptive-landscape system of farming in the Lower Volga Region. Volgograd, 2012, pp. 70-72.
4. Goncharenko A.A. On adaptability and ecological stability of grain crop varieties. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2005, no. 6, pp. 49-53.
5. Report on climatic risks on the territory of the Russian Federation / Akentieva E. M., Alexandrov E. I., Alexeev G. V., Anisimov O. A., Balo-nishnikova Zh. A., Bulygina O. N., Georgievsky V. Y., Dokukin M. D., Efimov S. V. V., Ivanov N. E., Kalov H. M., Kattsov V. M., Kiselev A. A., Klepikov A. A. V., Klyueva M. V., Kobysheva N. V., Oganessian V. V., Pavlova V. N., Pavlova T. V., Postnov A. A., Stadnik V. V., Soldatenko S. A., Khlebnikova E. I., Shalygin A. A. L., Shkolnik I. M. St. Petersburg, 2017, p. 106.
6. Dospekhov B.A. Metodika feldovogo praktika (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Alliance, 2014, pp. 257-353.
7. Zhivotkov LA, Morozova ZA, Sekutayeva LI Methodology for identifying potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat on the indicator yield. *Breeding and breeding*, 1994, no. 2, pp. 3-6.
8. Zelenev A.V., Markova I.N. Prospective varieties of spring soft wheat of Kamyshinskaya selection. *Izvestiya NV AUK*, 2021, no. 2(62), pp. 109-119.
9. Zinkovskiy V.N., Zinkovskaya T.S. Accounting of atmospheric precipitation in agro-reclamation calculations. *International Research Journal*, 2018, no. 5(71), pp. 130-134.

10. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A. Characteristics of spring-summer droughts in dry and wet periods in the south of European Russia. *Arid Ecosystems*, 2020, vol. 26, no. 4(85), pp. 76-83.
11. Ivanchenko T.V., Shevyakhova E.A. Methods of spring wheat protection in arid conditions of the Lower Volga region of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 356-371. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371>
12. Kochetov A. A., Dragavtsev V. A., Makarova G. A. Ecological and genetic basis of accelerated introduction of cultivated plants. *Agricultural Biology*, 2012, no. 1, pp. 3-5.
13. Malokostova E. I. Economic and biological characteristics of the spring bread wheat varieties developed in the Voronezh FASC named after V. V. Dokuchaev. *Grain farming in Russia*, 2021, no. 1(73), pp. 31-38.
14. Markova I.N., Smutnev P.A., Igolnikova L.V. Influence of extreme meteorological conditions on the productivity of spring wheat varieties in the lower Volga region. *Scientific and Agronomic Journal*, 2017, no. 1 (100), pp. 31-33.
15. Nikolaev P. N., Yusova O. A., Aniskov N. I. Adaptive potential of spring oat varieties of Omsk Agrarian Scientific Center selection. *Zemledeliye*, 2020, no. 2, pp. 27-31.
16. Crop production of the Central Black Earth Region of Russia / Fedotov V.A. [et al]. Voronezh, 2019, pp. 487-488.
17. Rybas I.A. Increase of adaptability in breeding of grain crops. *Agricultural Biology*, 2016, no. 5, pp. 617-626.
18. Sazhin A.N., Kulik K.N., Vasiliev Yu.I. Weather and climate of Volgograd region. Volgograd, FSC Agroecology RAS, 2017, pp. 81-134.
9. Selivanova V.Yu., Boldyr D.A. Energy efficiency of precipitation of the growing season of spring wheat in the dry-steppe zone of the Lower Volga region. *Izvestiya NV AUK*, 2018, no. 3 (51), pp. 196-203.
20. Tumanyan A. F., Tyutyuma N.V., Bondarenko A.N. Agrotechnological methods of increasing the yield of winter and spring grain crops in the conditions of the Astrakhan region. *Theoretical and applied problems of agroindustrial complex*, 2020, no. 1(43), pp. 3-6.
21. Fedin M.A. Methodology of state varietal testing of agricultural crops. Moscow, 2019, 328 p.
22. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Efficiency of application of different techniques for calculating plasticity and stability of varieties on the example of spring barley. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2021, no. 1(53), pp. 98-104.
23. Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Agrotechnological and breeding reserves to increase grain yields in Russia. *S.-A. Biologia*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 550-560.

28. Huseynov Kazim Garakishi. Evaluation of wheat varieties in response to low and moderate input farming systems. *Res. Crop.*, 2020, vol. 21, pp. 26-30. <https://gauravpublications.com/journal/research-on-crops/volume-21/issue-1-march/004>
29. Ivanov D. I., Ivanova N. N., Kargin V. I., Kamalihin V. E. The influence of the cultivar and foliar treatment with micronutrient preparations on the yield, economics and energy efficiency of grain production of spring soft wheat (*Triticumaestivum* L.). *Res. Crop.*, 2021, vol. 22(3), pp. 470-477. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.093>
30. Lazukin A. V., Gundareva S. V., Grabelnyh O. I., Saidova L. T., Dorofeev N. V., Romanov G. A., Krivov S. A. Effect of pre-sowing ozone treatment on low temperature tolerance in spring wheat (*Triticumaestivum*) seedlings. *Res. Crop.*, 2021, vol. 22(3), pp. 478-482. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.094>
31. Verbitskaya N. V., Kondratenko E. P., Starovoitova E. V., Soboleva O. M., Sergeeva I. A. Efficiency of liquid humic fertilizer and herbicidal treatment in spring soft wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivation technology. *Res. Crop.*, 2022, vol. 23(1), pp. 15-20. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.003>
28. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environments. *Crop Science*, 1981, vol. 21(6), pp. 943-946. <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors made an equal income into the article for publication

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора, руководитель селекционно-семеноводческого центра древесных и кустарниковых пород
*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
solonkin-a@vfanc.ru*

Сухарева Елена Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
lena.sukhareva60@mail.ru*

Беликина Анна Васильевна, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
belikina-a@vfanc.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Solonkin, Doctor of Agricultural Science, Deputy Director, Head of the Seed Center

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

solonkin-a@vfanc.ru

SPIN-code: 8724-5383

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>

Researcher ID: 57219094230

Scopus Author ID: 57219094230

Elena P. Sukhareva, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Breeding, Seed Breeding and Nursery Production
Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

lena.sukhareva60@mail.ru

SPIN-code: 7044-3359

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1083-3650>

Scopus Author ID: 57286423700

Anna V. Belikina, Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Breeding and Nursery Production

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

belikina-a@yfanc.ru

SPIN-code: 7387-6935

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6576-3226>

Scopus Author ID: 57212194301

Поступила 08.11.2023

После рецензирования 04.12.2023

Принята 12.12.2023

Received 08.11.2023

Revised 04.12.2023

Accepted 12.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-834

УДК 633.11"324":631.8:631.445.51(470.45)



Научная статья

ВЛИЯНИЕ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Гузенко, А.Ю. Гузенко, А.В. Солонкин

Обоснование. Устойчивость сельского хозяйства имеет основополагающее значение для достижения цели «Нулевого голода», одной из целей устойчивого развития (ЦУР) Организации Объединенных Наций.

В соответствии с существующими сценариями внекорневая подкормка минеральными питательными веществами стала неизбежной сельскохозяйственной практикой для устойчивого производства сельскохозяйственных культур во всем мире.

В статье приведены результаты испытания 7 сортов озимой пшеницы двух селекционных центров АНЦ «Донской» и ФНЦ агроэкологии РАН в 2021-2022 гг. Погодные условия на демонстрационном участке в осенний период сложились неблагоприятные (недостаток влаги и высокая температура) не смогли оказать большого влияния на дальнейшее развитие растений в весеннее – летний период в виду благоприятных условий, в фазу в стадию покоя наблюдавшихся в зимний период.

Методы. Технология возделывания сортов озимой пшеницы в полевых опытах была по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Для проведения полной проверки и достоверности проведенных опытов за 2020-2022 гг. обработку и анализ математических данных проводили в программе Excel.

Результаты. В процессе проведения испытаний нами были рассмотрены основные показатели сортов озимой пшеницы по следующим основным показателям. По продуктивному стеблестоя хорошие показатели были отмечены у сортов Камышанка 9 – 472 шт./м², Этюд – 454 шт./м² и Амбар – 436 шт./м². При изучении урожайности была выявлена закономерность, что высокие

показатели продуктивного стеблестоя не всегда соответствуют высокой урожайности. По урожайности стоит отметить сорта Амбар (5,6 т/га), Этюд (5,0 т/га), которые уверенно чувствуют себя в наших условиях и дают стабильную прибавку к урожаю. Наряду с Ростовской селекцией сорт Камышанка 4 селекции ФНЦ агроэкологии РАН сформировал урожай в 5,0 т/га.

Заключение. Как показали исследования, не все сорта одинаково отзываются на дополнительное питание микроудобрениями. Самое высокое содержание белка соответствующее 3 классу, формируется у сортов Вольница (13,7%), Еланская (13,6%) и Этюд (13,3%). Применение макро- и микроудобрений дает прибавку урожаю и улучшает качественные показатели зерна.

Ключевые слова: озимая пшеница; урожайность; качество зерна; макро- и микроудобрения; белок

Для цитирования. Гузенко А.В., Гузенко А.Ю., Солонкин А.В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на каштановых почвах Волгоградской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 412-426. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-834

Original article

THE INFLUENCE OF MACRO- AND MICROFERTILIZERS ON THE YIELD AND GRAIN QUALITY OF WINTER WHEAT ON CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

A.V. Guzenko, A.Yu. Guzenko, A.V. Solonkin

Background. Agricultural sustainability is fundamental to achieving Zero Hunger, one of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs).

Under current scenarios, foliar application of mineral nutrients has become an inevitable agricultural practice for sustainable crop production worldwide.

The article presents the results of testing 7 varieties of winter wheat at two breeding centers of the Donskoy ASC and the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences in 2021-2022. The weather conditions at the demonstration plot in the autumn period were unfavorable (lack of moisture and high temperature) but did not have a great influence on the further development of plants in the spring-summer period due to the favorable conditions observed during the dormant phase in the winter.

Methods. The technology for cultivating winter wheat varieties in field experiments was according to B. A. Dospheov and the methods of state variety testing of agricultural crops.

To carry out a complete verification and reliability of the experiments carried out for 2020-2022, the processing and analysis of mathematical data was carried out in the Excel program.

Results. During the testing process, we examined the main indicators of winter wheat varieties according to the following main indicators. In terms of productive stem growth, good indicators were noted for the varieties Kamyshanka 9 - 472 pcs./m², Etude - 454 pcs./m² and Ambar - 436 pcs./m². When studying productivity, a pattern was revealed that high indicators of productive stems do not always correspond to high yields. In terms of yield, it is worth noting the varieties Ambar (5.6 t/ha) and Etude (5.0 t/ha), which feel confident in our conditions and provide a stable increase in the yield. Along with the Rostov selection, the Kamyshanka variety 4 selection of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences generated a yield of 5.0 t/ha.

Conclusion. As studies have shown, not all varieties respond equally to additional nutrition with microfertilizers. The highest protein content corresponding to class 3 is formed in the varieties Volnitsa (13.7%), Elanskaya (13.6%) and Etude (13.3%). The use of macro- and microfertilizers increases the yield and improves the quality of grain.

Keywords: winter wheat; yield; grain quality; macro- and microfertilizers; protein

For citation. Guzenko A.V., Guzenko A.Yu., Solonkin A.V. The Influence of Macro- and Microfertilizers on the Yield and Grain Quality of Winter Wheat on Chestnut Soils of the Volgograd Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 412-426. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-834

Введение

В настоящее время около половины населения мира страдает от недостаточности питательных микроэлементов из-за низкого качества потребляемой пищи. Для преодоления этой проблемы часто используются методы фортификации и биофортификации. Биофортификация считается лучшим вариантом, чем обогащение, из-за легкого контроля дефицита питательных веществ, присутствующих в ежедневной пище [16, 17].

Ранее, в других странах, был проведен полевой эксперимент для оценки влияния внекорневой подкормки микронутриентной смесью (МНМ), состоящей из цинка (Zn), железа (Fe), меди (Cu), марганца (Mn) и бора (B),

на урожайность и качество муки пшеницы. Результаты данного исследования показали существенную эффективность листовых подкормок для повышения урожайности зерновых культур, а также обогащение другими элементами питания. По сравнению с контролем, обработки новейшими препаратами, начиная с кушения до молочной спелости, повысило в пшеничной муке процент Zn, Cu, Mn, Fe и B на 21, 47, 22, 22 и 25 % [15-19].

В Волгоградской области посевы озимой пшеницы ежегодно расширяются и в настоящее время достигли более 1,5 млн. га. На данный момент озимая пшеница занимает одну из главенствующих ролей в жизни человека как основное получение сырья для производства макаронных, крупяных и хлебобулочных изделий. Такой широкий спектр производства появился благодаря огромному количеству клейковины и содержанию ценных веществ данной сельскохозяйственной культуры [2-5].

В настоящее время применение биологических микроудобрений стало одним из вариантов путей решения экологизации и энергосбережения ресурсов аграриев в сельскохозяйственной деятельности [4, 5].

На данном этапе селекционерами выведено много новых сортов [1-3]. Однако новые сорта нуждаются в изучении и конкретики распределения возделывания в условиях почвенно – климатической зоны [7]. В ходе проверки сорта на госсортоиспытании данный вопрос частично решается, но он не отвечает на вопросы фермеров, насколько сорт реагирует на различные варианты подкормок, когда лучше и чем подкормить для получения качественного урожая [8, 9].

Исходя из актуальности ставилась задача изучить сорта озимой пшеницы разных селекционных центров на различных агрофонах с применением микро и макро удобрений, с целью подбора наиболее оптимального для каждого из изучаемых сортов, а также выделения наиболее адаптивных и продуктивных сортов [6, 10].

Цель исследования – изучить особенности поведения сорта и его реакцию на уровень интенсификации с использованием макро- и микроудобрений, в засушливых условиях Камышинского района Волгоградской области.

Научная новизна

Впервые в засушливых условиях каштановых почв Волгоградской области проведено комплексное изучение новых сортов озимой пшеницы на агротехнических фонах разной степени интенсивности. Определена эффективность технологических процессов, оказывающих положительное

влияние на биометрические, количественные и качественные характеристики изучаемых новых сортов озимой пшеницы.

Материалы и средства

Двухфакторный опыт был заложен на опытном участке, расположенном в зоне каштановых почв в Камышинском районе Волгоградской области в течение 2020-2022 гг.

Фактор А – сорта озимой мягкой пшеницы двух селекционных центров - 3 сорта - АНЦ «Донской» (Амбар, Этюд, Вольница), 4 сорта - ФНЦ «агроэкологии РАН» (Камышанка 4, Камышанка 6, Камышанка 9, Еланская).

Фактор В - три основных яруса интенсификации с применением различных форм удобрений:

1 ярус, минимальный (контроль) – предпосевное удобрение ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCL}$ в дозе 80 кг/га);

2 ярус, основной – предпосевное удобрение ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCL}$ в дозе 80 кг/га), ранневесеннее внесение удобрений (NH_4NO_3 – 100 кг/га) и в фазу колошения ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ – 40 кг/га);

3 ярус (интенсивный) – предпосевное удобрение ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KCL}$ в дозе 80 кг/га), ранневесеннее удобрение (NH_4NO_3 – 100 кг/га), листовая обработка:

- в фазу кущения (возобновление вегетации) (Ультрамаг Фосфор Супер (2 л/га)+Гумат Калия Суфлер (0,5 л/га)+Биостим Рост (1 л/га)),

- в фазу флаг лист (Ультрамаг Бор (0,5 л/га) + Ультрамаг Фосфор Актив (2 л/га)+Ультрамаг Медь (1 л/га)),

- в фазу колошения (Биостим Зерновой (1 л/га)+Ультрамаг Сера (1-2 л/га)) + $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 40 кг/га.

Посев проводился 15 сентября селекционной сеялкой СС – 11 с дисковыми сошниками, предшественник – чёрный пар. Норма высева 4,0 млн. шт./га всхожих семян. Ширина деланки 3,6 м, длинна 200 м. Перед посевом были проведены мероприятия по определению содержания питательных элементов на опытном участке. Почва – каштановая; содержание гумуса в пахотном слое около 1,8 %; содержание нитратного азота – низкое (по Чирикову); подвижного фосфора – среднее (по Мачигину); обменного калия – повышенное (по Мачигину) (табл. 1).

Все учёты и наблюдения проводились согласно общепринятым методикам: по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [6].

Таблица 1.

Данные анализа почвенных образцов за 2020-2022 г. среднее

Слой почвы, см	Содержание гумуса, %	N-NO ₃ мг/100 г	P ₂ O ₅ мг/100 г	K ₂ O мг/100 г
0 – 10	1,96	12,8	37,07	38,87
10 – 20	1,74	12,1	30,89	28,74
20 – 30	1,64	7,5	23,28	23,36

Для проведения полной проверки и достоверности проведенных опытов за 2020-2022 гг. была проведена обработка и анализ математических данных.

Результаты

Осенний период вегетации в условиях Волгоградской области характерен тем, что посевной слой к началу сева, как правило, иссушен. Погодные условия, предшествовавшие посевам в 2020 и 2021 гг. сложились не совсем благоприятные (отсутствие осадков длительное время до и после сева); высокие среднесуточные температуры воздуха, привели к тому, что в результате показатели густоты стояния и полевой всхожести были существенно ниже относительно показателей в оптимальных условиях.

В результате осеннего развития можно сказать, что растения озимой пшеницы на демонстрационных участках находились в удовлетворительном состоянии.

В фазу покоя озимой пшеницы опасных метеорологических явлений зафиксировано не было. Период покоя растений проходил в благоприятных условиях: снежный покров, который накрыл демонстрационный участок, защитил растения от кратковременных понижений температуры (рис. 1).

Наступление метеорологической весны за время проведения испытаний проходило в разные сроки.

На начальное возобновление фазы вегетации озимой пшеницы на первую декаду апреля в весенний период влияло позднее окончание низких температур зимы.

Весенняя вегетация озимой пшеницы началась в первой декаде апреля с обильным количеством осадков 30 мм. Весенне-летний период вегетации растений проходил в благоприятных условиях: количество выпавших осадков за этот период в 2021 году составило 300 мм, в 2022 году – 200 мм. Обилие осадков и плавное прохождение всех стадий развития растений (без резких скачков температуры) благоприятно повлияло на формирование продуктивного стеблестоя и урожайности сортов озимой пшеницы.

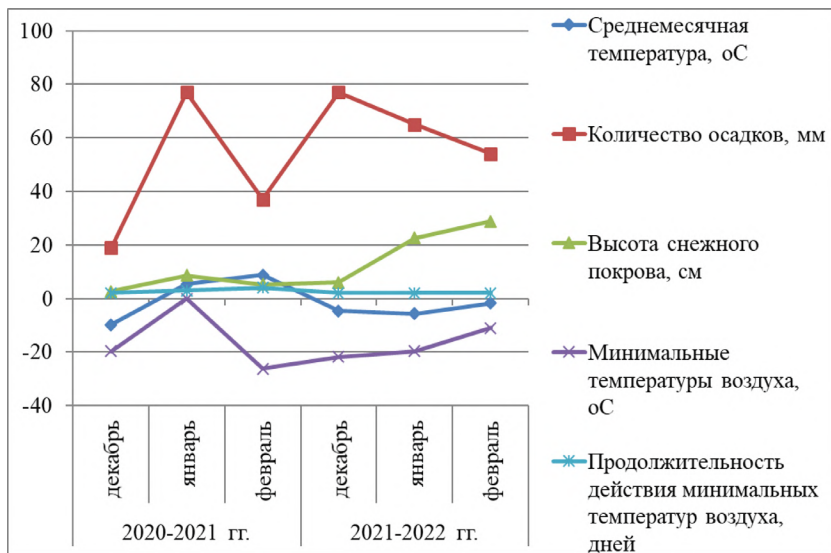


Рис. 1. Основные погодные показатели периода покоя озимой пшеницы

Одним из основных показателей урожайности озимой пшеницы является количество продуктивных стеблей на 1 м², которое может существенно отличаться, как в зависимости от сорта, так и от уровня питания (табл. 2).

Таблица 2.

Количество продуктивных стеблей в зависимости от уровня интенсификации 2020 - 2022 гг, среднее

Сорт	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²					
	1 ярус		2 ярус		3 ярус	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Этюд	328	428	364	420	444	464
Амбар	372	476	376	476	324	548
Камышанка 4	368	364	372	392	368	416
Камышанка 6	448	324	420	376	316	384
Камышанка 9	436	312	344	372	472	472
Еланская	364	352	336	368	376	412
Вольница	412	340	440	308	332	324
НСР _{0.5}	19,5	18,5	18,9	19,4	18,8	21,6

Количество продуктивных стеблей перед уборкой на 1 единицу площади зависит не только от проводимых мероприятий (норма высева, глубина заделки семян, своевременное внесение питательных элементов), но также и от самого сорта. В среднем за два года количество продуктивных стеблей на минимальной обработке варьировало от 358 шт./м² у сорта Еланская до 424 шт./м² у сорта Амбар. На втором варианте наибольший стеблестой был отмечен у сорта Амбар – 426 шт./м², а низкий показатель был зафиксирован у сорта Вольница – 352 шт./м². На третьем варианте лидером оказался сорт Камышанка 9 с количеством продуктивных стеблей 472 шт./м², а аутсайдером – сорт Вольницы (328 шт./м²).

Высокие показатели продуктивного стеблестоя не всегда совокупно отзывчивы с высокими показателями урожайности (табл. 3). Это говорит о том, что формирование высокого урожая происходит не только за счет высокого продуктивного стеблестоя, но и за счет более выполненного зерна.

Таблица 3.

Урожайность сортов озимой пшеницы в зависимости от уровня интенсификации 2020 - 2022 гг среднее

Сорт	Урожайность, т/га			Масса 1000 семян, г		
	1 ярус	2 ярус	3 ярус	1 ярус	2 ярус	3 ярус
Этюд	2,10	3,44	5,00	42,22	42,56	46,38
Амбар	2,33	3,50	5,60	40,18	37,30	41,24
Камышанка 4	2,36	3,20	5,00	43,38	42,64	44,70
Камышанка 6	2,09	2,90	3,70	40,40	43,02	44,72
Камышанка 9	2,22	4,10	3,15	41,10	42,26	41,76
Еланская	2,08	3,90	4,10	48,68	49,00	49,80
Вольница	1,93	2,70	4,40	46,46	45,84	49,04
НСР _{0,5}	0,1	0,2	0,22	2,2	2,2	2,3

По сравнению с минимальной обработкой (1 ярус) все сорта на двух других ярусах показали прибавку урожайности. В зависимости от сорта и технологии применения удобрений на варианте 2 прибавка составила от 0,77 т/га до 1,88 т/га. На интенсивном варианте обработок прибавка относительно первого варианта составила от 0,93 т/га до 3,27 т/га.

Анализируя полученные данные от применения различных вариантов удобрений на разных сортах озимой пшеницы можно заметить существенную разницу на вариантах, что говорит об отзывчивости всех сортов на дополнительное внесение питательных элементов при благоприятных погодных условиях и достаточном содержании продуктивной влаги в почве.

Лидером на втором варианте обработки стал сорт Камышанка 9 – 4,1 т/га, что выше на 1,88 т/га, чем у первого варианта. Также стоит отметить сорта Этюд, Амбар и Еланская, давшие прибавку свыше 1,10 т/га относительно минимальной обработки.

На варианте интенсивных обработок лидером стал сорт Амбар (5,6 т/га), Этюд и Камышанка 4 (по 5,0 т/га), которые показали прибавку к урожаю относительно 1 варианта свыше 3,0 т/га. Стоит также отметить сорта Еланская и Вольница – их прибавка к варианту 1 (контроль) составила выше 2,0 т/га.

По массе 1000 семян хорошие результаты показали сорта: Еланская (49,80 г), Вольница (49,04 г), Этюд (46,38 г).

Из полученных данных проведенных исследований можно сделать вывод, что сорта Ростовской селекции более отзывчивы на применение дополнительного питания, но также они зависят и от благоприятных климатических условий. Сорта селекции ФНЦ агроэкологии РАН показали менее существенную прибавку, что говорит об их стабильности и большей готовности перенести неблагоприятные погодные условия.

Сложившиеся благоприятные погодные условия во время развития озимой пшеницы в совокупности с применением азотных, макро- и микроудобрений в жидкой форме, оказали значительное влияние на формирование качественных показателей зерна (табл. 4).

Таблица 4.

Содержание белка озимой пшеницы в зависимости от уровня интенсификации 2020-2022 гг. среднее

Сорт	Белок, %		
	1 ярус	2 ярус	3 ярус
Этюд	11,9	11,8	13,3
Амбар	11,2	10,1	11,9
Камышанка 4	12,5	14,1	12,3
Камышанка 6	11,1	10,9	12,2
Камышанка 9	11,4	11,1	11,8
Еланская	11,3	12,3	13,6
Вольница	11,6	12,9	13,7

Анализ данных показал, что содержание белка в зерне озимой пшеницы зависит в первую очередь от сорта. При этом применение дополнительного питания, помимо существенной прибавки по урожаю, также оказывает положительный эффект на качественные показатели зерна: со-

держание белка и клейковины. Как показали исследования, не все сорта одинаково отзываются на дополнительное питание микроудобрениями направленные на улучшение качественных показателей зерна. Самое высокое содержание белка соответствующее 3 классу, формируется у сортов Вольница (13,7%), Еланская (13,6%) и Этюд (13,3%).

Заключение

В результате проведенных двухлетних исследований отмечена зависимость сортов разных селекционных центров на урожайность и качество зерна в зависимости от погодных условий сложившихся в ходе испытаний. Фаза покоя сортов озимой пшеницы прошла относительно ровно без существенных колебаний температуры. В среднем количество продуктивных стеблей на варианте на минимальной обработке варьировало от 358 шт./м² у сорта Еланская до 424 шт./м² у сорта Амбар. На втором варианте наибольший стеблестой был отмечен у сорта Амбар – 426 шт./м², а низкий показатель был зафиксирован у сорта Вольница – 352 шт./м². На третьем варианте лидером оказался сорт Камышанка 9 с количеством продуктивных стеблей 472 шт./м², а аутсайдером – сорт Вольницы – 328 шт./м². По урожайности стоит отметить сорта Амбар (5,6 т/га), Этюд (5,0 т/га), которые уверенно чувствуют себя в наших условиях и дают стабильную прибавку к урожаю. Наряду с Ростовской селекцией сорт Камышанка 4 сформировал урожайность в (5,0 т/га). Как показали исследования, не все сорта одинаково отзываются на дополнительное питание микроудобрениями направленные на улучшение качественных показателей зерна. Самое высокое содержание белка соответствующее 3 классу, формируется у сортов Вольница (13,7%), Еланская (13,6%) и Этюд (13,3%).

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках ГЗ № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Акинчин А. В. Влияние азотных подкормок на урожай и качество озимой пшеницы / А. В. Акинчин, С. А. Линков, А. Ф. Самойлова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 4(24). С. 186-192.
2. Гузенко А.В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 78-84. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-016>
3. Долгополова Н. В. Влияние стимуляторов роста на развитие и продуктивность озимой пшеницы / Н. В. Долгополова, А. А. Бабаскина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 34-41.
4. Иванов В.М. Производство продукции растениеводства: курс лекций / В.М. Иванов, Н.И. Тихонов. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. 277 с.
5. Камбулов С.И., Ксенз А.Я., Колесник В.В., Дёмина Е.Б. Показатели эффективности микроудобрений при использовании усовершенствованной технологии листовой подкормки // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 2 (12). С. 117-121.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М.: из-во Калининская областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Калининского облисполкома 1989. 194 с.
7. Набойченко К.В., Молчанов В.Н., Малахова А.А. Сорта озимой пшеницы Волгоградской селекции в засушливых условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3(31). С. 95-98.
8. Нуштаева А.В., Блинохватова Ю.В., Власова Т.А., Чекаев Н.П. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян // Нива Поволжья. 2021. №1. С. 58. <https://doi.org/10.36461/NP.2021.58.1.009>
9. Петенко А.И., Гнеуш А.Н., Дмитриев В.И. Изучение и подбор режима культивирования культуры *Azotobacterchroococcum* на ферментационном комплексе ОКА МФ –100 / А.И. Петенко, А.Н. Гнеуш, В.И. Дмитриев // Научный журнал КубГАУ. 2013. № 94. <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/53.pdf>
10. Сапунков В. Л. Экологическое испытание сортов озимой пшеницы «АНЦ «Донской» в зоне тёмно-каштановых почв Волгоградской области / В. Л. Сапунков, А. В. Солонкин, А. В. Гузенко // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 88-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94>

11. Семинченко Е.В. Влияние способ обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья // *Агрохимия*. 2021. № 12. С. 75-81. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120139>
12. Ступин А.С. Основы семеноведения. СПб.: Лань, 2014. 384 с.
13. Филин В.И. Озимая пшеница в Нижнем Поволжье: монография / В.И. Филин, А.М. Беляков; ВИПККА. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. 258 с.
14. Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. Влияние системы обработки на содержание продуктивной влаги в почве в Северной лесостепи Кузнецкой котловины // МНИЖ. 2022. № 3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
15. Ali E. A. Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil // *Asian Journal of Crop Science*. 2012. Vol. 4(4). P. 139-149. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.139.149>
16. Guzenko A. V. Investigation of the dependence of various backgrounds of modern fertilizers and *Triticum aestivum* (L.) yields in the Southern Federal District of Russia / A. V. Guzenko, A. Yu. Guzenko // *Research on Crops*. 2023. Vol. 24, № 2. P. 256-262. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-942>
17. Guzenko A. Yu. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia / A. Yu. Guzenko, E. V. Seminchenko // *Research on Crops*. 2023. Vol. 24, № 2. P. 270-275. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC_916
18. Iwaniuk P., Kaczyński P., Pietkun M., Łozowicka B. Evaluation of titanium and silicon role in mitigation of fungicides toxicity in wheat expressed at the level of biochemical and antioxidant profile // *Chemosphere*. 2022. Vol. 308, Part 1, 136284. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136284>
19. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Seminchenko E.V. Crop Rotations Ensuring the Greatest Yields Under Dry Conditions of the Lower Volga Region Water-Saving Irrigation Regimes for Vegetable Crop Production under Conditions of Volga-Don Interfluve // *Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018. Vol. 13(3). P. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>

References

1. Akincin A. B. Influence of nitrogen fertilizers on the yield and quality of winter wheat / A. V. Akincin, S. A. Linkov, A. F. Samoilova. *Innovations in agroindustrial complex: problems and prospects*, 2019, no. 4(24), pp. 186-192.
2. Guzenko A.V. Influence of macro- and microfertilizers on the yield and quality of winter wheat varieties. *Agrochemical Bulletin*, 2021, no. 3, pp. 78-84. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-016>

3. Dolgoplova N. V. Effect of growth stimulants on the development and productivity of winter wheat / N. V. Dolgoplova, A. A. Babaskina. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2022, no. 1, pp. 34-41.
4. Ivanov V.M. *Production of crop production: a course of lectures* / V.M. Ivanov, N.I. Tikhonov. Volgograd: Volgograd GAU, 2017, 277 p.
5. Kambulov S.I., Ksenz A.Y., Kolesnik V.V., Demina E.B. Indicators of micro-fertilizer efficiency when using the improved technology of leaf fertilization. *Innovations in Agriculture*, 2015, no. 2 (12), pp. 117-121.
6. Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue two: cereals, cereals, legumes, corn and forage crops. M., 1989, 194 p.
7. Naboychenko K.V., Molchanov V.N., Malakhova A.A. Winter wheat varieties of Volgograd selection in arid conditions of the Lower Volga region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex: science and higher professional education*, 2013, no. 3(31), pp. 95-98.
8. Nushtaeva A.V., Blinokhvatova Y.V., Vlasova T.A., Chekaev N.P. Effect of microfertilizers based on chelate complexes on seed germination. *Niva Povolzhye*, 2021, no. 1, pp. 58. <https://doi.org/10.36461/NP.2021.58.1.009>
9. Petenko A.I., Gneush A.N., Dmitriev V.I. Study and selection of the mode of cultivation of *Azotobacterchroococcum* culture on the fermentation complex OKA MF -100 / A.I. Petenko, A.N. Gneush, V.I. Dmitriev. *Scientific Journal of KubGAU*, 2013, no. 94. <http://ej.kubagro.ru/2013/10/pdf/53.pdf>
10. Sapunkov V. L. Ecological testing of winter wheat varieties “ANC ‘Donskoy’ in the zone of dark chestnut soils of Volgograd region / V. L. Sapunkov, A. V. Solonkin, A. V. Guzenko. *Grain Farming of Russia*, 2021, no. 6(78), pp. 88-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94>
11. Seminchenko E.V. Influence of soil tillage method on its water-physical properties in the conditions of the dry-steppe zone of the Lower Volga region. *Agrochemistry*, 2021, no. 12, pp. 75-81. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120139>
12. Stupin A.S. Fundamentals of seed science. SPb.: Lan, 2014, 384 p.
13. Filin V.I. Winter wheat in the Lower Volga region: monograph / V.I. Filin, A.M. Belyakov; VIPKKA. Volgograd: Izd-VolGU, 2006, 258 p.
14. Yamshchikov, M.A.; Pakul, V.N. Influence of tillage system on the productive moisture content in the soil in the Northern forest-steppe of the Kuznetsk Basin. *MNIJ*, 2022, no. 3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
15. Ali E. A. Effect of iron nutrient care sprayed on foliage at different physiological growth stages on yield and quality of some durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties in sandy soil. *Asian Journal of Crop Science*, 2012, vol. 4(4), pp. 139-149. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2012.139.149>

16. Guzenko A. V. Investigation of the dependence of various backgrounds of modern fertilizers and *Triticum aestivum* (L.) yields in the Southern Federal District of Russia / A. V. Guzenko, A. Yu. Guzenko. *Research on Crops*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 256-262. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC-942>
17. Guzenko A. Yu. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia / A. Yu. Guzenko, E. V. Seminchenko. *Research on Crops*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 270-275. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.ROC_916
18. Iwaniuk P., Kaczyński P., Pietkun M., Łozowicka B. Evaluation of titanium and silicon role in mitigation of fungicides toxicity in wheat expressed at the level of biochemical and antioxidant profile. *Chemosphere*, 2022, vol. 308, part 1, 136284. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136284>
19. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Seminchenko E.V. Crop Rotations Ensuring the Greatest Yields Under Dry Conditions of the Lower Volga Region Water-Saving Irrigation Regimes for Vegetable Crop Production under Conditions of Volga-Don Interfluvium. *Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2018, vol. 13(3), pp. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гузенко Андрей Викторович, аспирант, младший научный сотрудник
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
guzenko-av@vfanc.ru

Гузенко Алексей Юрьевич, аспирант, младший научный сотрудник
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
guzenko.family@mail.ru

Солонкин Андрей Валерьевич, д-р с.-х. наук

*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

mishamax73@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Guzenko, Postgraduate Student, Junior Researcher

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation

guzenko-av@yfanc.ru

SPIN-code: 2372-5743

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>

Alexey Yu. Guzenko, Postgraduate Student, Junior Researcher

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation

guzenko.familu@mail.ru

SPIN-code: 5246-9350

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>

Andrey V. Solonkin, Doctor of Agricultural Sciences

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation

solonkin-a@yfanc.ru

SPIN-code: 8724-5383

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>

Поступила 28.09.2023

После рецензирования 08.11.2023

Принята 16.11.2023

Received 28.09.2023

Revised 08.11.2023

Accepted 16.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1171

УДК 581.192:634.74



Научная статья

VACCINIUM OVALIFOLIUM SMITH. В ПРИРОДНЫХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ САХАЛИНА

Д.В. Лебедев, В.Н. Сорокопудов

Обоснование. Выявление и изучение отборных форм черники овально-листной в природных ценопопуляциях острова Сахалин позволит создать благоприятную основу для современных селекционных работ.

Цель состояла в выделении и изучении отборных форм *Vaccinium ovalifolium* Smith. в природных ценопопуляциях острова Сахалин.

Материал и методы. Объектом исследований послужили природные популяции *Vaccinium ovalifolium* произрастающие на острове Сахалин. Изучение черники овальнолистной в природных местообитаниях проводили в экспедиционных поездках по центральному и южным районам Сахалина в период 2020-2022 гг. Были исследованы растения из двух ценопопуляций по распространению черники в условиях острова Сахалин. Геоботанические описания растительности фитоценозов проводили по общепринятой методике А.А. Понятовской «Учет обилия и характера размещения растений в сообществах» (1964). Видовой состав растительных сообществ определялся в пределах площади выявления. Общее проективное покрытие (ОПП) травостоя и проективное покрытие доминирующих видов определялись глазомерным методом, в %. Изучали эндогенную изменчивость следующих признаков: количество ягод, масса и размеры одной ягоды, длину и ширину листовых пластинок, высоту и возраст кустов. Проведен корреляционный анализ между морфологическими признаками и характеристиками урожайности в пробных площадках. Анализировались высота, возраст, максимальный и минимальный диаметр кроны, степень плодоношения, количество ягод. Математическую и статистическую обработку результатов исследований осуществляли по общепринятым методикам с использованием программного обеспечения Excel.

Результаты. Статья посвящена новому для России перспективному виду *Vaccinium ovalifolium* Smith. - листопадный кустарник из рода *Vaccinium* семейства Ericaceae, растения до 1.5-2 м высотой. Цветет в мае-июне, цветки розовые, размером до 6 мм, плоды темно - синие, часто черные с восковым

налетом, созревают в августе-сентябре, сок прозрачный в ягодах, вкус кисло-сладкий. Листья продолговато – округлые или яйцевидные, цельно-крайние или с мелкими реснитчатыми зубчиками 2-5 см длины и 1-2.5 см ширины, матовые, светло-зеленые. Полиморфизм природных ценопопуляций *V. ovalifolium* при экспедиционном обследовании позволил выявить несколько перспективных форм с хозяйственно-ценными признаками. В процессе филогенеза *V. ovalifolium* сформировались экологически устойчивые популяции к неблагоприятным факторам окружающей среды острова Сахалин. Отобранные образцы *V. ovalifolium* с ценными помологическими признаками в настоящее время размножены и произрастают на территории Ботанического сада города Южно-Сахалинск на участке первичного сортоиспытания, для сравнения ресурсной ценности местных природных эколого-генетических линий с интродуцированными, наиболее распространенными современными сортами *V. corymbosum*. Заложен опыт по оценке отобранных форм черники овально-листной на агротехнические приемы и условия агрокультуры с последующей разработкой технологических рекомендаций по выращиванию в промышленном саду в условиях острова Сахалин.

Заключение. Изучен полиморфизм природных ценопопуляций *V. ovalifolium* острова Сахалин с отбором перспективных форм, которые могут быть использованы для целей селекции.

Ключевые слова: *Vaccinium ovalifolium*; Сахалин; ценопопуляции; отобранные формы; селекция

Для цитирования. Лебедев Д.В., Сорокопудов В.Н. *Vaccinium ovalifolium* Smith. в природных ценопопуляциях Сахалина // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 427-442. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1171

Original article

VACCINIUM OVALIFOLIUM SMITH. IN NATURAL CENOPOPULATIONS OF SAKHALIN

D.V. Lebedev, V.N. Sorokopudov

Background. Identification and study of selected forms of oval-leaved blueberry in natural coenopopulations of Sakhalin Island will create a favorable basis for modern breeding work.

Purpose. The goal was to isolate and study selected forms of *Vaccinium ovalifolium* Smith. in natural coenopopulations of Sakhalin Island.

Material and methods. The object of research was natural populations of *Vaccinium ovalifolium* growing on Sakhalin Island. The study of blueberries in natural habitats was carried out during expeditionary trips to the central and southern regions of Sakhalin in the period 2020-2022. Plants from 2 cenopopulations were studied for the distribution of blueberries in hard-to-reach places. Geobotanical descriptions of the vegetation of phytocenoses were carried out according to the generally accepted method of A.A. Poniatovskaya "Taking into account the abundance and nature of the distribution of plants in communities" (1964). The species composition of plant communities was determined within the detection area. The total projective cover (TPC) of the grass stand and the projective cover of the dominant species were determined by eye method, in %. We studied the endogenous variability of the following traits: the number of berries, the weight and size of one berry, the length and width of the leaf blade, the height and age of the bushes. A correlation analysis was carried out between morphological characteristics and yield characteristics in the trial plots. Height, age, maximum and minimum crown diameter, degree of fruiting, and number of berries were analyzed. Mathematical and statistical processing of research results was carried out according to generally accepted methods using Excel software.

Results. The article is devoted to a new promising shrub for Russia, *Vaccinium ovalifolium* - a species of deciduous shrub from the genus *Vaccinium* of the Ericaceae family, a shrub up to 1.5-2 m tall. It blooms in May-June, the flowers are pink, up to 6 mm in size, the fruits are dark blue, often black with a waxy coating, ripen in August-September, the juice in the berries is clear, the taste is sweet and sour. The leaves are oblong - round or ovate, entire-marginal or with small ciliated teeth 2-5 cm long and 1-2.5 cm wide, matte, light green. Polymorphism of natural cenopopulations of *V. ovalifolium* during expeditionary surveys made it possible to identify several promising forms with economically valuable traits. In the process of phylogenesis of *V. ovalifolium*, ecologically resistant populations to the unfavorable environmental factors of Sakhalin Island were formed. Selected samples of *V. ovalifolium* with valuable pomological traits are currently propagated and grown on the territory of the Botanical Garden of the city of Yuzhno-Sakhalinsk at the site of primary variety testing, to compare the resource value of local natural eco-genetic lines with the introduced, most common modern varieties of *V. corymbosum*. Experience has been laid in assessing selected forms of oval-leaved blueberries for agrotechnical techniques and agricultural conditions, with the subsequent development of technological recommendations for cultivation in an industrial garden in the conditions of Sakhalin Island. Conclusion. The polymorphism of natural cenopopulations of *V. ovalifolium* on Sakhalin Island was studied with the selection of promising forms that can be used for breeding purposes.

Keywords: *Vaccinium ovalifolium* Smith.; Sakhalin; cenopopulations; selected forms; selection

For citation. Lebedev D.V., Sorokopudov V.N. *Vaccinium ovalifolium* Smith. in Natural Cenopopulations of Sakhalin. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 427-442. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1171

Введение

Vaccinium ovalifolium Smith., *Metagonia ovata* (Pursh) Nutt (1843), *V. lanceolatum* Dunai (1839), *V. ovatum* var. *saporosum*. Jeps (1925) – черника овальнолистная вид листопадного кустарника из рода *Vaccinium* семейства Ericaceae, растения до 1.5-2 м высотой [1, 9]. Цветет в мае-июне, цветки розовые, размером до 6 мм, плоды темно синие, часто черные с восковым налетом, созревают в августе-сентябре, сок прозрачный в ягодах, вкус кисло-сладкий. Листья продолговато-округлые или яйцевидные, цельно-крайние или с мелкими реснитчатыми зубчиками 2-5 см длины и 1-2.5 см ширины, матовые, светло-зеленые. Описана впервые английским ботаником Джеймсом Эдвардом Смитом в 1817 году по образцу, собранному на Аляске [2]. Распространена как на западном, так и на восточном побережье Тихого океана, существует еще две разновидности *V. ovalifolium* var. *sachalinense*, *V. ovalifolium* var. *alpinum*, которые встречаются только на Сахалине и Японских островах [3-4, 9].

Материалы и методы

Объект исследований: *Vaccinium ovalifolium* представляет собой симподиально ветвящийся высокий кустарник, образованный небольшим количеством побегов, летне-зеленый [7]. Листья очередные, от мелких вытянутых обратно-яйцевидной формы до почти округлых, сверху светло-зеленые, снизу сизоватые и заметными жилками. Побеги формирования развиваются из пазушных почек в нижней части прошлогодних побегов. В пазухах листьев верхней части побегов формируются почки с генеративными побегами, которые не образуют листьев. Цветки мелкие, шаровидно-колокольчатые, белые или розовые, поникающие. Чашечка – сросшаяся с завязью. Плод – сочная ягода сизовато-черная покрыта сизым восковым налетом. Форма плодов округлая или грушевидная. В естественных условиях черника чаще возобновляется вегетативным способом.

Изучение черники овальнолистной в природных местообитаниях проводили в экспедиционных поездках по центральным и южным районам

Сахалина в период 2020-2022 гг. Были исследованы растения из 2 ценопопуляций и получены новые данные по распространению черники в труднодоступных местах.

Геоботанические описания растительности фитоценозов проводили по общепринятой методике [12, 15, 18].

Видовой состав растительных сообществ определялся в пределах площади выявления. Общее проективное покрытие (ОПП) травостоя и проективное покрытие доминирующих видов определялись глазомерным методом, в %. Изучали эндогенную изменчивость следующих признаков: количество ягод, масса и размеры одной ягоды, длину и ширину листовой пластинки, высоту и возраст кустов. Проведен корреляционный анализ между морфологическими признаками и характеристиками урожайности в пробных площадках. Анализировались высота, возраст, максимальный и минимальный диаметр кроны, степень плодоношения, количество ягод [8, 16].

Математическую и статистическую обработку результатов исследований осуществляли по общепринятым методикам [5] с использованием программного обеспечения Excel.

Результаты исследований

Сформировавшиеся веками природные популяции *V. ovalifolium* Smith. в особых условиях климата о. Сахалин, представляют объективную возможность использовать отобранные в природных условиях образцы с ценными помологическими признаками для возделывания и селекции сортов в местных условиях. Местные отборные формы и сорта в дальнейшем будут востребованы в селекции и в других регионах РФ ввиду их высокой устойчивости к современным негативным факторам окружающей среды [14].

Суровость условий обитания местных ценопопуляций *V. ovalifolium* сформировала массу востребованных в современном производстве хозяйственно ценных качеств: устойчивость к низким температурам в зимний период, устойчивость к понижению температуры во время цветения, устойчивость к выпреванию, устойчивость к многочисленному спектру грибных и бактериальных инфекций. Природные популяции Российского Дальнего Востока и острова Сахалин обладают бесценным генетическим потенциалом *V. ovalifolium*, который необходимо исследовать и использовать в селекционной работе, что является современной и актуальной задачей [4, 6, 8, 11].

Сотрудниками Сахалинского ботанического сада обследованы две природные ценопопуляции *V. ovalifolium* (черники овальнолистной). Первая в

центральной части острова (хребет Жданко), а вторая, практически была самая северная граница ареала (г. Оха). Экспедиционные обследования проводились для выявления природных форм *V. ovalifolium*, обладающих хозяйственно ценными признаками [13, 19-32]. Отбирались растения морозоустойчивые (без морозобоин на двухлетних ветвях и старше), не поврежденные вредителями, без следов поражения болезнями, с крупными вкусными ягодами и образцы разных сроков созревания.

Первая обследованная природная ценопопуляция *V. ovalifolium* (ЦП-1) расположена в центральной части острова Сахалин, на западном склоне хребта Жданко, в точке с координатами 48.05 с.ш. и 142.31 в.д. Склон крутой, до 35 градусов, микрорельеф мелкобугристый. Плодородный слой почвы хорошо дренирован, представляет из себя остатки сгоревших и погибших по другим причинам деревьев. Основу растительного сообщества этой территории составляет травянистый покров: *Arnica sachalinensis* (Regel) A.Gray, *Trifolium pratense* L., *Hieracium aurantiacum* Vill., *Platanthera extremiorientalis* Rich. *Gentiana axilliflora* L., *Trifolium repens* L., *Vaccinium praestans* Lamb., *Lycopodium clavatum* L. и др. Кустарники представлены не многочисленными растениями *Swida alba* L. Деревья же в обозримом пространстве 5-10 шт. (на 1 км²) *Betula ermanii* L., *Salix caprea* L., *Alnus hirsuta* L., одиночные или небольшими группами. Обследование микропопуляции *V. ovalifolium* проводилось 2021-2023 гг. челночными маршрутами с юга на север и с севера на юг (до 2 км), с постепенным подъемом вверх по склону с высоты 220-250 м над уровнем моря до высоты 350-380 м. В ходе биометрических исследований осматривался куст целиком, отдельные органы растения, ягоды обрывались, промерялись, пересчитывались и оценивались органолептически. Растения *V. ovalifolium* довольно неравномерно распределяются по склону: то встречаются куртины из 5-20 растений, то одиночные растения на расстоянии до 20-25 м друг от друга. Представители исследуемой ценопопуляции несмотря на видовой полиморфизм, имеют общую выравненность по высоте, форме куста и возрасту составляющих куст ветвей. В результате обследования ценопопуляции ЦП-1 обнаружены и отобраны 5 экземпляров (табл. 1). Отобранные образцы обладают высокой устойчивостью к болезням и вредителям, морозам, с размером ягод до 12 мм в диаметре с кисло-сладким приятным вкусом. Ягоды полностью были созревшие у 80 % обследованных растений.

Вторая обследованная природная ценопопуляция *V. ovalifolium* (ЦП-2) находится в 30 км южнее города Оха, практически в самой северной части ареала *V. ovalifolium* на о. Сахалин, в точке с координатами 53,37 с. ш

и 142, 70 в. д. Отбор проводился в конце сентября (28.09.- 30.09 2021-23 гг.) из подлеска Елово-пихтового леса, состоящего из *Abies sachalinensis* (F. Schmidt) Voss, *Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière, *Betula ermanii* Cham., *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen., расположенного на западном склоне, невысокого до 250 м над уровнем моря увала, с крутизной склона до 10 градусов. Полнота древостоя около 0,6, в подлеске *Pinus pumila* (PALL.) REGEL, *Sorbus sambucifolia* (Cham. & Schltdl.) M.Roem., *Alnus alnobetula* subsp. *Fruticosa* (Rupr.) Raus, *Vaccinium ovalifolium* Smith. Почва хорошо дренирована, в плодородном слое отмечены остатки погибших деревьев, лиственной и хвойный опад. Ценопопуляция *V. ovalifolium* сплошным ковром покрывает площадь около 0,8 га, расходясь рукавами в небольшие куртины. Обследование ценопопуляции проводилось по той же методике, что и на хребте Жданко (28-30.09.2021-2023 гг.). Ягоды были полностью созревшими у всех представителей ценопопуляции (не обнаружено бурых или зеленых плодов), хорошо держались на ветках (не осыпались), имели приятный сладко-кислый вкус. Было отобрано 3 образца *V. ovalifolium* с плодами размером более 15 мм в диаметре (табл. 1), без признаков поражения болезнями и вредителями на всех вегетативных органах растения, а также без признаков подмерзания. Внимание при обследовании растений обеих ценопопуляций *V. ovalifolium* обращалось в первую очередь на продуктивность кустов (размер и количество ягод), а затем уже на все остальные помологически ценные признаки.

Нами в разрезе изученной территории черники овальнолистной выявлены эндогенная, индивидуальная, эколого-географическая изменчивость генеративных и вегетативных органов. Отмечено, что наибольшей степенью изменчивости (повышенная и средняя) выявлен признак количество ягод на 1 растении (табл. 1). Размеры ягод характеризовались средней и повышенной степенью изменчивости. Наиболее крупные ягоды черники овальнолистной отмечены на западном склоне увала около г. Оха (ЦП -2), причем увеличение размеров ягод отмечено в направлении с востока на запад.

Масса ягод черники овальнолистной имела низкую и среднюю степень изменчивости. Наиболее максимальная масса ягоды ($0,52 \text{ г} \pm 0,03$) отмечена в ЦП 2, расположенной около г. Оха, самая минимальная ($0,31 \pm 0,03$) – ЦП 1, расположенной на западном склоне хребта Жданко. Выявлено, что плодоношение черники овальнолистной по популяции имело высокую степень варьирования. В разных направлениях встречались кусты со значительным количеством ягод, с которыми рядом соседствовали одновременно куртины кустов без плодоношения. Нами степень плодоношения

черники в популяциях оценена как средняя и хорошая (3-4). Кусты со слабой и средней степенью плодоношения (2-3) выявлены в темнохвойном лесу (ЦП - 2). В популяции 1 на западном склоне хребта Жданко с плодоношением кустов отмечено в 1,5 раза больше, чем в популяции 2, находящейся южнее г. Оха 30 км.

На одном кусте наибольшее число ягод 27 штук выявлено на склоне хребта Жданко (ЦП 1), наименьшее - 6 шт. в ельнике в 30 км южнее г. Оха (ЦП-2, табл. 1).

Таблица 1.

Изменчивость плодов *Vaccinium ovalifolium* на Сахалине

Отбор- ная фор- ма	Число ягод на 1 кусте	Размеры ягод, мм*		V,%	Масса 1 ягоды, г	V,%	Степень плодоно- шения
		диаметр	длина				
Первая ценопопуляция (ЦП-1)							
Га 1-1	23	$\frac{10-12}{10.7\pm0,14}$	$\frac{5-10}{7,6\pm0,09}$	8,5	0,44±0,02	9,6	$\frac{0-5}{3,75}$
Га 1-2	21	$\frac{8-11}{9,5\pm0,05}$	$\frac{5-7}{5,8\pm0,02}$	10,5	0,32±0,04	8,0	$\frac{0-5}{3,98}$
Га 1-3	15	$\frac{9-10}{9,5\pm0,03}$	$\frac{4-6}{4,4\pm0,06}$	9,0	0,31±0,03	9,6	$\frac{1-5}{2,24}$
Га 1-4	18	$\frac{7-9}{7,4\pm0,11}$	$\frac{3-6}{3,9\pm0,06}$	7,5	0,34±0,02	7,9	$\frac{0-5}{3,4}$
Га 1-5	19	$\frac{8-12}{9,8\pm0,1.2}$	$\frac{5-9}{7,0\pm0,05}$	8,6	0,41±0,06	8,2	$\frac{0-5}{3,86}$
Вторая ценопопуляция (ЦП-2)							
Га 2-1	6	$\frac{13-15}{14,6\pm0,04}$	$\frac{5-7}{6,9\pm0,06}$	22,8	0.52±0,03	14,5	$\frac{0-5}{3,36}$
Га 2-2	12	$\frac{11-13}{11,9\pm0,01}$	$\frac{5-6}{5,5\pm0,05}$	29,3	0,44±0,03	16,6	$\frac{2-5}{3,7}$
Га 2-3	14	$\frac{10-14}{12,0\pm0,01}$	$\frac{4-6}{4,4\pm0,09}$	26,4	0,48±0,02	18,3	$\frac{0-5}{3,73}$

* - в числителе пределы, в знаменателе – среднее значение и ошибка

Га - черника овальнолистная (*V.ovalifolium*)

Нами наблюдалось варьирование формы ягод от дискообразной, сплюснутой, у которых в 1.5 раза ширина превышает длину. Тем не менее, в популяции произрастали кусты с округлыми и грушевидными плодами. Вкус ягод сладкий. Цвет ягод черный с сизым налетом, иссиние-черный или темно-фиолетовый, что согласуется с данными других авторов [8, 10].

Нами на протяжении ареала изучения отмечена изменчивость вегетативных морфологических признаков. Листья по форме и размерам изме-

няются от очень узких и мелких с вытянутой обратнойцевидной форме отмечены до округлых и довольно крупных. Листья встречались больше часто обратнойцевидной формы с превышением длины в 1,7 раз над шириной листовой пластинки. Отмечено, что в пределах популяции черники размеры листовой пластинки варьируют в средней и повышенной степени изменчивости (табл. 2).

Таблица 2.

Изменчивость вегетативных признаков *Vaccinium ovalifolium*

Отборные формы	Длина листа, мм*	V, %	Ширина листа, мм	V, %	Высота куста, м
Первая ценопопуляция (ЦП-1)					
Га 1-2	$\frac{68-74}{71,8 \pm 0,04}$	20,0	$\frac{40-43}{41,6 \pm 0,08}$	12,4	0,63
Га 1-3	$\frac{64-69}{67,7 \pm 0,05}$	17,5	$\frac{32-45}{41 \pm 0,15}$	12,8	0,44
Га 1-4	$\frac{69-72}{71,8 \pm 0,02}$	15,6	$\frac{43-56}{52 \pm 0,04}$	17,5	0,53
Га 1-5	$\frac{57-65}{62,4 \pm 0,14}$	16,0	$\frac{38-41}{39,4 \pm 0,06}$	11,6	0,67
Вторая ценопопуляция (ЦП-2)					
Га 2-1	$\frac{68-73}{71,5 \pm 0,15}$	29,3	$\frac{53-61}{55,5 \pm 0,12}$	22,8	0,87
Га 2-2	$\frac{63-71}{69,2 \pm 0,09}$	29,4	$\frac{48-59}{53,5 \pm 0,20}$	29,3	0,82
Га 2-3	$\frac{65-74}{72,5 \pm 0,10}$	27,2	$\frac{52-56}{54,8 \pm 0,07}$	26,4	0,78

*- в числителе лимиты, в знаменателе – среднее значение и ошибка

Изменчивость длины листьев черники овальнолистной находилась в пределах 0,59-0,74 см, ширина листьев – 0,38 – 0,61 см. Наиболее с максимальной длиной отмечены листья в ЦП 2 ($0,72 \pm 0,04$ см), ЦП 1 ($0,71 \pm 0,04$ см). Ширина листовой пластинки наиболее максимальной ($0,55 \pm 0,08$ см.) была отмечена в темно-хвойном лесу (ЦП 2). Изменчивость морфологических признаков листа практически не имела различий в зависимости от фитоценоотического окружения.

Признаком с наименее низкой изменяемой степенью изменчивости (11,6 – 18,0 %) выявлена высота куста черники овальнолистной и по популяциям составила около полуметра (табл.2). Наиболее максимальной высота куста была отмечена в 0,87 м, а минимальная 0,44 м. Из популяции от всех изученных кустов 52,1 % выявлено с высотой 68 см, 17 % - 55 см,

18% - 60 см, всего лишь 4 % - выявлены кусты с высотой 80 см, 7,2% – 72 см и 1,9 % кусты имели высоту 45 см. Замечено, что высота куста черники овальнолистной имеет прямую зависимость с возрастом. В популяции зарослей черники овальнолистной возраст плодоносящих кустов варьирует от 3 до 20 лет, при изменении высоты от 0,45 м до 0,7 м.

Выводы

В процессе филогенеза *Vaccinium ovalifolium* сформировались экологически устойчивые популяции к неблагоприятным факторам окружающей среды острова Сахалин, со всей его климатической уникальностью. Полиморфизм природных ценопопуляций *Vaccinium ovalifolium* при экспедиционном обследовании позволил выявить несколько перспективных форм с хозяйственно - ценными признаками. Отобранные образцы *V. ovalifolium* с ценными помологическими признаками в настоящее время произрастают на территории Ботанических садов (г. Южно-Сахалинск) и в Ботаническом саду ФГБНУ ВИЛАР в биологических коллекциях. Перспективные образцы размножены и на основе отобранных образцов *V. ovalifolium*, заложен участок первичного сортоизучения для сравнения ресурсной ценности местных природных эколого - генетических линий с интродуцированными, наиболее распространенными современными сортами *V. corymbosum*. Заложен опыт по разработке технологических рекомендаций по выращиванию *V. ovalifolium* в промышленном саду в условиях острова Сахалин.

Исследования проведены с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FGUU-2022-0014 «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения».

Список литературы

1. Воробьев Д.П. Растительность южной части побережья Охотского моря // Тр. ДВФ АН СССР. Сер. бот. Т. 2. Л.: Изд-во АН СССР. 1937. С. 19-102.
2. Воробьев Д.П. Растительность Курильских островов. М.: Л.: Изд-во АН СССР. 1963. 92 с.

3. Воробьев Д.П. Дикорастущие деревья и кустарники Дальнего Востока. Л.: Наука, 1968. 227 с.
4. Ворошилов В.Н. Определитель растений советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. 672 с.
5. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
6. Красикова В.И., Копанина А.В. Семенное размножение черники овальнолистной (*Vaccinium ovalifolium* Smith) в естественных условиях // Материалы XXXIV научно-практич. конф. преподавателей СахГУ (апрель, 1999 г.): Тез. докл. Южно-Сахалинск. Изд-во СахГУ, 2000. Ч. IV. С. 18-21.
7. Красикова В.И., Копанина А.В. Формирование первичного куста черники овальнолистной (*Vaccinium ovalifolium* Smith) // Классификация и динамика лесов Дальнего Востока: Материалы междунар. конф. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 239-242.
8. Копанина А.В. Краткосрочное прогнозирование урожая плодов черники овальнолистной // Материалы VIII Молодежной конференции ботаников в Санкт-Петербурге (17 – 21 мая 2004 г.). СПб.: СПГУТД, 2004. С. 216-217.
9. Копанина А.В. Таксономический статус и ареал черники овальнолистной. Деп. в ВИНТИ 30.07.04. № 1335 – В 2004. М., 2004. 48 с.
10. Копанина А.В. Урожайность черники овальнолистной (*Vaccinium ovalifolium* Smith) на юге острова Сахалина // Вестник СахГУ, 2004. <http://www.sakhgu.sakhalin.ru>
11. Копанина А.В. Фитоценотическая приуроченность черники овальнолистной (*Vaccinium ovalifolium* Smith) в южных и центральных районах острова Сахалина // XVIII конференция молодых ученых (Тез. докл.). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2004. С. 65-68.
12. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология: Принципы и методы. М.: Наука, 1978. 212 с.
13. Михалева В.М. О биологии брусники и черники в Якутской АССР // Почвенные и ботанические исследования в Якутии. Якутск, 1972. С. 74-86.
14. Недолужко В. А. Конспект дендрофлоры российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1995. 208 с.
15. Понятовская А.А. Учет обилия и характера размещения растений в сообществах // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209-285.
16. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999. 509 с.
17. Снакина Т.И. Интродукция черники овальнолистной (*Vaccinium uliginosum* L.) в Западной Сибири. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. биол. наук. Новосибирск, 2007. 16 с.

18. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л. Б. Заугольнова, Л. А. Жукова, А. С., Комаров А.С. и др. М.: 1988. 184 с.
19. Ballington J.R., Ballinger W.E., Maness E.P., Luby J.J. Anthocyanin, aglycone and aglycone-sugar content of the fruits of five species of *Vaccinium* section *Myrtillus* // *Can. J. Plant Sci.* 1988. Vol. 68. P. 241-246.
20. Clark J.R., Howard L., Talcott S. Variation in Phytochemical Composition of Blueberry Cultivars and Breeding Selections // *ISHS Acta Horticulturae 574: VII International Symposium on Vaccinium Culture*. 2002. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.574.30>
21. Conner A.M., Luby J.J., Tong C.B.S., Finn C.E., Hancock J.F. Genotypic and Environmental Variation in Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, and Anthocyanin Content among Blueberry Cultivars // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2002. Vol. 127(1). P. 89-97. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.1.89>
22. Durst R.W., Wrolstad R.E. Unit F1.3: Anthocyanins. Separation and Characterization of Anthocyanins by HPLC // *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 2001. P. 1-13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0103s00>
23. Ehlenfeldt M.K., Prior R.L. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry // *J. Agr. Food Chem.* 2001. Vol. 49(5). P. 2222-2227. <https://doi.org/10.1021/jf0013656>
24. Giusti M., Wrolstad R.E. Unit F1.2: Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy // *Current protocols in food analytical chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
25. Hancock J.F., Siefker J.H. Levels of Inbreeding in Highbush Blueberry Cultivars // *HortScience*. 1982. Vol. 17(3). P. 363-366. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.17.3.363>
26. Howard L.R., Clark J.R., Brownmiller C. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season // *J. Sci. Food Agr.* 2003. Vol. 83. P. 1238-1247. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1532>
27. Lee J., Durst R.W., Wrolstad R.E. Impact of Juice Processing on Blueberry Anthocyanins and Polyphenolics: Comparison of Two Pretreatments // *J. Food Sci.* 2002. Vol. 67. P. 1660-1667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08701.x>
28. Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity // *J. Agr. Food Chem.* 2001. Vol. 49. P. 4076-4082. <https://doi.org/10.1021/jf010152t>

29. Kalt W., Dufour D. Health functionality of blueberries // HortTechnology. 1997. Vol. 7. P. 216-221.
30. Kalt W., McDonald J.E., Donner H. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products // Journal of Food Science. 2000. Vol. 65. P. 390-393. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16013.x>
31. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes // J. Agr. Food Chem. 2002. Vol. 50. P. 519-525. <https://doi.org/10.1021/jf011062r>
32. Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland C.M. Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of Vaccinium Species // J. Agr. Food Chem. 1998. Vol. 46. P. 2686-2693. <https://doi.org/10.1021/jf980145d>
33. Zheng W., Wang S.Y. Oxygen Radical Absorbing Capacity of Phenolics in Blueberries, Cranberries, Chokeberries, and Lingonberries // J. Agr. Food Chem. 2003. Vol. 51. P. 502-509. <https://doi.org/10.1021/jf020728u>

References

1. Vorobyev D.P. Vegetation of the southern part of the coast of the Sea of Okhotsk. *Tr. DVF AN SSSR. Ser. bot.*, 1937, vol. 2, pp. 19-102.
2. Vorobyev D.P. *Vegetation of the Kuril Islands*. M.: L.: Academy of Sciences of the USSR, 1963, 92 p.
3. Vorobyev D.P. *Wild trees and shrubs of the Far East*. L.: Nauka, 1968, 227 p.
4. Voroshilov V.N. *Determinator of plants of the Soviet Far East*. Moscow: Nauka, 1982, 672 p.
5. Zaitsev G.N. *Mathematical statistics in experimental botany*. Moscow: Nauka, 1984, 424 p.
6. Krasikova V.I., Kopanina A.V. Seed reproduction of blueberry ovalifolium (*Vaccinium ovalifolium* Smith) in natural conditions. *Proceedings of the XXXIV scientific and practical conference of teachers of SakhGu (April, 1999)*. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhGuU Publ., 2000. Part IV, pp. 18-21.
7. Krasikova V.I., Kopanina A.V. Formation of primary bush of oval-leaved blueberry (*Vaccinium ovalifolium* Smith). *Classification and Dynamics of Forests of the Far East: Proceedings of the International Conf.* Vladivostok: Dalnauka, 2001, pp. 239-242.
8. Kopanina A.V. Short-term forecasting of fruit yield of blueberry oval-leaved. *Proceedings of the VIII Youth Conference of Botanists in St. Petersburg (May 17-21, 2004)*. SPb.: SPGUTD, 2004, pp. 216-217.

9. Kopanina A.V. Taxonomic status and areal of the oval-leaved bilberry. Dep. in VINITI 30.07.04. № 1335 - V 2004. M., 2004. 48 c.
10. Kopanina A.V. Yield of oval-leaved bilberry (*Vaccinium ovalifolium* Smith) in the south of Sakhalin Island. *Vestnik SakhGU*, 2004. <http://www.sakhgu.sakhalin.ru>
11. Kopanina A.V. Phytocenotic predilection of oval-leaved bilberry (*Vaccinium ovalifolium* Smith) in the southern and central areas of Sakhalin Island. *XVIII Conference of Young Scientists*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMG&G FEB RAS, 2004, pp. 65-68.
12. Mirkin B.M., Rosenberg G.S. *Phytocenology: Principles and Methods*. M.: Nauka, 1978, 212 p.
13. Mikhaleva V.M. On the biology of cowberry and bilberry in the Yakut ASSR. *Soil and botanical studies in Yakutia*. Yakutsk, 1972, pp. 74-86.
14. Nedoluzhko V.A. *Conspectus of the dendroflora of the Russian Far East*. Vladivostok: Dalnauka, 1995, 208 p.
15. Poniatovskaya A.A. Accounting for the abundance and character of plant placement in communities. *Field Geobotany*. M.; L.: Nauka, 1964. Vol. 3. P. 209-285.
16. Program and methodology of varietal studies of fruit, berry and nut crops. Orel, 1999, 509 p.
17. Snakina T.I. *Introduction of oval-leaved blueberry (*Vaccinium uliginosum* L) in Western Siberia*. Author's dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences. Novosibirsk, 2007, 16 p.
18. *Cenopopulations of plants (Essays on population biology)* / L.B. Zaugolnova, L.A. Zhukova, A.S., Komarov A.S. et al. M.: 1988, 184 p.
19. Ballington J.R., Ballinger W.E., Maness E.P., Luby J.J. Anthocyanin, aglycone and aglycone-sugar content of the fruits of fivespecies of *Vaccinium* section *Myrtillus*. *Can. J. Plant Sci.*, 1988, vol. 68, pp. 241-246.
20. Clark J.R., Howard L., Talcott S. Variation in Phytochemical Composition of Blueberry Cultivars and Breeding Selections. *ISHS Acta Horticulturae 574: VII International Symposium on Vaccinium Culture*. 2002. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.574.30>
21. Conner A.M., Luby J.J., Tong C.B.S., Finn C.E., Hancock J.F. Genotypic and Environmental Variation in Antioxidant Activity, Total Phenolic Content, and Anthocyanin Content among Blueberry Cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2002, vol. 127(1), pp. 89-97. <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.1.89>
22. Durst R.W., Wrolstad R.E. Unit F1.3: Anthocyanins. Separation and Characterization of Anthocyanins by HPLC. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 2001, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0103s00>

23. Ehlenfeldt M.K., Prior R.L. Oxygen Radical Absorbance Capacity (ORAC) and Phenolic and Anthocyanin Concentrations in Fruit and Leaf Tissues of Highbush Blueberry. *J. Agr. Food Chem.*, 2001, vol. 49(5), pp. 2222-2227. <https://doi.org/10.1021/jf0013656>
24. Giusti M., Wrolstad R.E. Unit F1.2: Anthocyanins. Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*. John Wiley & Sons, New York, 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
25. Hancock J.F., Siefker J.H. Levels of Inbreeding in Highbush Blueberry Cultivars. *HortScience*, 1982, vol. 17(3), pp. 363-366. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.17.3.363>
26. Howard L.R., Clark J.R., Brownmiller C. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *J. Sci. Food Agr.*, 2003, vol. 83, pp. 1238-1247. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1532>
27. Lee J., Durst R.W., Wrolstad R.E. Impact of Juice Processing on Blueberry Anthocyanins and Polyphenolics: Comparison of Two Pretreatments. *J. Food Sci.*, 2002, vol. 67, pp. 1660-1667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08701.x>
28. Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity. *J. Agr. Food Chem.*, 2001, vol. 49, pp. 4076-4082. <https://doi.org/10.1021/jf010152t>
29. Kalt W., Dufour D. Health functionality of blueberries. *HortTechnology*, 1997, vol. 7, pp. 216-221.
30. Kalt W., McDonald J.E., Donner H. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products. *Journal of Food Science*, 2000, vol. 65, pp. 390-393. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb16013.x>
31. Moyer R.A., Hummer K.E., Finn C.E., Frei B., Wrolstad R.E. Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: Vaccinium, Rubus, and Ribes. *J. Agr. Food Chem.*, 2002, vol. 50, pp. 519-525. <https://doi.org/10.1021/jf011062r>
32. Prior R.L., Cao G., Martin A., Sofic E., McEwen J., O'Brien C., Lischner N., Ehlenfeldt M., Kalt W., Krewer G., Mainland C.M. Antioxidant Capacity As Influenced by Total Phenolic and Anthocyanin Content, Maturity, and Variety of Vaccinium Species. *J. Agr. Food Chem.*, 1998, vol. 46, pp. 2686-2693. <https://doi.org/10.1021/jf980145d>
33. Zheng W., Wang S.Y. Oxygen Radical Absorbing Capacity of Phenolics in Blueberries, Cranberries, Chokeberries, and Lingonberries. *J. Agr. Food Chem.*, 2003, vol. 51, pp. 502-509. <https://doi.org/10.1021/jf020728u>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лебедев Дмитрий Валерьевич, руководитель научно-производственной группы

*Сахалинский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН
ул. Горького, 21, г. Южно-Сахалинск, 693023, Российская Федерация
dimitriileb@yandex.ru*

Сорокопудов Владимир Николаевич, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории

*Ботанический сад ФГБНУ ВИЛАР
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
sorokopud2301@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Dmitry V. Lebedev, Head of Research and Production Team

*Sakhalin Branch of the Botanical Garden-Institute FEB RAS
21, Gorky Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russian Federation
dimitriileb@yandex.ru*

Vladimir N. Sorokopudov, Dr. Sci., Professor, Chief Scientific Associate of the Laboratory

*All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Botanical Garden
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation
sorokopud2301@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>*

Поступила 08.11.2023

После рецензирования 18.12.2023

Принята 29.12.2023

Received 08.11.2023

Revised 18.12.2023

Accepted 29.12.2023

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-835

UDC 581.95: 58.051



Original article

THE PROBLEM OF REFORESTATION OF WOODY VEGETATION OF MOUNTAIN RANGES OF KON CHU RANG NATURE RESERVE (VIETNAM)

*A.V. Solonkin, A.I. Belyaev, A.M. Pugacheva, N.D. Hoi,
A.S. Solomentseva, S.A. Egorov, D.H. Cuong, T.T.T. Huong*

Background. The article presents materials on the study of the main tree species especially valuable for reforestation in the Kon Chu Rang nature reserve (Vietnam). It has been established that the diversity, as well as the physico-chemical and granulometric composition of the soil cover of the mountain range are due to the diversity of rocks in connection with the geological structures to which they are confined (the Pleiku plateau is located on basalt shales). It was revealed that the climatic conditions of the Kon Chu Rang nature reserve are characterized by high humidity and an abundance of precipitation throughout the year, which is why, due to the high washing regime, the soils are depleted of elements valuable for the growth and development of tree species. Most of the species grown in the nurseries of Vietnam are introduced, in this regard, the cultivation of seedlings and seedlings of valuable species for reforestation with a closed root system and an established irrigation regime, herbicides and fertilizers is required.

Purpose. To study the possibility of reproduction of native forest tree species in the conditions of the mountain plateau of Central Vietnam.

Materials and methods. The object of research was the climatic conditions of Vietnam, the soils of various relief elements of the Kon Chu Rang nature reserve, rare and especially valuable tree species: *Dacrydium elatum* Roxb. Wall. ex Hook., *Michelia tonkinensis* A. Chev., *Dialium cochinchinense* Pierre, *Dipterocarpus kerrii* King., *Dacrycarpus imbricatus* de Laub., as well as methods of their accelerated

reproduction for reforestation. In order to determine the physico-mechanical and physico-chemical, chemical, agrochemical and biological properties of soils on the territory of the Kon Chu Rang nature reserve, soil samples were taken to a depth of 120 cm in increments of 10 cm on various elements of the mountain relief: on a shrub meadow site, in a forest with native tree species, on a pilot site of a hospital in the area of the reserve reserved for a forest nursery. When solving the tasks, methods of field experiment, expedition research were used, with the help of the Garmin device, the coordinates of the seed and seedling collection points were determined and fixed in order to build a route survey map. Seasonal development of trees was studied on the basis of field and research. The height of seedlings was measured at the beginning and end of the study period. Every plant in the collection was measured. The reproductive ability of species was studied by quantitative and qualitative characteristics of fruiting. In laboratory analyses were used the Kapel' – 105M, capillary electrophoresis system, laboratory scales TO VK-600, analytical scales VL-220C, spectrophotometer PE-5400 UV. Mathematical processing of the results is carried out in the MS Excel and Statistica application programs using small arrays of observational data that were combined into homogeneous clusters.

Results. *The article contains data from studies of mountain forest territories, relief and soils of the Kon Chu Rang nature reserve (Vietnam), the main results of which are aimed at preserving and reproducing indigenous especially valuable tree species exposed to anthropogenic impact. It has been determined that many introduced species of 12 nurseries in Vietnam are extremely difficult to reproduce in mountainous terrain due to their morphological and biological characteristics, as a result of which they cannot be used for reforestation. It was revealed that the soil cover of the Kon Chu Rang nature reserve is characterized by variegation, distribution of areas, granulometric composition and humus content. Due to the large amount of precipitation, the soils are depleted of the necessary composition of elements necessary for good growth and development of woody species. It is determined that for the successful cultivation of especially valuable tree species in the nursery, surface watering and constant maintenance of soil moisture, treatment with herbicides and fertilizers are necessary. Seedlings are recommended to be grown in containers with a closed root system.*

Conclusions. *Based on the data obtained as a result of studying the soil and climatic conditions of the Kon Chu Rang nature reserve (Vietnam), as well as the results of creating an experimental nursery of seed material for reforestation, it can be concluded that with the correct selection of irrigation standards, herbicides and fertilizers, it is possible to obtain a standard yield of standard planting material from a unit to ensure a high survival rate of seedlings and seedlings, as well as their*

subsequent growth, which will solve the urgent problems of improving the species composition of the indigenous forests of the Vietnam.

Keywords: development; growth; Kon Chu Rang; mountain range; nature reserve; native tree species; soils

For citation. Solonkin A.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Hoi N.D., Solomentseva A.S., Egorov S.A., Cuong D.H., Huong T.T.T. The Problem of Reforestation of Woody Vegetation in Mountain Ranges of Kon Chu Rang Nature Reserve (Vietnam). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 443-473. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-835

Научная статья

К ПРОБЛЕМЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРНЫХ МАССИВОВ ЗАПОВЕДНИКА КОН ТЮ РАНГ (ВЬЕТНАМ)

*А.В. Солонкин, А.И. Беляев, А.М. Пугачёва, Н.Д. Хой,
А.С. Соломенцева, С.А. Егоров, Д.Х. Кыонг, Ч.Т.Т. Хыонг*

Обоснование. В статье представлены материалы по изучению основных особо ценных для лесовосстановления древесных видов в условиях заповедника Кон Тю Ранг (Вьетнам). Установлено, что пестрота, а также физико-химический и гранулометрический состав почвенного покрова горного массива обусловлены разнообразием горных пород в связи с геологическими структурами, к которым они приурочены (плато Плейку расположено на базальтовых сланцах). Выявлено, что климатические условия заповедника Кон Тю Ранг отличаются высокой влажностью и обилием осадков на протяжении круглого года, ввиду чего, из-за высокого промывного режима, почвы обеднены ценными для роста и развития древесных видов элементами. Большая часть выращиваемых в питомниках Вьетнама видов – интродуценты, в связи с этим требуется выращивание сеянцев и саженцев ценных для лесовосстановления пород с закрытой корневой системой и установленным режимом орошения, внесения гербицидов и удобрений.

Цель. Изучение возможности воспроизводства нативных лесных видов деревьев в условиях горного плато Центрального Вьетнама.

Материалы и методы. Объектом изучения являлись климатические условия Вьетнама, почвы различных элементов рельефа заповедника Кон Тю Ранг,

редкие и особо ценные древесные виды: *Dacrydium elatum* Roxb. Wall. ex Hook., *Michelia tonkinensis* A. Chev., *Dialium cochinchinense* Pierre, *Dipterocarpus kerrii* King., *Dacrycarpus imbricatus* de Laub., а также способы их ускоренного размножения для лесовосстановления.

С целью определения физико-механических и физико-химических, химических, агрохимических и биологических свойств почв на территории заповедника Кон Тю Ранг были отобраны почвенные пробы на глубину 120 см с шагом в 10 см на различных элементах горного рельефа: на участке кустарникового луга, в лесу с нативными древесными видами, на опытном участке стационара в зоне заповедника, отведенном под лесной питомник. При решении поставленных задач использовались методы натурного эксперимента, экспедиционные исследования, с помощью прибора «Garmin» были определены и зафиксированы координаты точек сбора семян и сеянцев с целью построения карты маршрутного обследования. Сезонное развитие деревьев изучалось на основе натурных и исследований. Высота сеянцев измерялась в начале и конце периода исследований. Замерялось каждое растение в коллекции. По количественным и качественным характеристикам плодоношения изучалась репродуктивная способность видов. При лабораторных анализах использовалась система капиллярного электрофореза Капель – 105М, весы лабораторные К ВК-600, весы аналитические ВЛ-220С, спектрофотометр ПЭ-5400 УФ. Математическая обработка результатов осуществляется в прикладных программах MS Excel и Statistica с использованием малых массивов данных наблюдений, которые объединялись в однородные кластеры.

Результаты. Статья содержит данные исследований горных лесных территорий, рельефа и почв заповедника Кон Тю Ранг (Вьетнам), основные результаты которых направлены на сохранение и воспроизводство коренных особо ценных древесных видов, подвергающихся антропогенному воздействию. Установлено, что большая часть ассортимента 12 питомников Вьетнама представлена интродуцированными видами, которые в условиях горного рельефа крайне трудно размножаются из-за своих морфологических и биологических особенностей, вследствие чего не могут быть использованы для лесовосстановления. Выявлено, что почвенный покров заповедника Кон Тю Ранг отличается пестротой, распределением площадей, гранулометрическим составом и содержанием гумуса. Ввиду большого количества осадков почвы обеднены необходимым составом необходимого для хорошего роста и развития древесных видов элементов. Определено, что для успешного выращивания особо ценных древесных видов на питомнике необходим поверхностный

полив и постоянное поддержание почвенной влаги, обработка гербицидами и удобрениями. Сеянцы рекомендуется выращивать в контейнерах с закрытой корневой системой.

Выводы. Основываясь на полученных в результате изучения почвенно-климатических условий горной территории заповедника Кон Тю Ранг (Вьетнам) данных, а также результатах создания экспериментального питомника посевного материала для проведения лесовосстановительных работ, можно сделать выводы о том, что при правильном подборе норм орошения, гербицидов и удобрений возможно получить нормативный выход стандартного посадочного материала с единицы площади, обеспечить высокую приживаемость сеянцев и саженцев, а также последующий их рост, что решит актуальные проблемы по улучшению видового состава коренных лесов Вьетнама.

Ключевые слова: заповедник; горный массив; Кон Тю Ранг; почвы; древесные виды; рост; развитие

Для цитирования. Солонкин А.В., Беляев А.И., Пугачёва А.М., Хой Н.Д., Соломенцева А.С., Егоров С.А., Кыонг Д.Х., Хыонг Ч.Т.Т. К проблеме лесовосстановления древесной растительности горных массивов заповедника Кон Тю Ранг (Вьетнам) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 443-473. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-835

Introduction

The relevance and novelty of research at the tropical research and technology center is due to the lack of database on dynamics and succession processes occurring in the most complexly organized and species-rich ecological systems. Research in the field of growing seedlings of the main species of native trees is of particular importance in the study and selection of species that can withstand the aggressive effects of tropical climate factors and anthropogenic impacts. Growing seedlings, nursery farming, conservation of biodiversity (gene pool), studying the transformation of nature and climate, restoration and management of environment-forming ecosystems, biosystems safety are relevant for both Russia and Vietnam. The conservation and restoration of tropical forest ecosystems currently faces numerous difficulties, since the structure of tropical forests is very complex: most of them are secondary forests that are influenced by anthropogenic factors, so their restoration in a natural way is difficult [6]. Wood resources, which are of high importance for the forest sector, ecology and economy, require constant assessment of the level of efficiency of their use [9]. The trends of the timber industry in Vietnam are currently developing insufficiently efficiently, which requires adjustment of their integrated use and

development of the most effective areas of use [1]. Most territories and rare endangered tree species are subject to intense anthropogenic impact, and their response is determined by the terrain, the general species composition of the monsoon tropical forest, the structure of the forest stand, natural and climatic factors, biological and morphological features, microclimate, soil and hydrological features of the growing area. Wooded areas are characterized by sharp boundaries of savanna-like communities and forest stands, which is not typical for tropical forests. The long-term stable existence of herbaceous communities, which is not typical for this territory, may indicate a violation of successional changes, and the absence of the possibility of reproduction of indigenous species due to the lack of seed sources (diasporic subclimax). soil and hydrological features of the growing area. Wooded areas are characterized by sharp boundaries of savanna-like communities and forest stands, which is not typical for tropical forests. The long-term stable existence of herbaceous communities, which is not typical for this territory, may indicate a violation of successional changes, and the absence of the possibility of reproduction of indigenous species due to the lack of seed sources (diasporic subclimax). soil and hydrological features of the growing area. Forested areas are characterized by sharp boundaries of savanna-like communities and tree stands, which is not typical for tropical forests. The long-term stable existence of herbaceous communities, which is not typical for this territory, may indicate a violation of successional changes, and the absence of the possibility of reproduction of indigenous species due to the lack of seed sources (diasporic subclimax).

An analysis of the assortment of 12 nurseries in Vietnam showed that, as before, more than half of the assortment are introduced species. Native tree species cannot be renewed even when seedlings are planted due to their biological and morphological characteristics.

In this regard, the issue of creating conditions for the restoration of native species through the formation of nurseries, where seedlings will be consistently introduced to artificially form the canopy of the buffer tree zone, is particularly relevant.

The purpose of this work is to study the possibility of reproducing native forest tree species of the mountain plateau in the Central Highlands of Vietnam.

Scientific novelty

Based on the data obtained as a result of further research on the growth, development, methods of reproduction of tree species (vegetative, seed), it is possible to develop a nursery base, the main task of which will be the cultiva-

tion of high-quality planting material with optimal conditions for its cultivation. Priority and topical areas are also measures to create a breeding base and maintain forest reproduction, preserve and increase biodiversity by providing a nursery on the basis of the Kon Chu Rang nature reserve with seed material for reforestation. This will make it possible to obtain the normative yield of standard planting material per unit area, to ensure high survival rate when transplanting seedlings and seedlings to the afforestation area, as well as their subsequent growth.

Materials and methods

In order to determine the physicochemical and physicochemical, chemical, agrochemical and biological properties of soils on the territory of the Kon Chu Rang nature reserve, soil samples were taken to a depth of 120 cm in increments of 10 cm (coordinates of the sampling site N 14°28.449 E 108°32.552). Also, soil samples were taken on the territory where the model nursery was created for the purpose of comparative analysis (Fig. 1).



Fig. 1. Taking soil samples on the territory of the reserve

To take soil samples, samples were taken at a depth of 10–20 cm using a Kachinsky drill in layers (10 cm) to a depth of 120 cm. The mass of one sample was 0.5 kg. Immediately after sampling, the samples were transferred to plastic bags with labels indicating the date and place of sampling, and the depth of sampling. After transportation to the Russian Federation, the soil was dried to an air-dry state. Large aggregates were ground, plant roots and foreign inclusions were removed. The dried soil was ground in a porcelain mortar and sifted through a sieve, repeating the operation until only its stony part remained in the sieve. The unused part of the soil was placed in storage and provided with a label for future analyzes [11].

Using thermoweight analysis, the moisture content of the samples was determined, the moisture reserves were calculated using formula 1:

$$W = 0.1 \cdot q \cdot h \cdot (u - k) \quad (1)$$

where W – reserves of productive moisture, mm in. With.

q – mass of 1 cm³ of soil, g

h – thickness of the horizon, or soil layer, cm

k – moisture content of stable wilting, %

0.1 – mm water column, conversion factor corresponding to a water reserve of 1 m/ha/

The following equipment was also used in the analysis: droplet electrophoresis system Kapel - 105M, laboratory scales K VK-600, analytical scales VL-220S, spectrophotometer PE-5400 UV.

When solving the assigned problems, methods of natural experiment and expeditionary research were used. Mathematical processing of the results is carried out in the MS Excel and Statistica application programs using small arrays of observational data, which were combined into homogeneous clusters.

Objects of research were selected based on the construction of survey routes. Species names were specified on the website of the International Nomenclature IPNI [14]. Using data from catalogs and reference books of the reserve, an analysis of the flora of the study area was carried out.

To study the growth of seedlings and the increments of germinating seeds, annual measurements of the stem height were carried out.

Phenological observations were carried out on the main phases of plant development.

The seasonal development of trees was studied on the basis of natural and research. Seedling height was measured at the beginning and end of the study period. Each plant in the collection was measured. According to the quantitative and qualitative characteristics of fruiting, the reproductive ability of the species was studied.

During the route study of a part of the territory of the reserve, fruits and seeds of the main species of woody vegetation found and valuable for further reproduction were identified and collected:

- 1) *Dialium cochinchinensis* Pierre. *Dialium* Colchis, or velvet tamarind. A protected species of the legume family (Fabaceae). A tree of medium height is about 35 m. The trunk diameter is 80-100 cm, the fruit is an ovoid pod, 18-20 mm long and 13-15 mm wide, the seeds (usually 1-2 pieces per fruit) are surrounded by edible pulp.
- 2) *Michelia tonkinensis* Dandy. (*Magnolia balansae* A. DC.). Valuable species of the Magnoliaceae family.
- 3) *Michelia mediocris*. Valuable species of the Magnoliaceae family. It is promising for reforestation of the forests of the Kon Chu Rang nature reserve.
- 4) *Dacrydium elatum* Roxb. wall. ex Hook. Family Podocarpaceae Endl. A tree is up to 30 m in height, with a diameter of up to 80 cm. It is a rare species, promising for propagation and restoration in natural plantings of the reserve.
- 5) *Dacrycarpus imbricatus* de Laub. A tree is up to 50 m in height and 50-70 cm in diameter. The species is nationally vulnerable species in Vietnam. It is important for the restoration of indigenous forests.

Also, the seed material of the main genera and families of high value for reforestation and nursery production in Kon Chu Rang nature reserve and the Central Highlands of Vietnam was isolated and collected: the family Lauraceae Juss. – 6 species, all of which were fruiting at the time of the survey of the territory of the reserve, the family Dipterocarpaceae Blume. – 3 species bearing fruit 2-3 weeks before the study, *Choeraspondias axillaris* BL Burt and AW Hill (Anacardiaceae R. Br. family) – 1 species, Fagaceae Dumort family. nom. cons. - *Lithocarpus* - 8 species, almost all fruited in October-November, *Castanopsis* - 2 species (fruited in October-November), *Quercus* - 1 or 2 species, fruited in October-November, *Mastixia* Blume. (family Nyssaceae Juss. ex. Dumort.) - 1 species, fruiting in November, *Camellia* L. (family Theaceae Mirb. ex. Ker Gawl.) - 2 species, of which one fruited in November, the second - in October, *Hydnocarpus* Gaerth. (family Achariaceae Harms.), family Fabaceae Lindl. - *Ormosia* Jacks. – 2 species, fruiting in October-November, *Archidendron* sp. - 1 species, fruited in October-November, *Dialium cochinchinensis* - 1 species, fruited in October-November. With the help of the Garmin device, the coordinates of the places for collecting seeds and seedlings were determined and recorded in order to build a map of the route survey (Fig. 2).

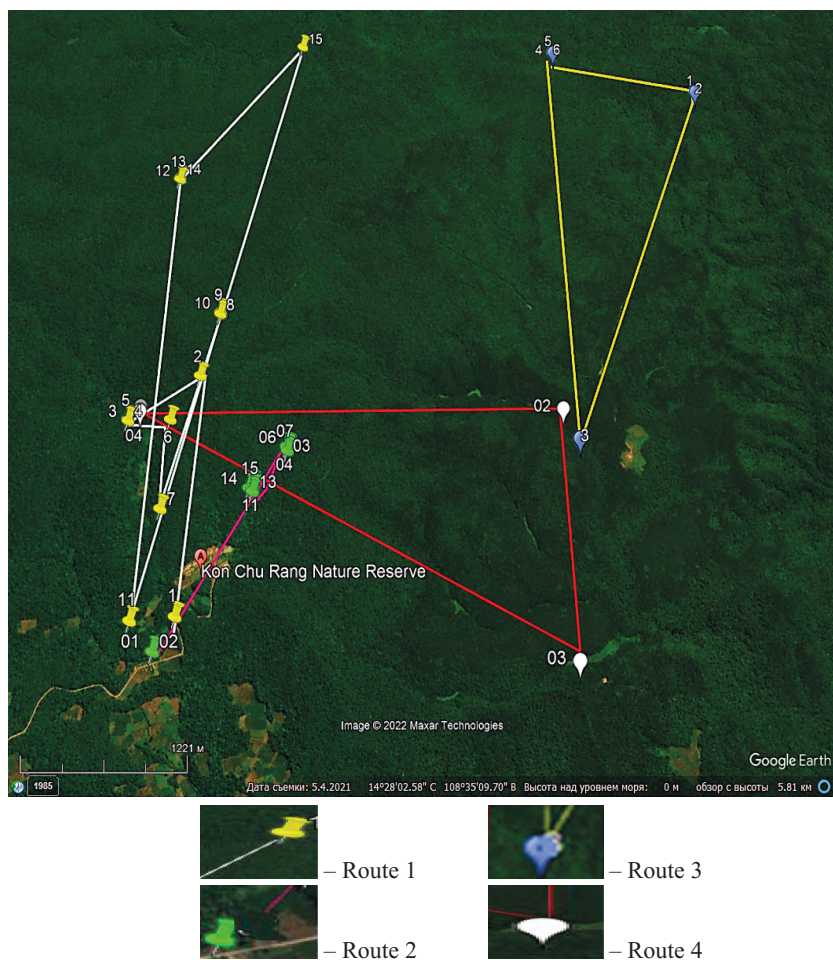


Fig. 2. Research routes

Results and discussion

During the study of natural conditions, it was found that the Con Thu Rang Nature Reserve is located on the border of the North Central Highlands and the South Central Coast of Vietnam [3, 7]. Thus, the climate simultaneously bears the characteristics of a tropical monsoon climate in the highlands and a tropical monsoon climate in the southern Central Coast (Fig. 3).

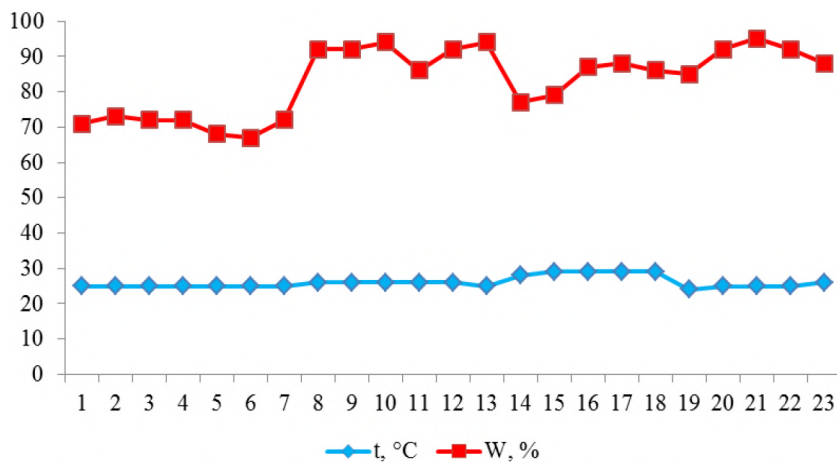


Fig. 3. Climatic conditions of the Kon Chu Rang nature reserve during the observation period and the climate tower

The climate of the reserve has the following main characteristics:

- There are 2 different seasons throughout the year: the rainy season and the dry season.
- The rainy season lasts from May to December. There are 2 periods of maximum precipitation - in May-June and October-November. There is usually a

dry period between the rainy season in July, August or September. Rare rainfall occurs during these months.

– The dry season lasts from January to April, the driest is in February, the amount of precipitation in this month is sometimes less than 10 mm. Precipitation during the dry season accounts for only 10-20% of the total annual precipitation.

– Temperature regime: the average annual temperature ranges from 20 to 23 °C. The temperature range between day and night is quite large - about 10 °C. The highest temperature does not exceed 38 °C (usually in April), the lowest temperature does not fall below 7 °C (usually in January).

– Rainfall: Due to the direct influence of the climate regime of the south-central coast, the rainy season lasts longer than in other areas of K'Bang district. Total annual precipitation ranges from 2000 to 2400 mm.

– Humidity: The average annual air humidity is quite high – 82%, the maximum value sometimes reaches > 90%, then, in the dry season, it decreases to 70-75% (Fig. 4) [10].

In the course of studying the territory of the Con Chu Rang Reserve along the route trails, it was found that a tree stand dominates in the tropical monsoon forest, along with this, tiers subordinate to the stand develop (Fig. 4).

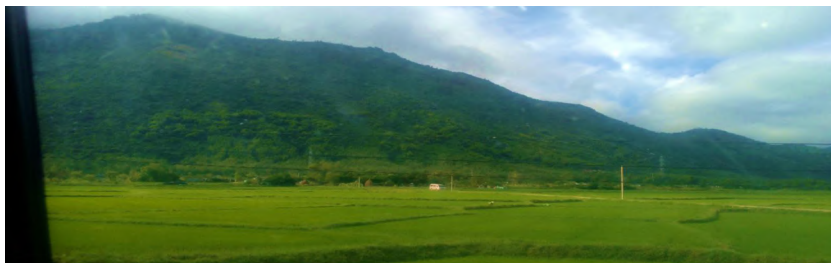




Fig. 4. Monsoon rainforests of the Central Highlands of Vietnam

It has been established that shrubs play a small role in the shrub layer [17]. Due to root competition for oxygen, the content of which in tropical soils is very low, in places with dense shade, the undergrowth of tree species is well developed, plant vitality is 5 points (high).



Fig. 5. A typical epiphyte on a tree and a termite tree

On most tall trees, the presence of tubers of *Myrmecodia tuberosa* is noted, a species that is light-loving and does not tolerate shade under the canopy of a closed forest. Many species of ants settle in accumulations of detritus or in tuber cavities and build nests there (Fig. 5) [8].

It was revealed that significant changes in the tropical forest are currently taking place under the influence of anthropogenic factors, large areas of the forest, even after a single irrational selective felling, are not restored due to the poor soil composition. The development of a secondary forest was noted, characterized by rapid growth (12 m in 3 years), but short-lived, and low in height compared to the primary (Fig. 6).



Fig. 6. The results of anthropogenic impact on the rainforest and its pronounced tiering

During the study of mountain tropical forests, the authors studied the available information, including a trip to Pleiku (250 km from Kon Chu Rang nature

reserve) to the Tropical Forest Science Center nursery to get acquainted with the main assortment of plants. The nursery has been operating for more than 30 years, the total area of the center is about 400 hectares. Tree species grown: *Pterocarpus makrokarpos*, *Dalbergia cochinchinensis*, *Hopea odorata*, *Azelia xylocarpa*, *Dalbergia bariaensis*, *Irvingia malayana*, *Pinus kesiya*, *Michelia mediocris*, *Paramichelia braiannensis*, *Dalbergia tonkinensis*, *Dipterocarpus alatus*, *Lagerstroemia speciosa*, *Dialium cochinchinensis*, *Michelia alatus kinensis*, *Gliptostrobos pensilis*, *Prunus arborea*, *Eurycoma longifolia*. Many of these species are grown for landscaping and urban greening.

During route surveys of the reserve territory, seeds and seedlings of rare and endangered tree species were collected, the preservation of which required a more detailed study of their morphological and taxonomic features using modern technology and equipment [4, 5, 2]:

- *Dacridium elatum* Roxb. wall. ex Hook. (Podocarpaceae). Tree (coordinates for collecting seeds and seedlings N 14028.164" E 108032.953"; N 14029.985" E 108032.738");

- *Michelia tonkinensis* A. Chev. (*Magnolia balansae* A. DC.). Tree (collection coordinates N 14028.214" E 108032.913");

- *Dialium cochinchinense* Pierre (Fabaceae). Tree (collection coordinates N 14028.214" E 108032.913");

- *Dipterocarpus kerrii* King. (Dipterocarpaceae). Tree (seed collection coordinates N 14030.745" E 108034.313").

- *Dacrycarpus imbricatus* de Laub. Tree (seed collection coordinates N 14029.081" E 108032.480") (Fig. 7).

During the research, it was found that the soils of Vietnam differ in the distribution of areas and granulometric composition [12]:

- Red-yellow ferrallitic soil (Fha): Area 7680 hectares, which is 49.8% of the reserve area in the northeastern mountains and upstream of the Sai stream. The soil is formed on hard rocks, so the humus layer and abundant litter are difficult to decompose. The soil texture is medium to light and porous, making it susceptible to erosion.

- Red-brown ferrallitic soil (FHk): An area of 5470 hectares, which is 35.5% of the reserve's area, occupies the southwest of the reserve, on the right bank of the Sai stream. The soil is formed on basalt rocks, the humus layer is quite thick. The soil layer is deep and uniform. The mechanical composition of the soil is heavy. The soil is porous and does not contain stone particles.

- Yellow-red feralite soil on sedimentary and metamorphic rocks (FHs): the area is 1450 hectares, which is 9.4% of the total area of the reserve. It spreads

from the northeast and left bank of the Sai stream to the border with Binh Dinh province. The soil is formed on sedimentary rocks and has a fine-grained composition. The soil layer is thick to medium, the humus layer is quite thick, more than 20 cm. The mechanical composition is heavy, the soil is quite dense.

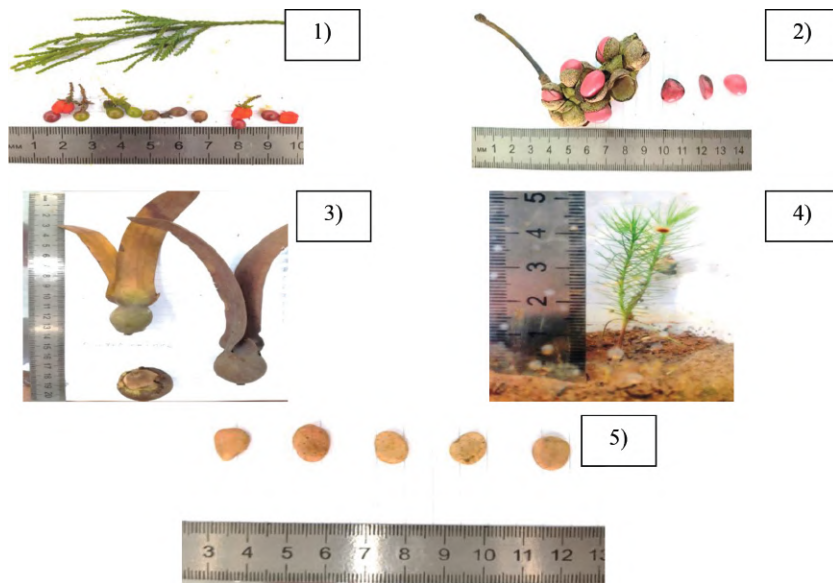


Fig. 7. Valuable tree species for reforestation of the mountainous territory of the Republic of Vietnam: 1 – *Dacrydium elatum*, 2 – *Michelia tonkinensis*, 3 – *Dipterocarpus kerrii*, 4 – *Dacrycarpus imbricatus*, 5 – *Dialium cochinchinense*

– Light yellow feralite soil (Fa): an area of 840 ha, which is 5.5% of the total area of the reserve. It extends along the valley of the Sei stream and the lowlands bordering Binh Dinh province, southeast of the reserve. The soil is formed on granite and rhyolite rocks. The rock is hard and difficult to weather, there are many mixed rocks in the soil layer, the humus layer is thin, the mechanical composition is light and coarse.

– In addition to the four types of soils described above, the presence of waterlogged soils in swamps, alluvial soils in the mouths of rivers and streams is also noted in the territory of the Kon Chu Rang nature reserve (Table 1) [19, 17, 16, 21, 13, 15, 20].

According to the results of soil analysis carried out jointly by the staff of the Tropical Center and the laboratory of the Federal Scientific Center for Agro-

ecology of the Russian Academy of Sciences, the soils of the mountainous areas of the Kon Chu Rang nature reserve are characterized by an extremely low content of substances necessary for tree species for good growth and development (Table 1, 2, 3).

Table 1.

The results of the analysis of 12 soil samples on the site of a shrub meadow with regenerating woody species (the territory of the implementation of the reforestation model)

Code	Ground depth	pH (KCl)	Soil mass ratio (g/cm³)	(%)				(mg/100g)			Mechanical composition of the soil (%)			
				Hu-mus	Total nitro-gen	Total P ₂ O ₅	Total K ₂ O	Total nitro-gen	Total P ₂ O ₅	Total K ₂ O	Coarse-grained sand (2-0,2)	Fine sand (0,2-0,05)	Sludge (0,05-0,002)	Clay (<0,002)/
5762	0-10	4.309	2.456	5.785	0.278	0.186	0.060	5.88	1.61	21.63	9.19	12.42	29.20	49.19
5763	10-20	4.246	2.523	5.047	0.254	0.135	0.065	5.46	1.03	9.11	7.98	11.43	25.60	54.99
5764	20-30	4.242	2.518	3.446	0.197	0.147	0.053	4.48	0.67	7.98	7.05	5.76	23.00	64.19
5765	30-40	4.267	2.547	2.954	0.176	0.145	0.053	4.2	0.71	7.41	6.02	5.79	22.00	66.19
5766	40-50	4.280	2.479	2.462	0.148	0.140	0.048	4.06	0.58	7.69	6.82	6.98	18.20	68.00
5767	50-60	4.329	2.524	2.338	0.145	0.127	0.046	3.78	0.70	10.55	6.93	5.07	16.40	71.60
5768	60-70	4.375	2.55	2.092	0.131	0.116	0.046	3.36	0.64	7.41	6.87	4.13	15.60	73.40
5769	70-80	4.473	2.582	1.969	0.114	0.118	0.048	2.66	0.61	6.85	6.71	4.89	13.60	74.80
5770	80-90	4.522	2.581	1.477	0.095	0.115	0.043	2.52	0.84	5.46	6.57	4.04	15.40	73.99
5771	90-100	4.567	2.622	1.354	0.089	0.129	0.046	2.38	0.70	5.46	6.09	3.91	15.00	75.00
5772	100-110	4.600	2.621	1.354	0.086	0.133	0.048	2.24	0.82	7.41	6.48	4.52	14.60	74.40
5773	110-120	4.617	2.664	1.231	0.081	0.140	0.046	2.1	0.64	4.63	6.59	4.01	15.00	74.40

Table 2.

The results of the analysis of washed away soil on the territory of the Kon Chu Rang nature reserve in containers with plants

№ p/p	The name of the indicator	Units of mea-sure-ment	Test results	Measure-ment un-certainty (error)	ND on the test procedure
1	Chloride	mg/kg	6.1	1.5	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
2	Fluoride	mg/kg	< 1		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
3	Total phosphorus	%	0.119	0.038	PND F 16.2:2.3.73-2012
4	Phosphate	mg/kg	< 3		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
5	Formate	mg/kg	< 1		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
6	Sulfate	mg/kg	6.9	1.7	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
7	Mobile phos-phorus	mln ⁻¹	0	0	GOST R 54650-2011

8	Mobile potassium	mln ⁻¹	88	14	GOST R 54650-2011
9	Humus	%	0.79	0.16	GOST R 26213-2021
10	Oxalate	mg/kg	< 3		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
11	Nitrate	mg/kg	8.2	1.3	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
12	Sodium	mg/kg	3.95	0.64	PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
13	Magnesium	mg/kg	< 1		PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
14	Calcium	mg/kg	4.45	0.72	PND F/ PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
15	Potassium	mg/kg	2.79	0.45	PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
16	pH	pH	6.2	0.2	GOST R 26423-85
17	Acetate	mg/kg	< 3		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
18	Ammonium	mg/kg	< 2		PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
19	Nitrite nitrogen	mg/kg	0.061	0.025	PND F 16.1:2:2.2:3.51-08
20	Nitrogen of nitrates	mln ⁻¹	3.9	1.3	PND F 16.1:2:2.2:3.67-10
21	Ammonium exchange	mln ⁻¹	< 5		GOST R 26489-85

Table 3.

**The results of the analysis of the forest soil on the territory
of the Kon Chu Rang nature reserve in the horizon of 110-120 cm**

№ p/p	The name of the indicator	Units of mea- sure- ment	Test results	Measure- ment un- certainty (error)	ND on the test procedure
1	Chloride	mg/kg	32.0	4.8	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
2	Fluoride	mg/kg	< 1		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
3	Total phosphorus	%	0.116	0.038	PND F 16.2:2.3.73-2012
4	Phosphate	mg/kg	< 3		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
5	Formate	mg/kg	2.65	0.40	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
6	Sulfate	mg/kg	31.3	4.7	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
7	Mobile phosphorus	mln ⁻¹	0	0	GOST R 54650-2011
8	Mobile potassium	mln ⁻¹	98	15	GOST R 54650-2011
9	Humus	%	0.78	0.16	GOST R 26213-2021
10	Oxalate	mg/kg	< 3		PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10

11	Nitrate	mg/kg	10.0	1.5	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
12	Sodium	mg/kg	401	65	PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
13	Magnesium	mg/kg	13.8	2.3	PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
14	Calcium	mg/kg	32.1	5.2	PND F/ PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
15	Potassium	mg/kg	14.1	2.3	PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
16	pH	pH	7.3	0.2	GOST R 26423-85
17	Acetate	mg/kg	3.65	0.55	PND F 16.1:2:2.3:2.2.69-10
18	Ammonium	mg/kg	< 2		PND F 16.1:2:2.2:2.3.74-2012
19	Nitrite nitrogen	mg/kg	0.061	0.025	PND F 16.1:2:2.2:3.51-08
20	Nitrogen of nitrates	mln ⁻¹	7.6	1.7	PND F 16.1:2:2.2:3.67-10
21	Ammonium exchange	mln ⁻¹	< 5		GOST R 26489-85

To research on the reproduction of valuable species and develop a technology for their reproduction for the purpose of subsequent planting on a forestry area, an experimental nursery with an area of 36 m² was created with a surface irrigation system and various levels of shading. The form of growing plants on this site is a closed root system, in containers (for better survival of seedlings and saplings when planted in reforestation areas). In addition, seeds of most species were prepared to study the possibilities of their storage, as well as to test various germination methods in the laboratory (Fig. 8).

Seeds and seedlings were treated with preparations against pests - Katera 50 EC, 0.75 ml/l of water, against diseases - Cymanil 720 WP, 3 g/l of water, liquid complex fertilizers containing NPK + ME. The preparations were applied using a hand sprayer. After planting, constant soil moisture was maintained.

Treatments for pests and diseases were carried out every 15-20 days, these treatments were recommended to be combined (two preparations in one solution).

Fertilizers were applied every 20 days according to instructions, after which additional watering was used for 10 minutes. Seedlings and seeds in containers at the nursery were placed evenly on the sunny and shady sides. Presumably, in shade-loving species, too intense sunlight can cause burns and pathological pigmentation of leaves. Light-loving plants prefer scattered and indirect sunlight, which does not burn as they pass through the upper tier of the tropical forest into the second tier, where they are located.

In the course of studying the germination and germination of seeds, we found that many species that are valuable for reforestation and nursery production in Vietnam are difficult to propagate by seeds, or their seed germination is extremely low.

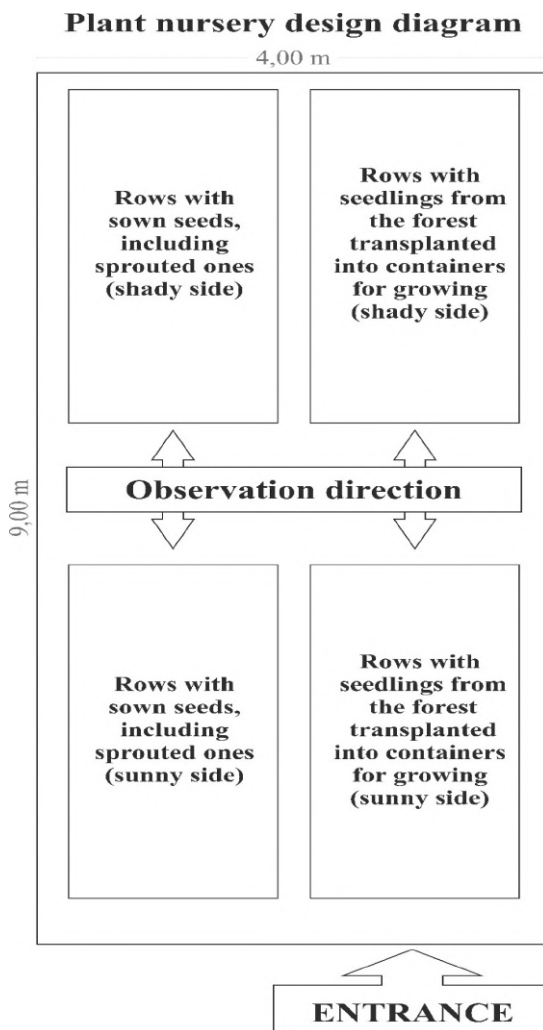


Fig. 8. Nursery diagram

Seedlings of the valuable species *Dacrydium elatum* and *Dacrycarpus imbricatus* responded positively to the method of planting and treatment; during the study period, growth dynamics of 1 to 3 cm were observed, the root system also grew and developed evenly (Fig. 9, 10).

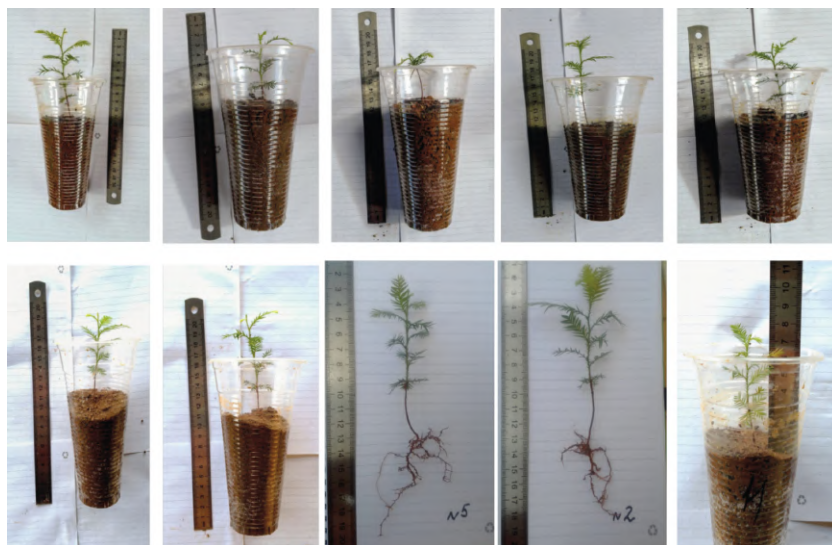


Fig. 9. Observations of *Dacrycarpus imbricatus* seedlings in containers

High rainfall and leaching regime remove all nutrients from the soil and direct them deeper. The remaining nutrients are quickly absorbed by a large number of plants. Litter helps increase the organic matter content, but it decomposes quickly due to high temperatures, insect activity and high humidity. The remaining nutrients are quickly consumed by plants, resulting in depleted soil.

Given the constancy of climatic conditions in the tropical monsoon forests of the Kon Chu Rang Reserve, the periodicity is not expressed here. It should be noted that the tree stand here is equally green throughout the year. The phenomena of the periodicity of growth and development of species require additional study, due to the fact that the phases of development in some species do not coincide - moreover, these phases are not synchronous even in individual individuals of the same species. Due to short dry periods, the moisture consumption of the entire transpiring leaf mass increases, and the root system uses only an insignificant part of the soil moisture reserve - as a result, trees often experience a regular moisture deficit. Based on the data obtained, the following conclusions can be drawn:

– The article contains data from studies of mountain forest areas, topography and soils of the Kon Chu Rang nature reserve (Vietnam), the main results of which are aimed at the conservation and reproduction of indigenous, especially valuable tree species exposed to anthropogenic impact.

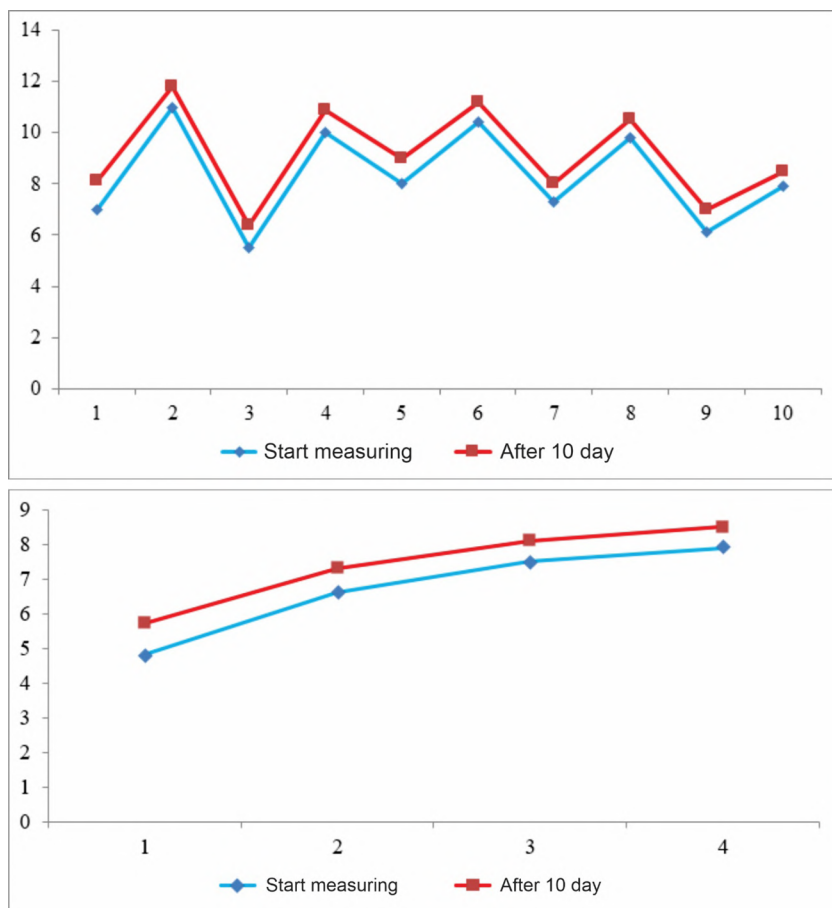


Fig. 10. Growth of seedlings of *Dacrydium imbricatus* (a) and *Dacrydium elatum* (b) on washed-away soils of the Kon Chu Rang nature reserve

– It has been established that most of the assortment of 12 nurseries in Vietnam is represented by introduced species, which in mountainous terrain are extremely difficult to reproduce due to their morphological and biological characteristics, as a result of which they cannot be used for reforestation.

– It was revealed that the soil cover of the Kon Chu Rang nature reserve is distinguished by diversity, distribution of areas, granulometric composition and humus content. Due to the large amount of precipitation, the soils are depleted

in the necessary composition of the elements necessary for the good growth and development of woody species. Thus, in the conditions of shrub meadows, the content of humus is much higher than in a forest with a primary stand.

– It was determined that for the successful cultivation of especially valuable tree species in the nursery, surface watering and constant maintenance of soil moisture, treatment with herbicides and fertilizers are necessary. It is recommended to grow seedlings in containers with a closed root system.

Sponsorship information. The work was carried out within the framework of the topic E-1.6 “Development of technology for growing seedlings of the main native trees species of indigenous forests in Vietnam as the basis for solving the fundamental scientific problem of tropical forest restoration.” Joint Vietnam-Russian Tropical Science and Technology Research Center.

References

1. Wu V. Ch., Fan V. Z., Do T. A. The situation in the field of forest management, protection and certification of forests in the Socialist Republic of Vietnam. *Herald of AGATHU*, 2022, no. 2 (6), pp. 60-69.
2. Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu., Lebedev Ya. O. Features of the formation of the radiation balance of the mid-mountain tropical forest ecosystems of the Bidup–Nuiba National Park (South Vietnam) in the wet season of the year. *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky – Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 2(14), pp. 79-88. <https://doi.org/10.21072/eco.2021.14.08>
3. Dao T. T. H., Zhigunov A.V. Forest quality assessment and technological measures to improve the efficiency of forest cultivation in Vietnam. *Proceedings of the Third International Scientific and Technical Conference “Forests of Russia: politics, industry, science, education”*, St. Petersburg, May 23-24, 2018, pp. 97-99.
4. Kuznetsov A. N. Tropical dipterocarp forest: on the example of a closed high-stemmed moist lowland dipterocarp forest of the Ma Da massif, South Vietnam / edited by V. N. Pavlov. Moscow: GEOS, 2003.
5. Kuznetsov A. N. Trees of monsoon tropical forests of Vietnam. *Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology*, 2009, no. 15, pp. 127-138.
6. Kuznetsov A. N., Kuznetsova S. P. Features of the vertical structure of stands of indigenous monsoon tropical forests of Vietnam. *Proceedings of the Karadag Scientific Station named after T. I. Vyazemsky Nature Reserve RAN*, 2020, no. 1(13), pp. 27-44.

7. Lebedev Ya. O., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Yu. Soil and landscape-geochemical conditions of mountain tropical forest ecosystems of South Vietnam. *Materials of the All-Russian scientific and practical conference "Climatic changes and seasonal dynamics of landscapes"*, Yekaterinburg, April 22-24, 2021, pp. 345-358. <https://doi.org/10.26170/KFG-2021-48>
8. Lopez V. O. Gerenyu De, Anichkin A. E., Avilov V. K. Termites as a factor of spatial heterogeneity of CO₂ fluxes from soils of monsoon tropical forests of South Vietnam. *Soil Science*, 2015, no. 2, pp. 228. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15020082>
9. Nguyen V. T., Smirnov A. P. Natural renewal of forests after selective logging in Central Vietnam. *Materials of the IV Scientific and technical conference "Forests of Russia: politics, industry, science, education"*, St. Petersburg, May 22-25, 2019, pp. 172-174.
10. Weather and climate. *Reference and information portal*. 2022. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (accessed 03.12.2022).
11. Fayrushina S. M., Sakaeva D. T. Methods of conducting laboratory classes on soil geography with the basics of soil science: An educational and methodological manual. Naberezhnye Chelny: Naberezhnye Chelny State Pedagogical University, 2010, 94 p.
12. Khokhlova O. S., Myakshina T. N., Kuznetsov A. N., Gubin S. V. Morphogenetic features of soils of Cat Tien National Park, South Vietnam. *Soil science*, 2017, no. 2, pp. 176-194. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1612008X>
13. Dung L. V., Duc T. H., K. Linh L. T. Depth profiles of microplastics in sediment cores from two mangrove forests in northern Vietnam. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, vol. 9, no. 12. <https://doi.org/10.3390/jmse9121381>
14. IPNI. *Website for determining the taxonomic affiliation of plants*. 2022. URL: <http://www.ipni.org/> (accessed 01.12.2022).
15. Hai N. H., Hien C. T. T., Anh P. T. Changes in community composition of tropical evergreen forests during succession in ta dung national park, central highlands of Vietnam. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 12, pp. 1-22. <https://doi.org/10.3390/f11121358>
16. Huan Ph. T., Lan N. T. A study of mangrove forests in the Khanh HOA province of Vietnam. *Russian Forestry Journal*, 2019, no. 3(369), pp. 64-72. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.64>
17. Kuznetsov G. V., Filatova T. N. On the structure of rodent communities in tropical forests of southern Vietnam. *Biology Bulletin*, 2008, vol. 35, no. 5, pp. 515-523. <https://doi.org/10.1134/S1062359008050130>

18. Kuricheva O. A., Avilov V. K., Sandlersky R. B. Seasonality of energy and water fluxes in a tropical moist forest in Vietnam. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2021, vol. 298-299, pp. 108268. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108268>
19. Liu Y., Gentine P., Konings A. G., Kennedy D. Global Coordination in Plant Physiological and Rooting Strategies in Response to Water Stress. *Global Biogeochemical Cycles*, 2021, vol. 35, no. 7, e2020GB006758. <https://doi.org/10.1029/2020GB006758>
20. Nguyen H. H., Nguyen T. T. H. Above-ground biomass estimation models of mangrove forests based on remote sensing and field-surveyed data: Implications for C-PFES implementation in Quang Ninh Province, Vietnam. *Regional Studies in Marine Science*, 2021, vol. 48, 101985. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101985>
21. Paudyal K., Baral H., Keenan R. J. Spatial assessment of ecosystem services from planted forests in central Vietnam. *Forests*, 2020, vol. 11, no. 8, p. 822. <https://doi.org/10.3390/f11080822>

Список литературы

1. Ву В. Ч., Фан В. З., До Т. А. Положение в области управления лесами, охраны и сертификации леса в Социалистической Республике Вьетнам // Вестник АГАТУ. 2022. № 2 (6). С. 60-69.
2. Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Лебедев Я. О. Особенности формирования радиационного баланса среднегорных тропических лесных экосистем национального парка Бидуп-Нуйба (Южный Вьетнам) во влажный сезон года // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2020. № 2(14). С. 79-88. <https://doi.org/10.21072/eco.2021.14.08>
3. Дао Т. Т. Х., Жигунов А. В. Оценка качества лесов и технологические меры по повышению эффективности лесовыращивания во Вьетнаме: Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование», Санкт-Петербург, 23-24 мая, 2018. С. 97-99.
4. Кузнецов А. Н. Тропический диптерокарповый лес: на примере сомкнутого высокоствольного влажного равнинного диптерокарпового леса массива Ма Да, южный Вьетнам / под ред. В. Н. Павлова. Москва: ГЕОС, 2003.
5. Кузнецов А. Н. Деревья муссонных тропических лесов Вьетнама // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2009. № 15. С. 127-138.

6. Кузнецов А. Н., Кузнецова С. П. Особенности вертикального строения древостоев коренных муссонных тропических лесов Вьетнама // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского - Природного заповедника РАН. 2020. № 1(13). С. 27-44.
7. Лебедев Я. О., Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю. Почвенные и ландшафтно-геохимические условия горных тропических лесных экосистем Южного Вьетнама // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов», Екатеринбург, 22-24 апреля, 2021. С. 345-358. <https://doi.org/10.26170/KFG-2021-48>
8. Лопес В. О. Гереню Де, Аничкин А. Е., Авилов В. К. Термиты как фактор пространственной неоднородности потоков CO₂ из почв муссонных тропических лесов Южного Вьетнама // Почвоведение. 2015. № 2. С. 228. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15020082>
9. Нгуен В. Т., Смирнов А. П. Естественное возобновление леса после выборочных рубок в Центральном Вьетнаме // Материалы IV научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование», Санкт-Петербург, 22–25 мая, 2019. С. 172-174.
10. Погода и климат // Справочно-информационный портал. 2022. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения: 03.12.2022).
11. Файрушина С. М., Сакаева Д. Т. Методика проведения лабораторных занятий по географии почв с основами почвоведения: Учебно-методическое пособие. Набережные Челны: Набережночелнинский государственный педагогический университет, 2010. 94 с.
12. Хохлова О. С., Мякшина Т. Н., Кузнецов А. Н., Губин С. В. Морфогенетические особенности почв национального парка Кат Тьен, Южный Вьетнам // Почвоведение. 2017. № 2. С. 176-194. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1612008X>
13. Dung L. V., Duc T. H., K. Linh L. T. Depth profiles of microplastics in sediment cores from two mangrove forests in northern Vietnam // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9. No 12. <https://doi.org/10.3390/jmse9121381>
14. IPNI // Сайт определения таксономической принадлежности растений. 2022. URL: <http://www.ipni.org/> (дата обращения: 01.12.2022).
15. Hai N. H., Hien C. T. T., Anh P. T. Changes in community composition of tropical evergreen forests during succession in ta dung national park, central highlands of Vietnam // Forests. 2020. Vol. 11. No 12. P. 1-22. <https://doi.org/10.3390/f11121358>
16. Huan Ph. T., Lan N. T. A study of mangrove forests in the Khanh HOA province of Vietnam // Russian Forestry Journal. 2019. No 3(369). P. 64-72. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.3.64>

17. Kuznetsov G. V., Filatova T. N. On the structure of rodent communities in tropical forests of southern Vietnam // *Biology Bulletin*. 2008. Vol. 35. No 5. P. 515-523. <https://doi.org/10.1134/S1062359008050130>
18. Kuricheva O. A., Avilov V. K., Sandler'sky R. B. Seasonality of energy and water fluxes in a tropical moist forest in Vietnam // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2021. Vol. 298-299. P. 108268. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108268>
19. Liu Y., Gentine P., Konings A. G., Kennedy D. Global Coordination in Plant Physiological and Rooting Strategies in Response to Water Stress // *Global Biogeochemical Cycles*. 2021. Vol. 35. No 7. P. e2020GB006758. <https://doi.org/10.1029/2020GB006758>
20. Nguyen H. H., Nguyen T. T. H. Above-ground biomass estimation models of mangrove forests based on remote sensing and field-surveyed data: Implications for C-PFES implementation in Quang Ninh Province, Vietnam // *Regional Studies in Marine Science*. 2021. Vol. 48. P. 101985. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101985>
21. Paudyal K., Baral H., Keenan R. J. Spatial assessment of ecosystem services from planted forests in central Vietnam // *Forests*. 2020. Vol. 11. No 8. P. 822. <https://doi.org/10.3390/f11080822>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

- Andrey V. Solonkin:** formation of an idea, formulation and development of key goals and objectives.
- Alexander I. Belyaev:** development of methodology, creation of models, preparation and approval of the final version of the article.
- Anna M. Pugacheva:** research concept, verification of critical intellectual content, final approval of the manuscript for publication.
- Nguyen D. Hoi:** application of statistical, mathematical computational methods for the analysis and synthesis of research data.
- Alexandra S. Solomentseva:** conducting research, experiments, data collection, analysis and interpretation of the results obtained.
- Sergey A. Egorov:** the concept of research, conducting experiments, preparing and editing text.
- Dang H. Cuong:** provision of measuring instruments, computing resources, tools for analysis.
- Tran T.T. Huong:** drafting of the manuscript and its critical revision with the introduction of valuable comments of intellectual content, participation in a scientific experiment.

ВКЛАД АВТОРОВ

Солонкин А.В.: формирование идеи, формулировка и развитие ключевых целей и задач.

Беляев А.И.: разработка методологии, создание моделей, подготовка и утверждение окончательного варианта статьи.

Пугачёва А.М.: концепция исследования, проверка критически важного интеллектуального содержания, окончательное утверждение рукописи для публикации.

Хой Н.Д.: применение статистических, математических вычислительных методов для анализа и синтеза данных исследований.

Соломенцева А.С.: проведение исследований, экспериментов, сбор данных, анализ и интерпретация полученных результатов.

Егоров С.А.: концепция исследований, проведение экспериментов, подготовка и редактирование текста.

Кыонг Д.Х.: предоставление измерительных приборов, вычислительных ресурсов, инструментов для анализа.

Хыонг Ч.Т.Т.: составление черновика рукописи и его критический пересмотр с внесением ценных замечаний интеллектуального содержания, участие в научном эксперименте.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Solonkin, Dr. Sc. (Agriculture), Head of the Breeding and Seed-growing Center

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., 400062, Volgograd, Russian Federation

Mishamax73@mail.ru

SPIN-code: 8724-5383

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>

Researcher ID: IUN-1208-2023

Scopus Author ID: 57219094230

Alexander I. Belyaev, Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Honored Worker of Agriculture of the Russian Federation, Director

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., 400062, Volgograd, Russian Federation

director@vfanc.ru

SPIN-code: 8733-7587

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8077-7052>

Scopus Author ID: 57206259735

Anna M. Pugacheva, Cand. Sc. (Agriculture), Scientific Secretary, Acting Deputy Director for Scientific Work

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., 400062, Volgograd, Russian Federation

pugachevaa@vfanc.ru

SPIN-code: 6857-8236

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-8056>

Researcher ID: T-5482-2017

Scopus Author ID: 57194047579

Nguyen D. Hoi, Cand. Sc. (Geography), Institute of Tropical Ecology, Director

Joint Vietnam-Russian Tropical Science and Technology Research Center

Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

danghoi110@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6832-283X>

Alexandra S. Solomentseva, Cand. Sc. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., 400062, Volgograd, Russian Federation

Alexis2425@mail.ru

SPIN-code: 6832-7471

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5857-1004>

Researcher ID: W-4142-2018

Scopus Author ID: 57220036834

Sergey A. Egorov, Junior Researcher of the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production, Postgraduate Student

Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS

97, Universitetsky pr., 400062, Volgograd, Russian Federation

egorov-sa@vfanc.ru

SPIN-code: 8284-0790

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8234-7355>

Dang H. Cuong, Cand. Sc. (Ecology), Junior Researcher

*Joint Vietnam-Russian Tropical Science and Technology Research Center
Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Vietnam
danghungcuong@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1208-737X>*

Tran T.T. Huong, Cand. Sc. (Silviculture), Junior Researcher

*Joint Vietnam-Russian Tropical Science and Technology Research Center
Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Vietnam
thanhhuongfuv@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7555-9212>*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Солонкин Андрей Валерьевич, д-р с.-х. наук, заведующий селекционно-семеноводческим центром

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
mishamax73@mail.ru*

Беляев Александр Иванович, д-р с.-х. наук, профессор, заслуженный работник сельского хозяйства Российской Федерации, директор

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
director@vfanc.ru*

Пугачёва Анна Михайловна, канд. с.-х. наук, Учёный секретарь, и. о. заместителя директора по научной работе

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
pugachevaa@vfanc.ru*

Нгуен Данг Хой, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник
Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр
ул. Нгуен Ван Хуен, Нгуа До, Кау Зай, г. Ханой, Вьетнам
danghoi110@gmail.ru

Соломенцева Александра Сергеевна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
alexis2425@mail.ru

Егоров Сергей Анатольевич, младший научный сотрудник, аспирант
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
egorov-sa@vfanc.ru

Данг Хунг Кыонг, канд. экол. наук, младший научный сотрудник
Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр
ул. Нгуен Ван Хуен, Нгуа До, Кау Зай, г. Ханой, Вьетнам
danghungcuong@gmail.ru

Чан Тхи Тхань Хыонг, канд. с.-х. наук, младший научный сотрудник
Совместный Российско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр
ул. Нгуен Ван Хуен, Нгуа До, Кау Зай, г. Ханой, Вьетнам
thanhhuongfuv@gmail.ru

Поступила 01.10.2023

После рецензирования 30.10.2023

Принята 05.11.2023

Received 01.10.2023

Revised 30.10.2023

Accepted 05.11.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-847

УДК 630*8:582.28:634.7(571.56)



Научная статья

ПИЩЕВЫЕ РЕСУРСЫ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

А.П. Исаев, Т.Н. Гаврильева, Л.Г. Михалева, И.И. Чикидов

Согласно данным прототипа Национального доклада «Экосистемные услуги России» (2016 г.), данные по ресурсам наземных экосистем в России имеют разрозненный характер. **Целью работы** является восполнение имеющихся лакун в сфере биоразнообразия растительных видов и устойчивости традиционных пищевых систем в разрезе экономических зон Республики Саха (Якутия).

Материалы и методы. Ассортимент пищевых растений в Якутии насчитывает более 100 видов, но к ресурсно-значимым на основе обобщения фондовых материалов ФИЦ ЯНЦ ИБПК СО РАН и результатов, проводившихся в 2002-2019 гг. полевых исследований, были отнесены 9 видов ягод, 8 видов грибов и 3 вида иных пищевых растений. Данный перечень из 20 видов был протестирован посредством социально-экономического опроса, проведенного в рамках проекта RISE в 2021-2023 гг. Исследование проводилось с разрешения локального комитета по биомедицинской этике Медицинского института ФГАОУ ВО СВФУ. Каждый участник подписывал форму информированного согласия на обследование, согласно Хельсинской Декларации Всемирной Медицинской Ассоциации, регламентирующей проведение научных исследований. Исследование охватило 400 сельских домохозяйств.

Результаты. На основе обобщения фондовых материалов и результатов полевых исследований ФИЦ ЯНЦ ИБПК СО РАН представлены данные по биологическим запасам ресурсно-значимых пищевых видов лесов Якутии. На основе сопряжения естественно-научных и социальных методов исследования были представлены оценки эксплуатационных ресурсов ягод и грибов в разрезе экономических зон РС (Я), также дана оценка объемов их заготовки сельскими домохозяйствами и в целом населением региона.

Заключение. Социальные методы доказали свою надёжность в исследовании биоразнообразия большого по площади региона. Они позволяют дополнять лакуны в базах данных, сформированных на основе полевых исследова-

ний, в частности по популярности и, соответственно, распространённости тех или иных пищевых видов. Была подтверждена более высокая продуктивность и разнообразие растительного мира Южной Якутии относительно Арктики и иных экономических зон.

Ключевые слова: традиционные пищевые системы; ягоды; грибы; биологические запасы; эксплуатационные запасы; транспортная доступность

Для цитирования. Исаев А.П., Гаврильева Т.Н., Михалева Л.Г., Чикидов И.И. Пищевые ресурсы лесов Республики Саха (Якутия) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 474-503. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-847

Original article

FOREST FOOD RESOURCES IN THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

A.P. Isaev, T.N. Gavriilyeva, L.G. Mikhaleva, I.I. Chikidov

According to the “Ecosystem Services of Russia” Prototype of National Report (2016), data on terrestrial ecosystem resources in Russia are fragmented. The **purpose** of this work is to fill the existing gaps in the knowledge of the biodiversity of plant species and the sustainability of traditional food systems across the economic zones of the Sakha Republic (Yakutia).

Materials and methods. Although the range of edible plants in Yakutia counts more than 100 species, only nine species of berries, eight species of mushrooms, and three species of other food plants were classified as resource-significant based on the consolidated archive materials of the IBPC at FRC YaSC SB RAS and the results of the field studies carried out in 2002-2019. This list of twenty species was tested via a socio-economic survey undertaken as part of the RISE project in 2021-2023. The study was conducted with the permission of the local biomedical ethics committee of the Medical Institute of the North-Eastern Federal University. Each participant signed an informed consent form to be surveyed, according to the World Medical Association’s Declaration of Helsinki, which regulates the research involving human subjects. The study embraced 400 rural households.

Results. The data on biological stocks of resource-significant food species of Yakutia’s forests were presented based on the consolidated archive materials and results of the field studies undertaken by the IBPC at FRC YaSC SB RAS. Coupled research methods of natural and social sciences were used to produce

the estimates of the economic reserves of berries and mushrooms across economic zones of the Sakha Republic (Yakutia) and the volumes of their harvesting by rural households and the population of the region in general.

Conclusion. *Social methods have proven reliable for studying biodiversity in a large-sized region. They allow to fill the gaps in the databases built on the results of field studies, particularly in terms of popularity and, accordingly, the prevalence of certain food species. The higher productivity and diversity of flora in Southern Yakutia were confirmed compared to the Arctic and other economic zones.*

Keywords: *traditional food systems; berries; mushrooms; biological stocks; exploitable stocks; transport accessibility*

For citation. *Isaev A.I., Gavrilyeva T.N., Mikhaleva L.I., Chikidov I.I. Forest Food Resources in the Sakha Republic (Yakutia). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 474-503. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-847*

Введение

Недревесные пищевые ресурсы лесов Республики Саха (Якутия) и других регионов Дальнего Востока России до настоящего времени недооценены, хотя издавна играют важную роль в ведении традиционной хозяйственной деятельности и рационе местного населения [15, 32]. Ягодных растений в Якутии насчитывается 50 видов, не менее 80 представителей микобиоты Якутии являются съедобными грибами [12, 13]. В странах Северной Америки и Европы полнота баз данных по биоразнообразию и продуктивности видов позволяет моделировать объем биологических и эксплуатационных запасов в зависимости от различных факторов [19, 31]. Это позволяет получать стоимостную оценку экосистемных услуг, первая комплексная классификация которых для Арктики была разработана в рамках международного исследовательского проекта «Экономика экосистем и биоразнообразия» (ТЕЕВ) под эгидой ООН (UNEP) [22]. Так, в 2010 г. в Финляндии по данным национальной статистики сбор ягод, грибов и других растений, что относится к продукционным видам экосистемных услуг, оценивался в 75 млн. евро [26]. В России в рамках данного проекта на примере наземной экосистемы был разработан прототип Национального доклада «Экосистемные услуги России» [20]. Авторы отмечают нехватку данных, необходимых для определения стоимостной оценки недревесных ресурсов, это - биологические и эксплуатационные запасы ягод и грибов, потребность в них со стороны населения, а также объемы сбора и потребления [21]. Поэтому оценка биологических и эксплуатационных

запасов, ресурсной значимости и распространенности различных видов дикоросов в России и ее регионах имеют особую актуальность.

Целью данной работы является восполнение имеющихся лакун в сфере биоразнообразия растительных видов и устойчивости традиционных пищевых систем на территории Республики Саха (Якутия), необходимых для оценки экосистемных услуг. Данная работа является междисциплинарной, она обобщает ранее не опубликованные результаты ряда проектов ИБПК СО РАН, а также научного проекта РФФИ № 21-55-70104 «Climate change Resilience of Indigenous SocioEcological systems (Устойчивость коренных социально-экологических систем в условиях изменения климата)» (далее – RISE).

Объектом исследования являются пищевые растения лесов Якутии, площадь которых составляет 260 млн. га или 84,3 % от площади региона [29]. На основе обобщения результатов ранее проведенных исследований и фондовых материалов ИБПК СО РАН был определен основной перечень *ресурсно-значимых пищевых видов в РС (Я)*. Он включает 71 вид, из них 51 вид – это объекты животного мира, а 20 – растительные виды и грибы, в том числе: ягоды (9 видов), съедобные грибы (8), иные пищевые растения (3) (табл.5).

Задачи исследования:

- дать оценку биологических и эксплуатационных запасов пищевых растений в разрезе экономических зон Якутии;
- на основе анкетирования населения оценить популярность, распространенность и сбор пищевых видов;
- оценить эксплуатационные ресурсы ягод и грибов на основе сопряжения естественно-научных и социальных методов исследования.

Методы исследования:

- Оценка биологических запасов осуществлялась на основе анализа фондовых материалов и данных полевых исследований в разрезе 5 экономических зон РС (Я): Западная, Центральная, Восточная, Южная Якутия и Арктика. Использование традиционного для региона районирования обусловлено значительной площадью и существенным разнообразием природной среды;
- Полевые исследования проводились специалистами ИБПК СО РАН в рамках государственного задания по проекту VI.52.1.8. и госконтрактам № 5589 и № 8628. В Арктической зоне исследования проводились в 2002 - 2014

гг. в тундрах дельты р. Лены и окрестностях пос. Тикси, в лесотундровой зоне на подножии северных отрогов Хараулахского хребта, хребта Чекановского и на о-ве Тит-Ары в дельте р. Лена, а также в 2004-2006 гг. в нижнем течении р. Колымы от г. Среднеколымска до пос. Черский [4]. В Центральной Якутии – в 1995 - 2021 гг., в Верхоянье – в 2010, 2014 и 2017 гг. В Южной Якутии – в 1997-2010 гг., в Юго-Западной Якутии – в 2014-2019 гг.;

- Учет продуктивности грибов проводился маршрутным методом на ленточных площадках длиной 100 м и шириной 1 м в различных типах растительности в 3-х кратной повторности. Взвешивался отдельно каждый вид. Для определения видов и унификации данных использовалась система, принятая в североевропейских странах [30], а также отечественные пособия и определители грибов [2, 9]. Весь собранный материал хранится в Гербарии ИБПК СО РАН (Якутск, SASY) и в микологическом отделе Гербария института экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, SVER);

- Для оценки популярности, распространенности и сбора пищевых видов в рамках проекта RISE был проведен социально-экономический опрос. Объектом генеральной совокупности являлись сельские домохозяйства РС (Я), согласно итогам ВПН в 2010 г. их было 101739. Размер выборки - 400 сельских домохозяйств, при доверительной вероятности - 95%, погрешности – 4,99 %. Структура выборки определялась с учетом типа традиционной хозяйственной деятельности народов Якутии, экономического зонирования, а также людности поселений [23]. Полевые исследования проводились в период с 1 июня 2021 г. по 4 июня 2023 г., они охватили 17 поселений в 16 муниципальных районах РС (Я). Обследование проводилось на основе личного опроса респондентов. Интервьюеры заполняли анкету на бумажном носителе со слов респондентов. Для обработки результатов использовались статистические методы и программное обеспечение (Microsoft Excel).

Результаты

Традиционная хозяйственная деятельность в Якутии, несмотря на активное внедрение современного стиля жизни, достаточно устойчива, при этом сохраняются отличия среди основных этнических групп. Республика отличается существенным разнообразием природной среды (тайга, тундра, лесотундра), часть районов имеют прибрежное расположение. У народа саха (якутов), проживающего преимущественно в Центральной, Западной и Восточной Якутии, преобладает скотоводство, у эвенков и других кочевых народов (Арктика, Восточная и Южная Якутия) – оленеводство, у

русских старожилов (Арктика) – рыболовство, что предопределено типом локальных экосистем. Несмотря на то, что в рационе народов Якутии преобладает пища животного происхождения, сбор съедобных грибов и ягод весьма популярен. В 2017-2019 гг. натуральные доходы сельского населения РС (Я) от сбора недревесных пищевых ресурсов оценивались в 2824,8 руб. на семью, это около 32 % доходов от ведения всех видов традиционной хозяйственной деятельности [24]. В тоже время распространенность и продуктивность пищевых растительных видов существенно варьируется в разрезе экономических зон, что определяет специфику традиционных пищевых систем народов Якутии.

1. Запасы ягодных растений

Из лесных ягодных видов Якутии пищевую ценность представляют: деревья – рябина (*Sorbus sibirica*) и черемуха (*Padus avium*); кустарники – виды из рода смородина (*Ribes*), малина (*Rubus matsumuranus*), жимолость (*Lonicera edulis*, *L. altaica*) и виды из рода шиповник (*Rosa*); кустарнички – брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), черника (*Vaccinium myrtillus*), клюква (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*), шикша (*Empetrum nigrum*); многолетние травы – земляника (*Fragaria orientalis*), княженика (*Rubus arcticus*), морошка (*Rubus chamaemorus*), костяника (*Rubus saxatilis*, *R. humulifolius*).

Для оценки запасов важны фенологические фазы их развития, особенно периода плодоношения. В литературе имеются разрозненные сведения о сроках массового созревания ягод [11, 12]. Самым первым растением, сбор ягод которого возможен уже в первой половине июля, является земляника восточная (*Fragaria orientalis*). Затем во второй половине июля поспевают красная смородина (*Ribes glabellum*, *R. triste*), охта (*Ribes dikuscha*), голубика (*Vaccinium uliginosum*), черная смородина (*Ribes pauciflorum*). С концом июля, началом августа связано массовое плодоношение черники (*Vaccinium myrtillus*), жимолости (*Lonicera edulis*, *L. altaica*), шиповника (*Rosa s.l.*), черемухи (*Padus avium*).

Начиная со второй половины августа наступает пора брусники (*Vaccinium vitis-idaea*), шикши (*Empetrum nigrum*), рябины (*Sorbus sibirica*), замыкает сезон сбор клюквы (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*), боярышника (*Crataegus sanguinea*) и других ягод с долгим сроком плодоношения. Сроки плодоношения ягод подтверждаются последними работами в сфере социального мониторинга. Статистика запросов в Яндексe и Google Trends относительно 12 основных ягодных культур на Дальнем Востоке показала, что в сезон созревания и сбора ягод интерес пользователей воз-

растает. Тематика запросов тесно связана с сортами ягод, их питательной ценностью, покупкой, также пользователями социальных сетей широко делятся фотографиями сбора урожая и кулинарными рецептами [25, 33].

Ресурсная значимость ягодных растений весьма велика [34], что подтверждается оценочными данными о запасах некоторых из них (табл. 1). По данным литературных источников, в Сибири биологический урожай брусники оценивается в 0,1-10 ц/га, голубики – 1-5 (13) ц/га, малины – 2-6 (30) ц/га, черники – 1-8 (20) ц/га, клюквы – 1-20 ц/га [14]. Специалистами ИБПК СО РАН общий биологический запас голубики (*Vaccinium uliginosum*) в среднем оценивается в 40,4 тыс. т, брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) – в 23,6, шиповника (*Rosa acicularis*) – 0,88, морошки (*Rubus chamaemorus*) – 0,43, смородины (*Ribes*) – 0,20, клюквы (*Oxycoccus palustris*, *O. microcarpus*) – 0,21, черники (*Vaccinium myrtillus*) – 0,02. Из-за недостаточности сведений о запасах и площадях угодий, где можно добывать землянику (*Fragaria orientalis*), шикшу (*Empetrum nigrum*), жимолость (*Lonicera edulis*, *L. altaica*), рябину (*Sorbus sibirica*) и другие виды, оценка этих ресурсно-значимых ягод в настоящее время невозможна. Не весь биологический запас доступен для использования. С учетом сезонности урожая ягод, объема безопасного для популяции изъятия ресурса и потерь за счет объедания и повреждения, эксплуатационный запас заметно ниже, чем биологический и не превышает: по голубике – 22,0 тыс. т, бруснике – 12,6 тыс. т, шиповнику – 0,7 тыс. т, морошке – 0,35 тыс. т, смородине – 0,17 тыс. т, клюкве – 0,1 тыс. т, чернике – 0,003 тыс. т. (рис. 1.).

Таблица 1.

**Общий биологический и эксплуатационный запасы ягодных растений
в РС (Я), тонн**

Вид растения	Центральная Якутия		Западная Якутия		Южная Якутия		Восточная Якутия		Арктика		Всего по РС (Я)	
	ОБЗ	ОЭЗ	ОБЗ	ОЭЗ	ОБЗ	ОЭЗ	ОБЗ	ОЭЗ	ОБЗ	ОЭЗ	ОБЗ	ОЭЗ
Брусника	4803	2402	11014	6300	3206	1603	2335	1167	2252	1126	23610	12598
Голубика	5764	3074	14548	8216	7093	3783	8409	4485	4571	2438	40385	21996
Смородина	38	29	61	62	50	37	17	13	36	27	202	168
Шиповник	77	58	201	184	237	178	260	195	108	81	883	696
Морошка	+	+	+	+	+	+	36	29	398	318	434	347
Клюква	13	6	23	14	160	69	9	4	8	3	214	95
Черника	0	0	17	3	+	+	0	0	0	0	17	3

Источник: фондовые материалы ИБПК СО РАН

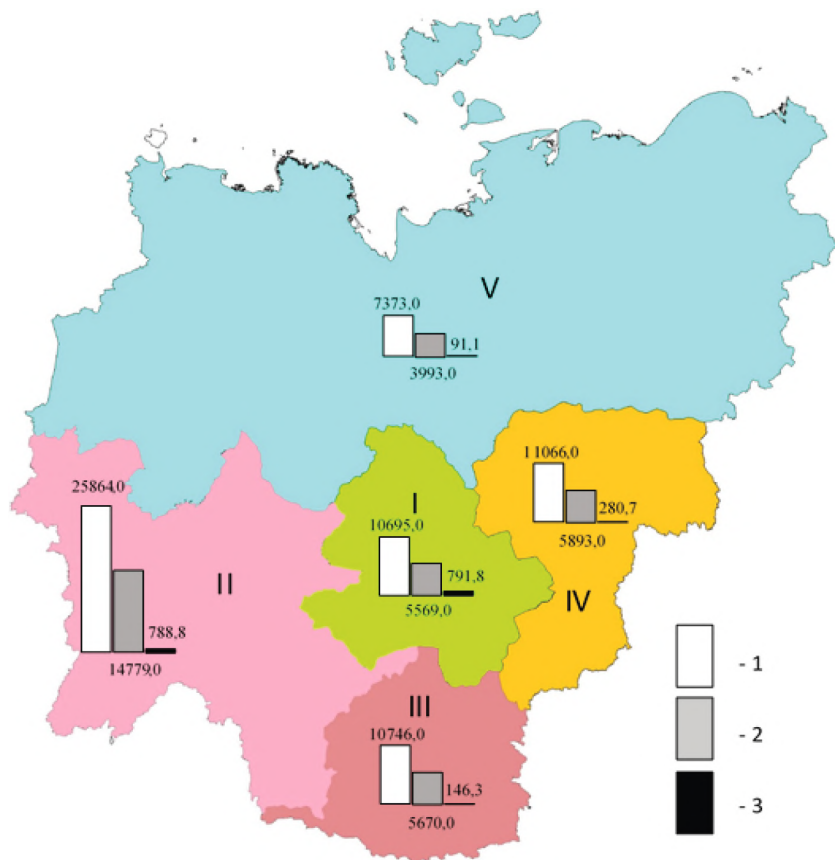


Рис. 1. Оценочные данные о биологических запасах (1), эксплуатационных запасах (2) и эксплуатационных ресурсах (3) ягод по экономическим зонам Якутии
(I – Центральная Якутия; II – Западная Якутия; III – Южная Якутия; IV – Восточная Якутия; V – Арктика)

2. Запасы грибов

Всего в Якутии в настоящее время насчитывается более 900 видов микро- и макромицетов. Из них 173 вида афиллофоровых грибов, 94 агариковых, 18 гастеромицетов, 27 пероноспорных, 17 мучнисторосяных, 32 головневых, 98 ржавчинных, 11 аскомицетов, 7 миксомицетов, более 10 дейтеромицетов [13].

В лесах Якутии встречается около 30 видов съедобных грибов из семейства Болетовые (*Boletaceae*). Наиболее ценным из них считается белый гриб или боровик (*Boletus edulis*). Он растет в сосновых, смешанных и лиственничных лесах с примесью березы, образуя микоризу с березой, сосной и елью. Еще в 70-е годы XX века белый гриб не был известен в Якутии или встречался очень редко, но с середины 90-х гг. его урожайность возросла [27, 28].

Основную долю ресурсных грибов в лесных формациях Якутии составляют грибы-микоризообразователи, иногда узкоспецифичные, такие как масленок настоящий или сосновый (*Suillus luteus*). Этот гриб широко распространен в сосновых лесах, встречается в кедровостланиковых сообществах, а также во всех насаждениях, где встречается сосна, так как образует микоризу с двухвойными (сосна обыкновенная) и пятихвойными (кедр сибирский, кедровый стланик) соснами рода *Pinus*. Урожай этих грибов может быть большим - до 45-70 кг/га за день. Также только в симбиозе с родом *Pinus* (сосна) произрастают моховик (*Suillus variegatum*) и рыжик деликатесный (*Lactarius deliciosus*). Узкоспецифичны масленок лиственничный с каштановой (*Suillus clintonianus*) и с желтой (*Suillus grevillei*) шляпкой, он образует микоризу только с лиственницей (р. *Larix*), а также подберезовик (*Leccinum scabrum*), растущий только в симбиозе с березой. В лесах Якутии встречаются и другие грибы из семейства Болетовые (*Boletaceae*), которые относятся к I-II категории съедобных. Эти грибы тоже образуют микоризу с различными древесными породами, причем спектр их хозяев шире, чем у масленка. Подосиновик (*Leccinum aurantiacum*), например, растет не только под осинами, но и под березами, соснами и лиственницами. Семейство Сыроежковые (*Russulaceae*) также широко представлено в лесах Якутии. К этому семейству относятся настоящий груздь и груздь водянисто-зоновый (*Lactarius resimus*; *L. aquizonatus*), сыроежки (*Russula*) и другие. Урожайность этих грибов бывает очень большой - суточный сбор в отдельные годы превышает 1,5 ц/га.

Микобиота Центральной Якутии относительно изучена. Наиболее продуктивны в отношении запасов грибов сосняки, широко распространенные в среднем течении р. Лены, березняки и смешанные леса, а также лиственничники и лиственничные вырубki на водоразделе. Центральная Якутия – наиболее засушливый регион, среднее количество осадков здесь в среднем составляет около 200 мм в год, причем основное их количество приходится на холодное время года. Летние температуры в июле могут превышать +35 С. Такие условия не очень благоприятны для роста гри-

бов, однако урожаи некоторых видов бывают весьма значительны. И.А. Петренко приводит следующие цифры: разовый сбор масленка – 41-75 кг/га; подберезовика – 196 кг/га (в лиственничнике). Общая биомасса грибов более 640 кг/га на маршрутах [10].

В других экономических зонах РС (Я) микобиота менее изучена. Научно обоснованные данные по ресурсам грибов в Восточной Якутии отсутствуют. Исследования урожайности грибов в Южной и Западной Якутии, леса которых наиболее продуктивны и чей породный состав наиболее богат, проводились от случая к случаю, поэтому данные весьма отрывочны. Имеются сведения по Алданскому и Нерюнгринскому районам, а также по Ленскому, Олекминскому и Мирнинскому районам [5, 7]. Для определения теоретически возможного урожая грибов в Нерюнгринском районе были проведены расчеты, основанные на данных Гослесфонда РФ (табл. 2). При этом просуммированы урожаи всех видов, которые могут встречаться в лиственничных лесах и лиственничниках с примесью березы, в сосняках, в кедровостланиковых сообществах, а также в сосняках с примесью березы и других лиственных пород. Полагаем, что эти данные завышены, т.к. ранее исследования урожайности проводились в заведомо «грибных» местах и в заведомо «грибное» время года с учетом 100% площади ГЛФ [10]. По оценке А.П. Исаева и П.А. Тимофеева, полученной на основе обобщения архивных данных, средние запасы съедобных грибов в спелых и перестойных лиственничниках Якутии составляют 1,7 ц/га, а средние объемы возможной заготовки в 0,7 ц/га [1].

Таблица 2.

Оценка общего урожая съедобных грибов в Нерюнгринском районе РС (Я), сырой вес

Формации	Площадь, га (данные Гослесфонда РФ)	Средний урожай грибов, ц/га	Общий урожай, т
Лиственничники	5180294	2,729	1 413 702,2
Сосняки	677713	1,954	132 425,1
Лиственные леса	52864	2,755	14 564,0

Источник: фондовые материалы ИБПК СО РАН

Также специалистами ИБПК СО РАН проводились исследования в тундровой и лесотундровой зонах Арктики [6, 16]. Во время учета было выявлено 5 видов грибов, имеющих ресурсное значение, данные по биомассе особо ценных видов приведены в табл. 3. Суточный сбор во время массо-

вого плодоношения грибов в арктической зоне Якутии может составить более 60 кг с гектара. Кроме тундры, исследовались арктические районы, где распространена северная тайга. Это Верхоянье, включая горную часть Кобяйского улуса, где исследования проводились в 2010, 2014 и 2017 гг. В лиственничниках и кедровостланиковых сообществах Верхоянья запасы масленка лиственничного достигали 230 кг/га.

Таблица 3.

Урожайность грибов по результатам суточного сбора в тундровой и лесотундровой зоне РС (Я) (сырой вес)

Виды грибов	Латинское название вида	Средние запасы сырья, г/100 кв. м	Биологический запас кг/га	Эксплуатационный запас кг/га (30% от биологического запаса)
Подберезовик	<i>Leccinum scabrum</i>	345,0	34,5	11,5
Груздь дриадовый	<i>Lactarius dryadophilus</i>	610	61,0	20,3

Источник: фондовые материалы ИБПК СО РАН

На основе анализа литературы [3, 10], собственных материалов и полевых исследований был составлен перечень грибов, являющихся ценным пищевым и лекарственным ресурсом. Сводные данные по биологической урожайности популярных съедобных грибов приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Биологическая урожайность грибов в Якутии (сырой вес, кг/га)

Грибы			Центральная Якутия			Южная и Западная Якутия	Арктика, включая горную часть Кобяйского улуса
Русское название вида	Латинское название вида	Английское название вида	Пет- ренко (1978)	Лапиц- кая (1986)	Миха- лева (2009)		
Сосняки							
Белый гриб (боровик)	<i>Boletus edulis</i>	<i>Cep (Boletus)</i>	-	-	3-12	1-16	-
Масленок настоя- щий (сосновый)	<i>Suillus luteus</i>	<i>Annulated (Yellow boletus; stubby-stalk)</i>	3-75	2-29	1-23	3-28,6	-
Масленок желто-бурый (моховик)	<i>Suillus variegatus</i>	<i>Capercaillie (Mossiness mushroom)</i>	6-20	+	3-63	1-35	-
Подберезовик	<i>Leccinum scabrum</i>	<i>Brown cap boletus</i>	-	10-233	2-154	4-27	-

Грибы			Центральная Якутия			Южная и Западная Якутия	Арктика, включая горную часть Кобяйского улуса
Русское название вида	Латинское название вида	Английское название вида	Пет- ренко (1978)	Лапиц- кая (1986)	Миха- лева (2009)		
Подосиновик	<i>Leccinum aurantiacum; Leccinum testaceo- scabrum</i>	<i>Orange-cap (Rough) boletus</i>	9-12,6	-	2-5	1-12	-
Груздь настоящий	<i>Lactarius aquizonatus; Lactarius resimus</i>	<i>Milk mushroom (Milky cap)</i>	-	19-89	11-23	15-27	-
Рыжик	<i>Lactarius deliciosus</i>	<i>Saffron milk cap (Ginger)</i>	2,5-7	+	4-44	3-65	-
Волнушка	<i>Lactarius torminosus</i>	-	-	-	2-7	3-6	-
Березняки							
Белый гриб (боровик)	<i>Boletus edulis</i>	<i>Cep (Boletus)</i>	-	-	1-4	2-68	-
Подберезовик	<i>Leccinum scabrum; Leccinum testaceo- scabrum</i>	<i>Rough (Brown cap) boletus</i>	5,4-34,6	3-196	3-267	4-27	34,5
Подосиновик	<i>Leccinum aurantiacum</i>	<i>Orange-cap boletus</i>	2,6-42,0	9-13	3-241	27,5-61	-
Груздь настоящий	<i>Lactarius aquizonatus; Lactarius resimus</i>	<i>Milk mushroom (Milky cap)</i>	-	1-64	2-71	1-24	-
Волнушка	<i>Lactarius torminosus</i>	-	0,6-4,8	1-71	1-19	2-34	-
Лиственничники							
Масленок лиственничный	<i>Suillus grevillei; Suillus clintonianus</i>	<i>Yellow boletus (Larch boletus)</i>	1-19,7	1-55	1-98	2-34	1-211
Подберезовик	<i>Leccinum scabrum; Leccinum testaceo- scabrum</i>	<i>Rough (Brown cap) boletus</i>	2,8-196	10-233	1-156	2-188	-
Подосиновик	<i>Leccinum aurantiacum;</i>	<i>Orange-cap boletus</i>	9,2-12,6	-	3-20	1-1,5	-
Груздь настоящий	<i>Lactarius aquizonatus</i>	<i>Milk mushroom (Milky cap)</i>	21,0- 44,0	19-89	2-119	1-12	1-1,5
Волнушка	<i>Lactarius torminosus</i>	-	0,3-69,1	5-188	1-22	2-31,0	-

Источники: фондовые материалы ИБПК СО РАН; Петренко, 1978; Лапицкая, 1986; Михалева, 2009.

Сезон массового урожая грибов в зависимости от вида грибов в Якутии длится от 1 до 4 недель, его средняя продолжительность - 15 дней. Урожай сильно зависит от погодных условий, прежде всего от количества летних осадков и сроков их выпадения. Большое значение имеет температура воздуха в летние месяцы, так как сильная жара угнетает рост. Мико-

фенотические исследования, проведенные ранее, выявили, что в Якутии имеется только один грибной слой (сезон) – позднелетний [10]. Первые единичные грибы появляются в конце первой декады июля, массовый урожай отмечается в августе. Максимум урожайности приходится на вторую половину августа – начало сентября. Однако в последние три десятилетия отмечено, что агарикоидные макромицеты нередко стали иметь два слоя плодоношения. Первый урожай приходится на вторую половину июня – первую декаду июля, этот слой не очень урожайный.

При оценке объемов сбора нужно учитывать такие факторы как пространенность и поражение грибов личинками грибных мух и грибных комаров. В начале плодоношения биомасса грибов невелика, а к концу «слоя» наблюдается повышенная червивость. В неблагоприятные для произрастания годы повреждается более 70% грибов, в благоприятные – около 14% [17]. Поэтому эксплуатационный запас сырья оценивается в объеме не более 30 % от биологического.

3. Популярность и распространенность растительных пищевых видов

Для оценки популярности и распространенности ягод и грибов использованы результаты социально-экономического опроса, проведенного в рамках проекта RISE в 2021-2023 гг. Анкета исследования, разработанная в рамках международной коллаборации, всего 99 вопросов, охватывала широкий спектр тем в сфере устойчивости традиционных пищевых систем, включая сбор и потребление растительных видов.

Как показывают данные табл. 5., в Якутии популярны три ягоды – брусника, голубика и смородина, среди грибов – маслята всех видов, подберезовики и подосиновики. Анализ популярности грибов на основе ответов респондентов, показывает, что в отличие от широко распространённых видов такие грибы, как: боровики, рыжики, грузди и шампиньоны встречаются существенно реже. Также достаточно популярным местным пищевым видом является дикий зеленый лук, который собирается в начале летнего сезона, в дальнейшем консервируется или замораживается и употребляется в пищу в качестве приправы.

Распространенность и, соответственно, популярность видов по зонам варьируется (рис. 2 и 3). Потребление брусники распространено на всей территории Якутии, но в Арктике она уступает голубике. В то же время, в этой зоне меньше потребляется смородины, малины, шиповника, клюквы и черемухи. Морошка – ягода Арктики, в других зонах она встречается редко. Земляника наиболее распространена в Центральной и Западной Якутии. В Восточной Якутии встречается редкая для других зон охота. Данные подтверждают более высокую продуктивность леса Южной Якутии,

где помимо основных трех видов к ресурсно-значимым ягодным растениям можно отнести клюкву и черемуху.

Таблица 5.

Потребление и сбор растительных пищевых видов

№	Вид	Латинское название	Популярность, % респондентов	Число домохозяйств, давших ответ	Средний сбор на домохозяйство, кг
Ягоды, все виды				175	43,02
1	Брусника	<i>Vaccinium vitis-idaea L.</i>	90%	98	31,14
2	Голубика	<i>Vaccinium uliginosum L.</i>	78%	27	40,20
3	Смородина, все виды	<i>Ribes s.l.</i>	70%	73	13,85
4	Малина	<i>Rubus matsumuranus</i>	41%	-	-
5	Шиповник	<i>Rosa acicularis Lindl.</i>	39%	-	-
6	Земляника восточная	<i>Fragaria orientalis</i>	36%	17	1,84
7	Морошка	<i>Rubus chamaemorus</i>	24%	6	33,92
8	Клюква	<i>Oxycoccus s.l.</i>	14%	-	-
9	Черемуха	<i>Padus avium</i>	6%	-	-
Грибы, все виды				65	8,67
10	Маслята, все виды	<i>Suillus s.l.</i>	62%	-	-
11	Подберезовик	<i>Leccinum scabrum</i>	43%	-	-
12	Подосиновик	<i>Leccinum aurantiacum</i>	28%	-	-
13	Белый гриб	<i>Boletus edulis</i>	22%	-	-
14	Шампиньоны	<i>Agaricus s.l.</i>	18%	-	-
15	Груздь	<i>Lactarius resimus</i>	17%	-	-
16	Рыжик	<i>Lactarius deliciosus</i>	11%	-	-
17	Сыроежки	<i>Russula s.l.</i>	1%	-	-
Иные пищевые растения					
18	Лук скорода	<i>Allium schoenoprasum</i>	40%	-	-
19	Кедровые орехи	<i>Pinus sibirica, P. pumila</i>	15%	-	-
20	Щавель	<i>Rumex thyrsiflorus</i>	4%	-	-

Источник: база данных проекта RISE

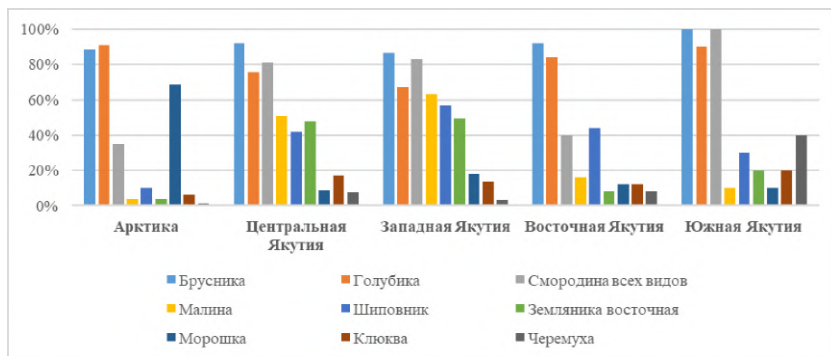


Рис. 2. Популярность ягод по экономическим зонам РС (Я), % от числа ответивших респондентов

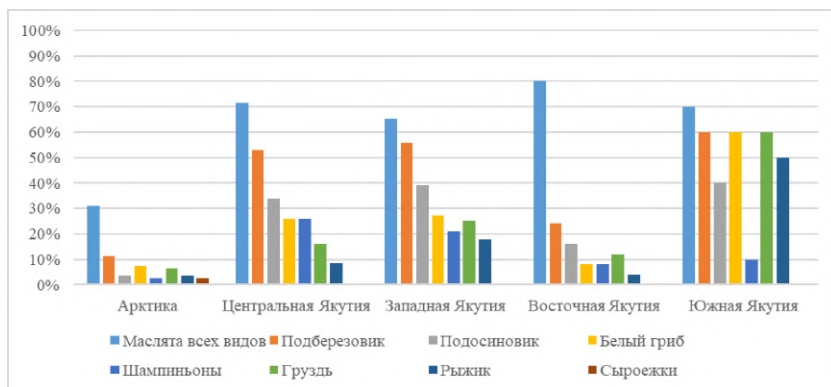


Рис. 3. Популярность грибов по экономическим зонам РС (Я), % от числа ответивших респондентов

По грибам, как и по ягодам, Арктика менее продуктивна относительно Южной, Центральной и Западной Якутии. Это несколько противоречит данным о высокой урожайности маслят в северной тайге Верхоянья [6, 16]. Но Арктика - это преимущественно тундра и лесотундра, где урожайность пищевых растительных ресурсов все еще недостаточно исследована. Также необходимо учитывать фактор пищевых предпочтений народов, проживающих в арктической зоне, где люди значительно реже собирают и потребляют в пищу грибы.

Из 385 опрошенных домохозяйств 220 семей или 57 % дали ответы о ведении продукционного типа экосистемных услуг: охоте, рыболовстве и со-

бирательстве (блок № 9 анкеты). Из них 176 семей или 80 % отметили, что собирают ягоды, грибы и иные пищевые растения, остальные (44 семьи) отметили только охоту и рыболовство. Из общего числа семей, занимающихся собирательством, сбор и ягод, и грибов ведут 64, только ягоды собирают - 111, только грибы – 1. Таким образом, грибы собирает всего 65 домохозяйств или 36,4 % от общего числа ответивших, а ягоды – 175 и 79,5% соответственно. Объем сбора ягод и грибов в расчете на 1 жителя сельской местности варьируется по экономическим зонам РС (Я), что обусловлено различной биопродуктивностью (рис. 4). Определенный вклад в это вносят и пищевые предпочтения местных жителей. Например, в Южной Якутии, где опрашивалось население эвенкийского села Хатыстыр, много собирается ягоды, в том числе и на продажу, биоразнообразие грибов выше (рис. 3), но они не считаются ценным пищевым продуктом, поэтому объемы сбора респондентами не отмечались. Грибы потребляются только внутри домохозяйств, в среднем их собирается немного, 8,67 кг на 1 домохозяйство или 2,35 кг на члена семьи. Сбор ягод более распространен, а объем сбора больше, в среднем собирается 43,02 кг на семью или 12,86 кг на человека (табл. 5). Этот разрыв объясняется не только более высоким потреблением ягод, но и тем, что часть домохозяйств (21 семья из 175 или 12 %) продает излишки ягод, если есть возможность их доставить до рынков сбыта – крупных городских поселений Западной и Южной, отчасти Центральной Якутии. На продажу идут преимущественно брусника, голубика и морошка. Например, в Западной Якутии, где собранные данные более подробны, в 2022 г. на продажу было направлено 30 % сбора брусники, 81 % голубики и 77 % морошки. Сбор и, соответственно, реализация ягод зависят от погодных условий, в благоприятные с точки зрения биопродуктивности годы объем заготовки может возрастать до 4 - 5 раз.

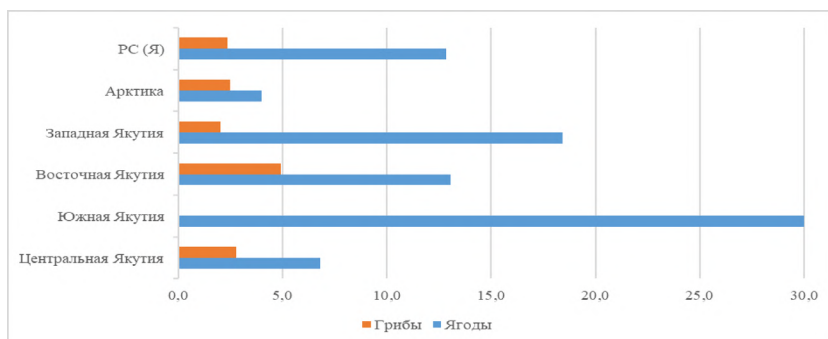


Рис. 4. Сбор на 1 сельского жителя по экономическим зонам РС (Я), кг/год

4. Оценка эксплуатационного ресурса пищевых растений

Приведенные в п. 2 и п. 3 настоящей работы данные по эксплуатационным запасам пищевых растений нуждаются в корректировке, так как из-за огромной территории региона и слабо развитой наземной транспортной сети, возможности сбора ягод и грибов ограничены. Согласно данным прототипа национального доклада «Экосистемные услуги России» (2016 г.), биологический запас съедобных грибов для территории РС (Я) в целом оценивается в 4-4,5 кг/га, в то время как объем заготовки в 0,000-0,009 кг/га/год; по бруснике – 0,32 – 0,40 кг/га и 0,000-0,002 кг/га/год, соответственно. Так как в настоящее время государственная статистика заготовки и потребления недревесных ресурсов леса не ведется, данные в разрезе регионов РФ были получены авторами доклада на основе оценки объемов заготовок во второй половине 1980-х гг. [18, с. 29].

Для проверки этих данных, а также уточнения в разрезе экономических зон Якутии соотношения между биологическим запасом и эксплуатационным ресурсом, под которым понимается эксплуатационный запас с учётом транспортной доступности и потерь, была использована формула [8, с. 91]:

$$\text{ЭР} = \text{Кд}(1 - \text{Кп})\text{БЗ} \quad (1),$$

где ЭР – эксплуатационный ресурс, т;

БЗ – биологический запас для экономической зоны, т;

Кп – коэффициент потерь биологического запаса за счёт неполноты сбора, объединения и повреждения и т.д.;

Кд – коэффициент наземной транспортной доступности для экономической зоны, при его расчете включаются наземные транспортные магистрали (дороги и реки). Определяется соотношением:

$$\text{Кд} = 5\text{Д} / 0,85 \text{ S}, \quad (2),$$

где Д – протяжённость наземных транспортных магистралей, км;

5 – доступная для сбора зона вдоль дорог и рек, км;

S – общая площадь экономической зоны, кв. км.

При использовании данного подхода был принят ряд допущений. Для оценки коэффициента наземной транспортной доступности были использованы данные по протяженности автомобильных дорог общего пользования, в Якутии они включают зимники, которые прокладываются по руслам рек (табл. 6). Доступная для сбора зона вдоль дорог и рек, согласно методике, принята в 5 км, то есть по 2,5 км в одну сторону от транспортной магистрали, но, как показывают глубинные интервью ре-

спондентов, полученные в рамках проекта RISE, сборщики могут удаляться на большие расстояния. Также, ввиду преобладания лесов (84,3 % от площади региона) при отсутствии достоверных данных о площади ягодных и грибных массивов в разрезе экономических зон, для оценки эксплуатационного ресурса были использованы данные о площади зон в целом с коэффициентом 0,85. Для оценки эксплуатационных запасов грибов использовались усреднённые данные урожайности по трем популярным видам: маслята (настоящие, лиственничные, моховики), подберезовики и подосиновики, приведенные в табл. 2-4. Для оценки запасов грибов в Восточной Якутии, по которой данные полевых наблюдений отсутствуют, были использованы данные для Центральной Якутии ввиду принадлежности к одной природно-климатической зоне «таежные леса». Коэффициент потерь сырьевого запаса ягод был принят на основе табл. 1., для грибов - в размере 70 % согласно разделу 2 данной статьи. Оценка эксплуатационного ресурса ягод и грибов представлена в табл. 7. Для РС (Я) в целом по ягодам он составляет 3,2 %, по грибам – 1,5 % от биологического, что определяется транспортной доступностью. Плотность наземной дорожной сети (дороги и реки) существенно варьируется по экономическим зонам, наиболее высокие показатели у Центральной и Западной Якутии (рис. 1.). Если по ягодам данные, приведенные в прототипе национального доклада «Экосистемные услуги России» (2016 г.), сопоставимы, то по грибам имеются существенные расхождения. Наша оценка биологического запаса ягод всех видов в РС (Я) составляет 0,25 кг/га, по бруснике - 0,09 кг/га, оценка в докладе - 0,32 – 0,40 кг/га или в 3-4 раза выше полученных нами данных. По грибам наша оценка – 32,05 кг/га против 4-4,5 кг/га, соответственно, оценка в национальном докладе занижена в 8 раз.

Для оценки объема заготовок ягод и грибов относительно биологического запаса и эксплуатационного ресурса было использовано два подхода. Первый – оценка объема заготовки, исходя из среднего сбора на домохозяйство (табл. 5). Для этого использовались данные по числу сельских домохозяйств, полученные в рамках ВПН 2010 г. (табл. 6). Результаты ВПН 2020 г. аналогичные данные не содержат, вместе с тем, в межпереписной период численность населения РС (Я) (прирост на 3,9%), как и основные демографические тренды существенно не изменились. При использовании данного подхода были использованы результаты опроса населения, которые показали, что ягоды собирает 45 % сельских домохозяйств, а грибы - 17 %. В целом для РС

(Я) заготовка ягод относительно эксплуатационного ресурса составила 93,85%, по грибам – всего 0,12%. Но по ягодам наблюдаются значительные превышения для таких зон, как Центральная Якутия (132,38%) и Арктика (295,32%). Поэтому более релевантным является второй подход, когда при оценке объемов заготовки использовались данные по среднему сбору на члена семьи в разрезе экономических зон, что позволяло учитывать различия в биопродуктивности пищевых видов различных экосистем. При таком подходе, также учитывающем долю населения, занимающегося собирательством, по ягодам объем заготовки относительно эксплуатационного ресурса составил 71,7%, по грибам - 0,046 %.

Таблица 6.

Социально-экономические показатели, используемые при расчете эксплуатационного ресурса ягодных растений и грибов

	Общая площадь, кв. км	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, км	Кд (коэффициент наземной транспортной доступности)	Население, человек	Сельское население, человек	Число домохозяйств в РС (Я)	Число сельских домохозяйств в РС (Я)
Период	2021	2021	2021	По данным ВПП-2020 (на 1 октября 2021 г.)		По данным ВПП-2010 (на 14 октября 2010 г.)	
Центральная Якутия	284540,0	8790	0,154	579587	187035	159620	54138
Западная Якутия	611054,2	8696	0,071	216852	88536	82134	28085
Южная Якутия	255709,3	1474	0,029	108623	4835	50276	1975
Восточная Якутия	323423,7	3510	0,054	26417	10438	12730	3643
Арктика	1608795,3	8673	0,027	64207	39753	25862	13898
Республика Саха (Якутия)	3083522,6	31143	0,050	995686	330597	330622	101739

Источник: данные Саха(Якутия)стата, расчеты авторов

Таблица 7.

**Оценка эксплуатационного ресурса ягодных растений и грибов
по экономическим зонам РС (Я)**

	Биологический запас, кг/га	Биологический запас, тонн	Кп (коэффициент потерь)	Эксплуатационный запас, тонн	Эксплуатационный ресурс, тонн	Отношение эксплуатационного ресурса к биологическому запасу, %	Объем заготовки сельскими домохозяйствами, тонн	Отношение объема заготовки сельскими домохозяйствами к эксплуатационному ресурсу, %	Сбор на человека, кг	Объем заготовки сельским населением, тонн	Отношение объема заготовки сельским населением к эксплуатационному ресурсу, %
Оценка запасов ягодных растений											
Центральная Якутия	0,442	10695,0	0,521	5569,0	791,8	7,4%	1048,1	132,38%	6,81	573,17	72,4%
Западная Якутия	0,498	25864,0	0,571	14779,0	788,8	3,0%	543,7	68,93%	18,42	733,87	93,0%
Южная Якутия	0,494	10746,0	0,528	5670,0	146,3	1,4%	38,2	26,14%	30,02	65,32	44,6%
Восточная Якутия	0,403	11066,0	0,533	5893,0	280,7	2,5%	70,5	25,13%	13,04	61,25	21,8%
Арктика	0,054	7373,0	0,542	3993,0	91,1	1,2%	269,1	295,32%	3,98	71,20	78,1%
Республика Саха (Якутия)	0,251	65744,0	0,546	35904,0	2098,6	3,2%	1969,6	93,85%	12,86	1504,81	71,7%
Оценка запасов грибов											
Центральная Якутия	38,311	926582,0	0,700	277974,6	42935,9	4,6%	79,8	0,19%	2,78	20,29	0,047%
Западная Якутия	24,560	1275636,8	0,700	382691,0	27230,7	2,1%	41,4	0,15%	2,04	9,44	0,035%
Южная Якутия	24,560	533818,7	0,700	160145,6	4615,7	0,9%	2,9	0,06%	0,00	0,00	0,000%
Восточная Якутия	38,311	1053203,6	0,700	315961,1	17145,1	1,6%	5,4	0,03%	4,93	14,37	0,084%
Арктика	34,500	4717792,3	0,700	1415337,7	38150,4	0,8%	20,5	0,05%	2,50	16,21	0,042%
Республика Саха (Якутия)	32,048	8507033,5	0,700	2552110,1	130077,7	1,5%	149,9	0,12%	2,35	60,31	0,046%

Источники: фондовые материалы и результаты полевых исследований ИБПК СО РАН, база данных проекта RISE, расчеты авторов

Объем заготовки ягод сельским населением в лесах Якутии (85 % от площади региона) оценивается нами в 1,5 – 2,0 тыс. тонн в год или 0,006 - 0,008 кг/га/год, по грибам – 60-150 тонн в год или 0,000 - 0,001 кг/га/год. Научно обоснованных данных о роли продукционных услуг в продовольственном обеспечении городских домохозяйств нет, но учитывая популярность сбора ягод и грибов среди горожан, полученные оценки в целом для

населения РС (Я) можно увеличить в два раза, соответственно, по ягодам – 3,0-4,0 тыс. тонн в год (0,011 - 0,015 кг/га/год), по грибам – 0,12 – 0,3 тыс. тонн в год (или 0,000 - 0,001 кг/га/год).

Выводы

На примере Республики Саха (Якутия) было показано, что социальные методы, включая использование традиционного для региона экономического зонирования, а также социально-экономические опросы населения, достаточно надёжны в исследовании биоразнообразия большого по площади региона. Они позволяют дополнять лакуны в базах данных, сформированных на основе полевых исследований, в частности по популярности и, соответственно, распространённости тех или иных пищевых видов в разрезе экономических зон. На основе использования социальных методов была подтверждена более высокая продуктивность и разнообразие растительного мира Южной Якутии относительно Арктики и иных экономических зон. Полученные на основе обобщения фондовых материалов и полевых исследований оценки биологических и эксплуатационных запасов пищевых растительных видов существенно варьируются. Эксплуатационный запас ягод оценивается в 43-48 % от биологического, по грибам – не более 30 %, что определяется периодичностью урожая, объемами безопасного для популяции изъятия, а также потерями. Учет фактора транспортной доступности сокращает оценку эксплуатационных ресурсов пищевых растительных видов относительно биологического запаса до 3,2 % по ягодам и 1,5 % по грибам, соответственно. Полученные данные позволили получить оценку объемов заготовки ягод и грибов сельскими домохозяйствами, а также в целом населением региона. Было доказано, что данные, содержащиеся в прототипе национального доклада «Экосистемные услуги России» (2016 г.), по биологическим запасам брусники в РС (Я) завышены в 3-4 раза, по грибам – занижены в 8 раз.

Заключение комитета по этике. Исследование проводилось с разрешения локального комитета по биомедицинской этике Медицинского института ФГАОУ ВО СВФУ (протокол № 33 от 15.12. 2021 г., решение № 6).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех респондентов, участвовавших в исследовании.

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

Финансовая поддержка. Работа выполнена при поддержке: Российского фонда фундаментальных исследований, научный проект № 21-55-70104, конкурс е-Азия Климат, и в рамках проекта VI.52.1.8. Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии 0376-2016-0001; рег. Номер AAAA-A17-117020110056-0.

Funding. The reported study was performed under the e-Asia Climate Call and funded by RFBR, project number 21-55-70104, and project VI.52.1.8. "Theoretical and applied aspects of investigation the diversity of the vegetation of Northern and Central Yakutia (East Siberia)" 0376-2016-0001; registration number AAAA-A17-117020110056-0.

Список литературы

1. Исаев А.П., Тимофеев П.А. Опыт определения ущерба недревесным ресурсам леса в связи с лесозаготовками в Центральной Якутии // Флора и растительность Якутии. М.: ФИПС, 1999. С. 158-163.
2. Коваленко А.Е. Определитель грибов СССР. Порядок Hygrophorales. Л.: Наука, 1989. 175 с.
3. Лапицкая Л.С. Изучение съедобных грибов в лесах Сибири // Почвы и лес: Тез. Докл. XI Всесоюз. симпозиума «Биологич. Проблемы Севера». Якутск, 1986.
4. Михалева Л.Г. Аффилофороидные макромицеты бассейна р. Колымы // Геоботанические и ресурсоведческие исследования в Арктике: Сб. научн. статей. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2010. С. 75-82.
5. Михалева Л.Г. Грибы бассейна р. Тимптон // материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И.П. Щербакова «Проблемы изучения лесов мерзлотной зоны» (26-27 октября 2011 г., Якутск). С. 39-42.
6. Михалева Л.Г. Грибы дельты р. Лены // Материалы 3 съезда микологов России, (Москва, 10-12 октября 2012 г.). М.: Национальная академия микологии, 2012. С. 164.
7. Михалева Л.Г. К микобиоте Юга Якутии // Тез.докл.респ. науч.-практ. конф. МуиС, вып. «Биология и медицина». Якутск: изд-во ЯНЦ, 1993. С. 78.
8. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Определение потенциальных запасов дикорастущих ресурсов Иркутской области» (окончательный отчет). Государственный контракт № Ф.2017.305501 от 24.07.2017 г.
9. Переведенцева Л.Г., Переведенцев В.М. Грибы России. Книга 1. Пермь: Изд-во ПГПУ, 1995. 190 с.

10. Петренко И.А. Макро- и микромицеты лесов Якутии. Новосибирск, Наука. 1978. 133 с.
11. Тимофеев П.А. Деревья и кустарники Якутии. – Якутск: Бичик, 2003. 64 с.
12. Тимофеев П.А., Иванова Е.И. Ягодные растения Якутии. Якутск: Бичик, 2006. 64 с.
13. Угаров Г.С., Михалева Л.Г., Абрамов А.Ф., Попова М.Г. Грибы Якутии Якутск: Изд-во Бичик, 2009. 96 с.
14. Черепнин В.Л. Пищевые растения Сибири, Новосибирск: Наука, 1987. 187 с.
15. Шейнгауз А.С. Освоение лесов и потребление лесных ресурсов на Дальнем Востоке до середины XIX в. // Пространственная экономика. 2007. № 4. С. 105-122.
16. Ширяев А.Г., Михалева Л.Г. Афиллоровые грибы (Basidiomycetes) тундр и лесотундр дельты реки Лены и Новосибирских островов (Арктическая Якутия) // Новости систематики низших растений. 2013. Т. 47. С. 155-166.
17. Шубин В.И. Грибы северных лесов. Петрозаводск: Карелия, 1969. 149 с.
18. Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / Ред.-сост. Е.Н. Букварёва, Д.Г. Замолодчиков. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с. https://teeb.biodiversity.ru/publications/Ecosystem-Services-Russia_V1_web.pdf
19. Bell F.W., Lamb E.G., Sharma M., Hunt S., Anand M., Dacosta J., Newmaster S.G. Relative influence of climate, soils, and disturbance on plant species richness in northern temperate and boreal forests // Forest Ecology and Management. 2016. Vol. 381. P. 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.016>
20. Bukhareva E., Zamolodchikov D., Kraev G., Grunewald K., Narykov A. Supplied, demanded and consumed ecosystem services: Prospects for national assessment in Russia // Ecological Indicators. 2017. Vol. 78. P. 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.034>
21. Bukhareva E., Zamolodchikov D., Grunewald, K. National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 655. P. 1181-1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.286>
22. CAFF 2015. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for the Arctic: Scoping Study. Conservation of Arctic Flora and Fauna // CAFF Assessment Series Report 12. Akureyri (Iceland), 2015. 168 p. <https://www.caff.is/assessment-series/323-the-economics-of-ecosystems-and-biodiversity-teeb-for-the-arctic-a-scoping-study>
23. García Molinos J., et al. Study protocol: International joint research project ‘climate change resilience of Indigenous socioecological systems’ (RISE) // PLoS ONE. 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271792>.

24. Gavril'yeva T., Naberezhnaya A., Ivanova M. Assessing the Contribution of Subsistence Economy in Income Generation of Rural Households in Yakutia // E3S Web Conf., IDSISA 2020, 2020. Vol. 176. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017605014>
25. Kotani A., Shin N., Tei Sh., Makarov A., Gavril'yeva T. Seasonality in Human Interest in Berry Plants Detection by Google Trends, *Frontiers in Forests and Global Change*, section Forest Disturbance // *Front. For. Glob. Change*. 2021. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.688835>
26. Lai T-Y., Salminen J., Jäppinen J-P., Koljonen S., Mononen L., Nieminen E., Vihervaara P., Oinonen S. Bridging the gap between ecosystem service indicators and ecosystem accounting in Finland // *Ecological Modelling*. 2018. Vol. 377. P. 51-65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.03.006>.
27. Mikhaleva L.G. Mycobiota of Central Yakutia // *Proceedings of 4th International WS on C/H₂O/Energy balance and climate over regions with special emphasis on Eastern Eurasia*. 14-16 July, 2008. Nagoya, 2009. P. 71-73.
28. Mikhalyova L.G. The expansion of areas of rare fungi species in connection with the global change // *The role of permafrost ecosystem in global climate change*. Yakutsk, RUSSIA: Yakutsk Scientific Center Publishing House, 2001. P. 129-132.
29. Narita D., Gavril'yeva T., Isaev A. Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: A local perspective for a global problem // *Polar Science*. 2021. Vol. 27, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100573>
30. *Nordic Macromycetes*. Vol. 2. Copenhagen: Nordsvamp, 1992. 474 p.
31. Pohjanmies, T., Jašková, A., Hotanen, J-P., Manninen, O., Salemaa, M., Tolvanen, A., Meril, P. Abundance and diversity of edible wild plants in managed boreal forests // *Forest Ecology and Management*. 2021. Vol. 491, 119151. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119151>
32. Prosekov A., Ivanova S. Nutritional features of indigenous people of Siberia and North America: Are we relatives? // *Journal of Ethnic Foods*. 2018. Vol. 5, Iss. 3. P. 155-160, <https://doi.org/10.1016/j.jef.2018.07.002>
33. Shin N., Kotani A., Maruya Y., Gavril'yeva T. Can Yandex statistics and Google Trends be used to detect people's interests in berries in the Russian Far East? // *Polar Science*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2022.100871>
34. *The Far North: Plant biodiversity and Ecology of Yakutia* / E.I. Troeva, A.P. Isaev, M.M. Cherosov, N.S. Karpov Eds. *Plant and Vegetation 3*, Springer Science + Business Media B.V. 2010. 390 p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3774-9>

References

1. Isaev A.P., Timofeev P.A. Opyt opredeleniya ushcherba nedrevesnym resursam lesa v svyazi s lesozagotovkami v Tsentral'noy Yakutii [Experience of Assessing the Damage to Non-timber Forest Resources Resulting from Logging in Central Yakutia]. *Flora i rastitel'nost' Yakutii* [Flora and Vegetation of Yakutia]. Moscow: FIPS Publ., 1999, pp. 158-163.
2. Kovalenko A.E. *Opredelitel' gribov SSSR. Poryadok Hygrophorales* [Field Guide to the USSR's Fungi. Order Hygrophorales]. Leningrad: Nauka Publ., 1989, 175 p.
3. Lapitskaya L.S. Izuchenie sedobnykh gribov v lesakh Sibiri [Studying Edible Mushrooms in the Forests of Siberia]. *Pochvy i les: Tez. Dokl. XI Vsesoyuzn. simpoziuma "Biologich. Problemy Severa"* [Soils and Forest: Abstracts of the 11th "Biological Problems of the North" All-Soviet Union Symposium]. Yakutsk, 1986.
4. Mikhaleva L.G. Affiloforoidnye makromitsety basseyna r. Kolymy [Affilophoroid Macromycetes of the Kolyma River Basin]. *Geobotanicheskie i resursovedcheskie issledovaniya v Arktike: Sb. nauchn. statey*. [Geobotanical and Resource Research in the Arctic: Collection of Scientific Articles]. Yakutsk: YaSC SB RAS Publ., 2010, pp. 75-82.
5. Mikhaleva L.G. Griby basseyna r. Timpton [Fungi of the Timpton River Basin]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya I.P. Shcherbakova "Problemy izucheniya lesov merzlotnoy zony"* (26-27 oktyabrya 2011 g., Yakutsk) [Proceedings of the "Problems of Studying Permafrost Forests" All-Russian Workshop and Conference to Commemorate the 100th Anniversary of Birth of I.P. Shcherbakov (Yakutsk, October 26-27, 2011)]. pp. 39-42.
6. Mikhaleva L.G. Griby del'ty r. Leny [Fungi of the Lena River Delta]. *Materialy 3 s"ezda mikologov Rossii, (Moskva, 10-12 oktyabrya 2012 g.)* [Proceeding of the 3rd Congress of Russia's Mycologists (Moscow, October 10-12, 2012)]. Moscow: Natsional'naya akademiya mikologii Publ., 2012, p. 164.
7. Mikhaleva L.G. K mikrobiote Yuga Yakutii [On Mycobiota of South Yakutia]. *Tez.dokl.resp. nauch.-prakt. konf. MuiS, vyp. "Biologiya i meditsina"* [Abstracts of Republic-wide ECR Conference and Workshop: Vol. Biology and Medicine]. Yakutsk: YaSC Publ., 1993, p. 78.
8. Research Report: "Opredelenie potentsial'nykh zasobov dikorastushchikh resursov Irkutskoy oblasti" ["Assessing potential reserves of wild-growing resources of the Irkutsk Region"]. (final report). State contract No. F.2017.305501 dated 24.07.2017.

9. Perevedentseva L.G., Perevedentsev V.M. *Griby Rossii. Kniga 1* [Mushrooms of Russia. Book 1]. Perm': PGPU Publ., 1995, 190 p.
10. Petrenko I.A. *Makro- i mikromitsety lesov Yakutii* [Macro- and Micromycetes of the Forests of Yakutia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 133 p.
11. Timofeev P.A. *Derev'ya i kustarniki Yakutii* [Trees and Shrubs of Yakutia]. Yakutsk: Bichik Publ., 2003, 64 p.
12. Timofeev P.A., Ivanova E.I. *Yagodnye rasteniya Yakutii* [Berry Plants of Yakutia]. Yakutsk: Bichik Publ., 2006, 64 p.
13. Ugarov G.S., Mikhaleva L.G., Abramov A.F., Popova M.G. *Griby Yakutii* [Fungi of Yakutia]. Yakutsk: Bichik Publ., 2009, 96 p.
14. Cherepnin V.L. *Pishchevye rasteniya Sibiri* [Food Plants of Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1987, 187 p.
15. Sheyngauz A.S. Osvoenie lesov i potreblenie lesnykh resursov na Dal'nem Vostoke do serediny XIX v. [Forests Exploitation and Consumption of Forest Resources in the Far East until Mid-19th Century]. *Prostranstvennaya ekonomika* [Spatial Economics], 2007, no. 4, pp. 105-122.
16. Shiryayev A.G., Mikhaleva L.G. Afillorovye griby (Basidiomycetes) tundr i lesotundr del'ty reki Leny i Novosibirskikh ostrovov (Arkticheskaya Yakutiya) [Aphyllorphic Fungi (Basidiomycetes) of the Tundra and Forest-Tundra of the Lena River Delta and the New Siberian Islands (Arctic Yakutia)]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of Taxonomy of Lower Plants], 2013, vol. 47, pp. 155-166.
17. Shubin V.I. *Griby severnykh lesov* [Fungi of Boreal Forests]. Petrozavodsk: Kareliya Publ., 1969, 149 p.
18. Ekosistemnye uslugi Rossii: Prototip natsional'nogo doklada. T. 1. Uslugi nazemnykh ekosistem [Ecosystem Services of Russia: Prototype of the National Report. Vol. 1. Services of Terrestrial Ecosystems]. E.N. Bukhareva, D.G. Zamolodchikov (eds). Moscow: Biodiversity Conservation Center Publishers, 2016, 148 p., https://teeb.biodiversity.ru/publications/Ecosystem-Services-Russia_V1_web.pdf
19. Bell F.W., Lamb E.G., Sharma M., Hunt S., Anand M., Dacosta J., Newmaster S.G. Relative influence of climate, soils, and disturbance on plant species richness in northern temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 381, pp. 93-105, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.016>
20. Bukhareva, E., Zamolodchikov, D., Kraev, G., Grunewald, K., Narykov, A. Supplied, demanded and consumed ecosystem services: Prospects for national assessment in Russia. *Ecological Indicators*, 2017, vol. 78, pp. 351-360, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.03.034>

21. Bukvareva, E., Zamolodchikov, D., Grunewald, K. National assessment of ecosystem services in Russia: Methodology and main problems. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 655, pp. 1181-1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.286>
22. CAFF 2015. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for the Arctic: Scoping Study. Conservation of Arctic Flora and Fauna. *CAFF Assessment Series Report 12*. Akureyri (Iceland), 2015, 168 p. <https://www.caff.is/assessment-series/323-the-economics-of-ecosystems-and-biodiversity-teeb-for-the-arctic-a-scoping-study>
23. García Molinos J., Gavrilieva T., Joompa P., Narita D., Chotiboriboon S., Parilova V., Sirisai S., Okhlopov I., Zhang Z., Yakovleva N., Kongpunya P., Gowachirapant S., Gabyshev V., Kriengsinyos W. Study protocol: International joint research project 'climate change resilience of Indigenous socioecological systems' (RISE). *PLoS ONE*, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271792>
24. Gavrilieva T., Naberezhnaya A., Ivanova M. Assessing the Contribution of Subsistence Economy in Income Generation of Rural Households in Yakutia, *E3S Web Conf., IDSISA 2020*, 2020, vol. 176. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202017605014>
25. Kotani A., Shin N., Tei Sh., Makarov A., Gavrilieva T. Seasonality in Human Interest in Berry Plants Detection by Google Trends, *Frontiers in Forests and Global Change*, section Forest Disturbance. *Front. For. Glob. Change*, 2021. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.688835>
26. Lai T-Y., Salminen J., Jäppinen J-P., Koljonen S., Mononen L., Nieminen E., Vihervaara P., Oinonen S. Bridging the gap between ecosystem service indicators and ecosystem accounting in Finland. *Ecological Modelling*, 2018, vol. 377, pp. 51-65, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.03.006>
27. Mikhaleva L.G. Mycobiota of Central Yakutia. *Proceedings of 4th International WS on C/H2O/Energy balance and climate over regions with special emphasis on Eastern Eurasia. 14-16 July, 2008*. Nagoya, 2009, pp. 71-73.
28. Mikhalyova, L.G. The expansion of areas of rare fungi species in connection with the global change. *The role of permafrost ecosystem in global climate change*. Yakutsk, Russia: YaSC Publishing House, 2001, pp. 129-132.
29. Narita, D., Gavrilieva, T., Isaev, A. Impacts and management of forest fires in the Republic of Sakha, Russia: A local perspective for a global problem. *Polar Science*, 2021, vol. 27, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100573>
30. Nordic Macromycetes. Vol. 2. Copenhagen: Nordsvamp, 1992, 474 p.
31. Pohjanmies T., Jašková A., Hotanen J-P., Manninen O., Salemaa M., Tolvanen A., Meril P. Abundance and diversity of edible wild plants in managed boreal

- forests. *Forest Ecology and Management*, 2021, vol. 491, 119151. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119151>
32. Prosekov A., Ivanova S. Nutritional features of indigenous people of Siberia and North America: Are we relatives? *Journal of Ethnic Foods*, 2018, vol. 5, no. 3, pp. 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2018.07.002>
33. Shin N., Kotani A., Maruya Y., Gavrilyeva T. Can Yandex statistics and Google Trends be used to detect people's interests in berries in the Russian Far East? *Polar Science*, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.polar.2022.100871>
34. The Far North: Plant biodiversity and Ecology of Yakutia / E.I. Troeva, A.P. Isaev, M.M. Cherosov, and N.S. Karpov Eds. Plant and Vegetation 3, Springer Science + Business Media B.V. 2010, 390 p. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-3774-9>

ВКЛАД АВТОРОВ

Исаев А.П.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, написание рукописи (раздел 1).

Гаврильева Т.Н.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, написание рукописи (разделы 3 и 4), редактирование рукописи.

Михалева Л.Г.: сбор и анализ данных, написание рукописи (раздел 2).

Чикидов И.И.: сбор и анализ данных, Рис. 1.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexandr P. Isaev: study conception, data collection and analysis, writing of the manuscript (chapter 1).

Tuyara N. Gavrilyeva: study conception, data collection and analysis, writing of the manuscript (chapters 3 and 4), editing of the draft of the manuscript.

Ludmila G. Mikhaleva: data collection and analysis, writing of the manuscript (chapter 2).

Ivan I. Chikidov: statistical data analysis, Fig. 1.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Исаев Александр Петрович, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр» СО РАН
просп. Ленина, 41, г. Якутск, 677980, Российская Федерация
alex_isaev@mail.ru

Гаврильева Туйара Николаевна, д-р экон. наук, профессор, Инженерно-технический институт
Северо-Восточный федеральный университет
ул. Кулаковского 50, г. Якутск, 677013, Российская Федерация
tuyara@list.ru

Михалева Людмила Гаевна, инженер-исследователь, Институт биологических проблем криолитозоны
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр» СО РАН
просп. Ленина, 41, г. Якутск, 677980, Российская Федерация
lgmikhailova@mail.ru

Чикидов Иван Иванович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр» СО РАН
просп. Ленина, 41, г. Якутск, 677980, Российская Федерация
chikidov@rambler.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexandr P. Isaev, Dr. Sc. (Biology), Chief Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone
Federal Research Center “Yakutian Scientific Center” SB RAS
41, Lenin Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677980, Russian Federation
alex_isaev@mail.ru
SPIN-code: 2977-2322
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4488-0228>
Researcher ID: E-9570-2016
Scopus Author ID: 7101845572

Tuyara N. Gavriilyeva, Dr. Sc. (Economics), Professor, Institute of Engineering & Technology
North-Eastern Federal University
50, Kulakovsky Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677013, Russian Federation
tuyara@list.ru

SPIN-code: 2785-7363

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3261-8588>

Researcher ID: E-7696-2017

Scopus Author ID: 57201406369

Ludmila G. Mikhaleva, Research Engineer, Institute of Biological Problems of Cryolithozone

Federal Research Center “Yakutian Scientific Center” SB RAS

41, Lenin Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677980, Russian Federation

lgmikhailova@mail.ru

SPIN-code: 6345-9936

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9042-7483>

Ivan I. Chikidov, PhD (Biology), Senior Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone

Federal Research Center “Yakutian Scientific Center” SB RAS

41, Lenin Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677980, Russian Federation

chikidov@rambler.ru

SPIN-code: 2121-2053

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8945-4505>

Researcher ID: AGZ-1498-2022

Scopus author ID: 57290962800

Поступила 31.10.2023

После рецензирования 20.11.2023

Принята 25.11.2023

Received 31.10.2023

Revised 20.11.2023

Accepted 25.11.2023

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1173

УДК 378-61-316.7



Научная статья

ГОТОВНОСТЬ ВРАЧЕЙ-ПЕДИАТРОВ К ВОСПИТАНИЮ ЦЕННОСТНОГО ОТНОШЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ К СВОЕМУ ЗДОРОВЬЮ

Е.Р. Зинкевич, С.Р. Оганов, Н.А. Яцевич

Обоснование. В настоящее время российское государство, медицинское и педагогическое сообщества озабочены состоянием здоровья подрастающего поколения. В связи с чем, на этапе обучения врачей-педиатров в ординатуре весьма остро стоит вопрос, касающийся поиска подходов, средств и приемов обучения, способствующих формированию готовности таких специалистов к осуществлению психолого-педагогического вида деятельности и решению педагогических задач в процессе профессиональной медицинской деятельности, одной из которых является воспитание ценностного отношения детей к своему здоровью.

В период с 2022 по 2023 учебный год в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» на факультете переподготовки и дополнительного профессионального образования состоялось экспериментальное исследование, направленное на изучение уровня сформированности психолого-педагогических знаний и педагогических умений врачей-педиатров, иллюстрирующего их готовность к психолого-педагогическому виду деятельности и решению педагогических задач в медицинской практике.

Цель исследования. Определить уровень сформированности психолого-педагогических знаний и педагогических умений врачей-педиатров, обеспечивающий их готовность к воспитанию ценностного отношения пациентов к своему здоровью.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 300 врачей-педиатров, обучающихся на первом курсе ординатуры, средний возраст которых – 25.48 ± 2.03 лет, из них: 233 женщины и 67 мужчин. Методом случайной выборки респонденты были разделены на две подгруппы (по 150 человек в каждой) – основную и контрольную – по критерию участия в экспериментальной работе, предполагавшей использование контекстного подхода в процессе изучения дисциплины учебного плана «Педагогика». Ординаторы дали согласие на проведение исследовательских процедур. Заранее авторы статьи получили разрешение Локального этического комитета Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета на организацию экспериментального исследования.

Методика исследования состояла из адаптированных анкет и опросных листов, для описания его результатов использовались следующие статистические методы: Т-критерий Вилкоксона (для проведения сравнительного анализа результатов констатирующего и формирующего экспериментов); анализ корреляционных взаимосвязей между исследуемыми параметрами с использованием критерия Ч. Спирмена. Расчет результатов производился посредством прикладного пакета программы «IBM SPSS Statistics 27».

Результаты. Экспериментальная исследовательская работа позволила выявить изменения в уровне сформированности психолого-педагогических знаний и педагогических умений, обеспечивающих готовность врачей-педиатров к осуществлению психолого-педагогического вида деятельности в процессе медицинской практики и решению педагогической задачи, направленной на воспитание ценностного отношения пациентов к своему здоровью, при условии использования в обучении контекстного подхода.

Заключение. Результаты проведенного экспериментального исследования свидетельствуют о необходимости использования контекстного подхода в процессе подготовки врачей-педиатров к психолого-педагогическому виду деятельности, а в качестве дидактического средства обучения – медико-педагогические ситуации, воссозданные или смоделированные специалистами.

Ключевые слова: медицинское образование; ординатура; психолого-педагогический вид деятельности; ценностное отношение к здоровью; контекстный подход к обучению; медико-педагогические ситуации

Для цитирования. Зинкевич Е.Р., Оганов С.Р., Яцевич Н.А. Готовность врачей-педиатров к воспитанию ценностного отношения пациентов к своему здоровью // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №3. С. 504-522. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1173

Original article

READINESS OF PEDIATRICIANS TO FORM A VALUE ATTITUDE OF PATIENTS TO THEIR HEALTH

E.R. Zinkevich, S.R. Oganov, N.A. Yatsevich

Background. *At present, the Russian state, medical and educational communities are concerned about the health of the younger generation. In this regard, at the stage of training pediatricians in residency, there is a very acute issue related to the search for approaches, means and methods of training that contribute to the formation of the readiness of such specialists to carry out psychological and pedagogical activities and solve pedagogical problems, in the process of professional medical activity, one of which is the education of the value attitude of children to their own health.*

From 2022 to 2023 academic year, an experimental study was conducted at the Faculty of Retraining and Continuing Professional Education at the St. Petersburg State Pediatric Medical University, aimed at to studying evaluate the pediatrician's level of psychological and pedagogical knowledge formation and pedagogical skills which are related to their readiness to the psychological and pedagogical type of activity and the solution of pedagogical problems in medical practice.

Purpose. *To identify changes in the state of psychological and pedagogical knowledge and the motivational orientation of pediatricians to the formation of the value attitude of patients to health during the experimental work, conditioned by the contextual approach to the study of the discipline "Pedagogy".*

Materials and methods. *The study involved 300 first-year pediatricians with an average age of 25.48 ± 2.03 years, including 233 women and 67 men. All respondents were divided into two groups (150 people each) – the main group and the control group – according to the criterion of participation in the experimental work, which involved the use of a contextual approach in the process of studying the discipline of the Pedagogy curriculum. Residents agreed to conduct research procedures. In advance, the authors of the article received permission from the Local Ethics Committee of the St. Petersburg State Pediatric Medical University to organize an experimental study.*

The methodology of the study consisted of adapted questionnaires and questionnaires. The following statistical methods were used: Wilcoxon T-test (for related samples); the analysis of correlations between the studied parameters was carried

out using the C. Spearman criterion. The calculation of the results was carried out using the application package of the program "IBM SPSS Statistics 27".

Results. Experimental research work has revealed changes in the level of formation of psychological and pedagogical knowledge and pedagogical skills that ensure the readiness of pediatricians to carry out psychological and pedagogical activities in the process of medical practice and to solve the pedagogical problem aimed at educating the value attitude of patients to their own health.

Conclusions. The results of the experimental study indicate the need to use a contextual approach in the process of training pediatricians for psychological and pedagogical activities, and as a didactic means of teaching - medical and pedagogical situations recreated or modeled by specialists.

Keywords: medical education; residency; psychological and pedagogical activity; value attitude to health; contextual approach to education; medical and pedagogical situations

For citation. Zinkevich E.R., Oganov S.R., Yatsevich N.A. Readiness of Pediatricians to Form a Value Attitude of Patients to Their Health. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 504-522. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1173

Введение

В Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации по программам ординатуры) декларируется необходимость осуществления психолого-педагогического вида деятельности врачами-педиатрами в медицинской практике и решения ими комплекса педагогических задач, одной из которых является воспитание ценностного отношения пациентов к своему здоровью [19]. В связи с чем в содержании статьи рассматриваются такие понятия как «ценность», «ценностное отношение», «ценностное отношение к здоровью», «психолого-педагогический вид деятельности».

Понятие «ценность» является весьма распространенным и, прежде всего, в философии. Философское знание определяет сущность этого понятия смыслом и условием полноценного существования конкретного объекта [20]. В свою очередь, ценностное отношение трактуется одним из видов деятельности, имеющей духовную направленность в объект-субъектных отношениях [10].

В психологии понятие «ценность» интерпретируется иначе: это воплощение общественно значимого идеала или идеалов, в то время как ценностное отношение – это предпочтение, приоритет личности в связи с

теми или иными человеческими смыслами существования, которые формируются на основе актуальных интересов и потребностей индивида [3].

Не обошли категории «ценность», «ценностное отношение» и педагогическую науку. В педагогике «ценность» – это идеал, принятый личностью, значимый для нее как установка для подражания [7]. Формирование ценностей является основной целью и сущностью процесса воспитания.

Понятие «ценностное отношение» педагогика характеризует как целостную систему личности, основанную на ее опыте, который выступает результатом общения и деятельности. Опыт позволяет индивиду выбирать те ориентации, которые актуальны для него в близкой или отдаленной перспективе, учитывая присвоенные ею ценности общественного бытия и являющиеся основанием для установления отношений с людьми и поведения [17].

Обобщая сказанное выше, можно резюмировать, что ценность – главный, основной приоритет в жизни человека, а ценностное отношение – это система убеждений, взглядов, позиций личности, составляющая пространство жизнедеятельности субъекта.

М.В. Клецкин обращает внимание на то, что ценностное отношение следует рассматривать в качестве момента практического освоения значимых для человека сфер жизнедеятельности [12]. Мы не можем не согласиться с этим утверждением тем более, что оно имеет прямое отношение к воспитанию.

Российские исследователи отмечают, что педагогическими средствами целенаправленного воспитания ценностного отношения личности к чему-либо являются эмпатия и рефлексия [1].

Если обсуждается проблема ценностного отношения к своему здоровью, то в этом случае актуализируется один из критериев зрелости, развития личности, сформировавшихся под влиянием различных воздействий, обусловленных ее социальной ситуацией развития, качеством семейного и общественного воспитания, обучения, системой сложившихся отношений с окружающим миром [11; 18].

В настоящее время ценностное отношение человека к своему здоровью приобрело особое значение, что связано с ухудшением демографической ситуации в России, состоянием репродуктивного здоровья граждан и качеством здоровья подрастающего поколения [9].

В последнее десятилетие актуализировалась проблема качества жизни как социально-психологического феномена в детстве, обсуждался психолого-педагогический аспект формирования ценностного отношения к здоровью [8] [14]. Проводились исследования, посвященные подходам и способам формирования ценностного отношения субъектов к своему здоровью [13],

[21; 22]. В частности, рассматривались основные направления развития у детей разных возрастов мотивации к здоровому образу жизни [5; 15; 16].

Можно привести пример исследований, в которых изучалось ценностное отношение молодых людей к здоровью и здоровому образу жизни и смысложизненные ориентации как компонент структуры эго-идентичности обучающихся в медицинском вузе [2; 4]. Но в публикациях российских исследователей проблема, касающаяся воспитания врачами-педиатрами ценностного отношения к своему здоровью у пациентов как одна из педагогических задач, заявленных в Федеральном государственном образовательном стандарте высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации по программам ординатуры) последнего поколения не нашла широкого освещения [19].

Успешное решение подобной задачи напрямую связано с готовностью врачей-педиатров осуществлять психолого-педагогической вид деятельности, основу которого составляет система психолого-педагогических знаний и педагогических умений, сформированных в процессе непрерывного профессионального образования, одним из этапов которого является ординатура. Психолого-педагогические знания – это совокупность сведений из психологии и педагогики, посредством которых осуществляется процесс воспитания, в частности, подрастающего поколения, а также успешно решаются частные педагогические задач, в том числе, воспитание ценностного отношения пациентов к здоровью [6].

С учетом выраженной актуальности проблемы изучения и необходимости эффективного формирования психолого-педагогических знаний и умений у врачей-ординаторов, нами были предпринято данное экспериментальное исследование.

Материалы и методы исследования

В 2022-2023 учебном году на базе факультета переподготовки и дополнительного профессионального образования ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава РФ было проведено исследование уровня сформированности психолого-педагогических знаний и педагогических умений, иллюстрирующих готовность врачей-педиатров осуществлять психолого-педагогический вид деятельности и решать целый ряд педагогических задач в профессиональной деятельности, среди которых важнейшая задача – воспитание ценностного отношения пациентов к своему здоровью.

В исследовании принимали участие 300 врачей-педиатров, обучающихся на первом курсе ординатуры по ряду специальностей: акушерство

и гинекология, аллергология и иммунология, анестезиология и реаниматология, гастроэнтерология, гематология, генетика, дерматовенерология. Средний возраст ординаторов, участвующих исследовании, – 25.48 ± 2.03 лет.

Большинство участников исследования – 250 человек – в настоящее время совмещают обучение в ординатуре с активной медицинской практикой в детских больницах, медицинских центрах и клиниках Санкт-Петербурга.

Методом случайно выборки респонденты были разделены на две группы – основную и контрольную (в каждой – по 150 человек) по критерию участия в экспериментальном исследовании, предполагавшем использование контекстного подхода и медико-педагогических ситуаций в процессе изучения дисциплины учебного плана «Педагогика».

Методика исследования состояла из анкет, интерпретация которых осуществлялась на основе разработанных критериев оценивания качества выполненных заданий.

В методику исследования вошли: анкета для определения уровня сформированности педагогических знаний респондентов, анкета, направленная на изучение уровня сформированности педагогических умений у врачей-педиатров, анкета, предполагавшая анализ уровня сформированности психологических знаний у ординаторов. Все анкеты были модифицированы авторами статьи на основе пакета анкет и опросных листов Е.Р. Зинкевич («Знание основных понятий педагогики высшей школы»; «Психологические понятия в содержании педагогической деятельности»; «Методические знания и умения применять их в педагогической деятельности, интегрированной в медицинскую практику»). Анкеты заполнялись письменно врачами-педиатрами.

Обработка полученных данных осуществлялась методами описательной статистики, проводился сравнительный анализ с использованием Т-критерия Вилкоксона (для сравнения результатов констатирующего и формирующего экспериментов), а также анализ корреляционных связей между исследуемыми параметрами с использованием критерия Ч. Спирмена, расчет результатов производился посредством прикладного пакета программы «IBM SPSS Statistics 27».

Результаты исследования

Анализ описательных статистик выявил, что на этапе констатирующего эксперимента средний уровень сформированности педагогических знаний у респондентов основной группы равен 3.1 баллов (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.2; в контрольной группе средний уровень сформированности педагогических знаний – 2.8 баллов (по 5-ти балльной шкале), показатель стандартного отклонения 1.3.

В свою очередь, средний уровень сформированности педагогических умений на этапе констатирующего эксперимента у респондентов основной группы равен 3.6 баллов (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.3. У респондентов контрольной группы средний уровень сформированности педагогических умений – 3.4 балла (по 5-ти балльной шкале), показатель стандартного отклонения 1.2.

Эти результаты свидетельствует о фактических равном потенциале в формировании педагогических знаний и умений у участников исследования: все они на этапе додипломного образования (на первом курсе) изучали учебную дисциплину «Психология и педагогика», прошло довольно много времени с момента ее изучения, чем, можно предполагать, и объясняется незначительные отличия в средних показателях, отражающих уровень педагогических знаний и умений в группах (0.3 и 0.2 балла соответственно).

Также на этапе констатирующего эксперимента проходила диагностика уровня сформированности знаний по психологии у респондентов. В основной группе средние результаты исследования сформированности психологических знаний были равны 2.2 балла (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 0.6. В контрольной группе средние результаты исследования сформированности психологических знаний были равны 2.6 балла (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.1. Полученные результаты также подтверждают, что большой разницы в качестве знаний по психологии у респондентов обеих групп нет, что обусловлено прохождением общей образовательной траектории и значительным промежутком времени, прошедшим с момента изучения дисциплины «Психология и педагогика».

Результаты исследования на этапе констатирующего эксперимента представлены в Таблице 1.

Таблица 1.

**Межгрупповой сравнительный анализ по шкалам
«Педагогические знания», «Педагогические умения», «Психологические
знания» на констатирующем этапе**

Параметр	Основная группа		Контрольная группа	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Педагогические знания	3.1	1.2	2.8	1.3
Педагогические умения	3.6	1.3	3.4	1.2
Психологические знания	2.2	0.6	2.6	1.1

Для реализации задач учебной дисциплины «Педагогика» в работе с обучающимися основной группы преподаватель-экспериментатор использовал контекстный подход, средством осуществления которого являлись исследовательские методы обучения и медико-педагогические ситуации. В свою очередь, в процессе обучения врачей-педиатров из контрольной группы применялся знаниевый (традиционный) подход, основными способами обучения стали репродуктивные методы, медико-педагогические ситуации не были интегрированы в работу с ординаторами.

После проведения формирующего эксперимента с обучающимися основной группы было проведено повторное анкетирование, результаты которого свидетельствовали об изменении в уровнях сформированности педагогических знаний, педагогических умений, психологических знаний у респондентов.

Удалось обнаружить, что формирующий эксперимент значительно изменил средний уровень сформированности педагогических знаний у респондентов основной группы. Его результат оказался равен 4.5 баллов (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.1. Средний уровень сформированности педагогических умений у ординаторов основной группы составил 3.6 баллов (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.3. Исследование среднего уровня сформированности психологических знаний приблизилось к параметру 2.7, стандартное отклонение не превысило 1.2.

Результаты сравнительного анализа с использованием критерия Вилкоксона обнаружили достоверное изменение показателей по шкалам «Педагогические знания», «Психологические знания». Испытуемые основной группы продемонстрировали достоверное увеличение показателей в указанных параметрах. Достоверных различий по показателю «Педагогические умения» обнаружено не было, вероятно, причина скрывается в отсутствии опыта применения педагогических знаний в психолого-педагогическом виде деятельности в медицинской практике. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Рассматривая результаты средних показателей исследования педагогических знаний у ординаторов контрольной группы, можно заметить, что они существенно не изменились: 3.0 балла (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение – 1.4. В свою очередь, показатели уровня сформированности педагогических умений несколько превысили свой показатель от 3.4 до 3.8 баллов (по 5-ти балльной шкале), стандартное отклонение составило 1.1. Вероятно, эту сложившуюся ситуацию можно объяснить педагогическим мастерством преподавателя в части владения им педаго-

гической техникой, его отношением к профессиональной деятельности. Средние значения, иллюстрирующие уровень сформированности психологических знаний, не изменился – 2.6 баллов (по 5-ти балльной шкале), показатель стандартного отклонения 1.1.

Таблица 2.

**Сравнительный анализ результатов исследования по шкалам
«Педагогические знания», «Педагогические умения», «Психологические
знания» на констатирующем и формирующем этапе: основная группа**

Параметр	Констатирующий этап		Формирующий этап		Досто- верность различий
	Среднее значение	Стандарт- ное откло- нение	Среднее значение	Стандарт- ное откло- нение	
Педагогические знания	3.1	1.2	4.5	1.1	<0.001
Педагогические умения	3.6	1.3	3.6	1.3	Не до- стоверно
Психологические знания	2.2	0.6	2.7	1.2	<0.001

Результаты сравнительного анализа с использованием критерия Вилкоксона обнаруживают достоверное изменение показателей по шкале «Педагогические знания» и представлены в таблице 3.

Таблица 3.

**Сравнительный анализ результатов исследования по шкалам
«Педагогические знания», «Педагогические умения», «Психологические
знания» на констатирующем и формирующем этапе: контрольная группа**

Параметр	Констатирующий этап		Формирующий этап		Досто- верность различий
	Среднее значение	Стандарт- ное откло- нение	Среднее значение	Стандарт- ное откло- нение	
Педагогические знания	2.8	1.3	3.0	1.4	Не досто- верно
Педагогические умения	3.4	1.2	3.8	1.1	<0.001
Психологические знания	2.6	1.1	2.6	1.1	Не досто- верно

В свою очередь, среднегрупповые значения показателей по исследуемым шкалам на формирующем этапе исследования представлены в Таблице 4.

Таблица 4.

Межгрупповой сравнительный анализ результатов исследования по шкалам «Педагогические знания», «Педагогические умения», «Психологические знания» на формирующем этапе

Параметр	Основная группа		Контрольная группа	
	Среднее значение	Стандартное отклонение	Среднее значение	Стандартное отклонение
Педагогические знания	4.5	1.1	3.0	1.4
Педагогические умения	3.6	1.3	3.8	1.1
Психологические знания	2.7	1.2	2.6	1.1

Анализ корреляционных связей между исследуемыми параметрами осуществлялся с использованием критерия Ч. Спирмена.

Структура корреляционного исследования включала в себя: анализ взаимосвязей между исследуемыми параметрами в каждой из групп до прохождения обучения; анализ взаимосвязей между исследуемыми параметрами в каждой из групп после прохождения обучения; анализ различий в структуре внутригрупповых взаимосвязей в исследуемых параметрах до и после обучения.

На рисунке 1 представлены корреляционные связи между параметрами исследования в основной группе до и после прохождения обучения ординаторов на основе контекстного подхода и применения медико-педагогических ситуаций.

Сравнение структуры взаимосвязей в параметрах исследования основной группы до и после обучения позволяет судить об увеличении уровня интегрированности знаний и умений респондентов. В частности, на констатирующем этапе исследования параметр «психологические знания» оказались не связанными ни с педагогическими знаниями, ни с педагогическими умениями, при этом данные взаимосвязи были обнаружены на формирующем этапе.

Сравнение корреляционных связей между изучаемыми параметрами в контрольной группе на констатирующем и формирующем этапе исследования позволяет судить об отсутствии серьезных изменений в их структуре после прохождения процесса обучения, в котором использовался знаниевый (традиционный) подход, а основными способами обучения выступали

репродуктивные методы, в свою очередь, медико-педагогические ситуации не являлись средствами обучения и не были интегрированы в работу с ординаторами.

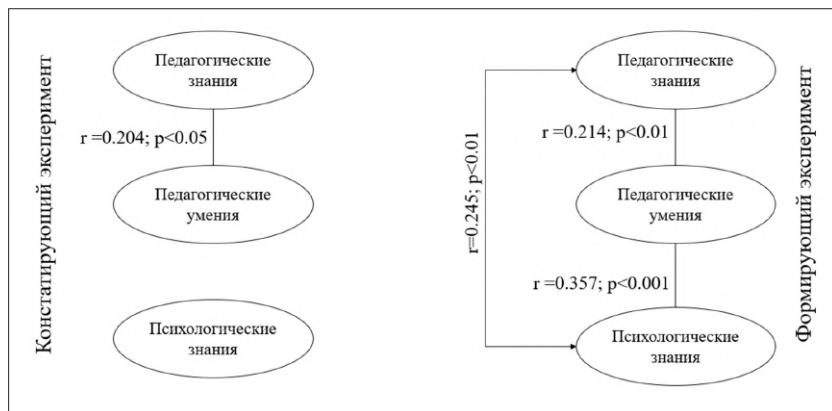


Рис. 1. Корреляционные связи между параметрами исследования в основной группе до и после прохождения обучения

На рисунке 2 представлены корреляционные связи между параметрами исследования в контрольной группе до и после прохождения обучения ординаторов на основе традиционного (знаниевого) подхода без использования медико-педагогических ситуаций как средства, максимально приближающего ординаторов к контекстам их профессиональной деятельности.

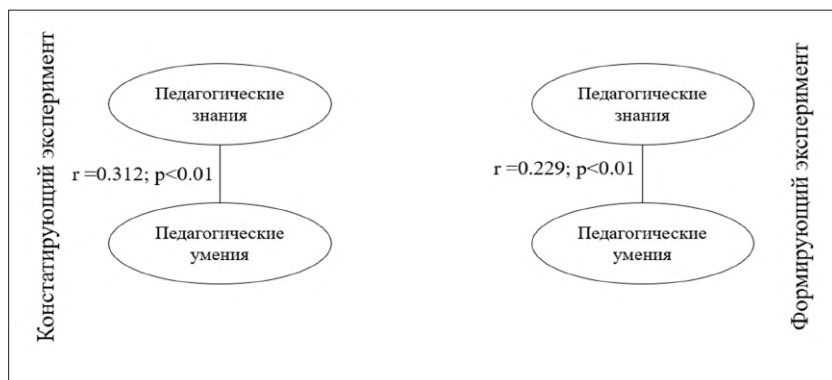


Рис. 2. Корреляционные связи между параметрами исследования в контрольной группе до и после прохождения обучения

Испытуемые контрольной группы не продемонстрировали изменений в исследуемых параметрах, что косвенно может свидетельствовать о более высокой эффективности программы обучения, реализуемой на основе контекстного подхода в работе с респондентами основной группы.

Результаты исследования позволяют предположить, что педагогический процесс, организованный на основе контекстного подхода с применением медико-педагогических ситуаций и исследовательских методов обучения, позволяет сформировать систему из имеющиеся и вновь полученных педагогических и психологических знаний, а благодаря этому сформировать практические умения врачей-педиатров, позволяющие им решать частные педагогические задачи в профессиональной деятельности, связанные с воспитанием ценностного отношения у пациентов к своему здоровью.

Заключение

Результаты экспериментального исследования выступили подтверждением того, что процесс обучения педагогике, реализованный на основе ключевых дидактических принципов обучения взрослых – систематичности и последовательности, контекстного обучения, а также связи с жизнью, – способствует формированию системы, состоящей из имеющихся и вновь приобретенных психолого-педагогических знаний.

Медико-педагогические ситуации и исследовательские методы обучения выступают в этом случае, с одной стороны, средствами интеграции психолого-педагогических знаний и медицинской деятельности, с другой – средствами, обеспечивающими формирование педагогических умений. Убедительным подтверждением такого вывода служат обнаруженные связи между педагогическими знаниями, педагогическими умениями и психологическими знаниями после организации обучения с опорой на контекстный подход.

Полученные результаты могут выступить подтверждением необходимости широкого применения контекстного подхода на этапе последиplomного профессионального медицинского образования с использованием исследовательских методов обучения.

В организации подобных экспериментальных исследований необходимо формировать гомогенные выборки участников, у которых равный стартовый знаниевый потенциал, что позволит получить валидные результаты. Целесообразно расширение исследования в двух направлениях: увеличение количества испытуемых и включение респондентов, осваивающих образовательную программу ординатуры в классических или медицинских

университетах с целью увеличения репрезентативности выборки и количественных данных для статистической обработки.

Следует отметить, что результаты исследования могут быть распространены и интегрированы в процесс обучения педагогике врачей различных специализаций, обучающихся в университетах, в структуру которых входит ординатура.

Проведенное исследование отличается практической направленностью, педагогические идеи, лежащие в его основе, обеспечивают формирование готовности врачей-педиатров к решению частных педагогических задач, среди которых одно из центральных мест занимает воспитание ценностного отношения пациентов к здоровью.

Список литературы

1. Бабурова И. В. Основные положения концепции воспитания ценностных отношений школьников в образовательном процессе // Вестник СВФУ: электронный журнал, 2009. №3. С. 63-67.
2. Башкирова С. Н., Имнаев Ш. А. Ценностное отношение студенческой молодежи к здоровью и здоровому образу жизни // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2017. С. 63-66.
3. Большой психологический словарь / под ред. Б. Г. Мещерякова, В. П. Зинченко. М.: АСТ, 2008. 632 с.
4. Веригин М. А., Запорожцева Д. А. Смыслоразнозначные ориентации в структуре эго-идентичности студентов медицинского вуза // Молодежь XXI века: образование, наука, инновации: материалы VIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием. Новосибирск, 2019. С. 20-22.
5. Володкович С. Л., Ярчак Е. Н., Ярчак Л. М. Преемственность в физическом воспитании и в формировании ценностного отношения к здоровью в средней и высшей школе // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 2. № 2. С. 23-26.
6. Грязнова Е. В., Треушников И. А., Мухина Т. Г., Треушников А. И. Культура здоровья как актуальная проблема современного педагогического знания // Азимут научных исследований: педагогика и психология. 2021. Т. 10. № 3 (36). С. 285-288.
7. Дьячкова М. А. Понятия ценность и духовно-нравственные ценности в педагогике // Сибирский педагогический журнал: электронный журнал, 2007. №12. С. 141-146.

8. Закирова Л. М., Валеева Р. А. Качество жизни в период детства как социально-психологический феномен // Российский журнал образования и психологии. 2022. Т. 13. № 6. С. 135-151.
9. Здравоохранение в России. 2021: статистический сборник / Федеральная служба государственной статистики. С. 171. <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Zdravoohran-2021.pdf> (дата обращения: 20.09.2023).
10. Каган М. С. Философская теория ценности: монография. СПб.: ТОО ТК «Петрополис», 1997. 205 с.
11. Калешкина Е. Н. Критерии социально-личностной зрелости подростков // Scientific Cooperation Center «Interactive plus»: электронный журнал, 2018. С. 141-143. <https://interactive-plus.ru/e-articles/595/Action595-474806.pdf> (дата обращения: 20.09.2023).
12. Клецкин М. В. Онтологические основания ценностной детерминации научного познания: монография. М.: Библио-Глобус, 2018. 290 с.
13. Лихойда О. С. Формирование ценностного отношения к здоровью у детей старшего дошкольного возраста // Современная педагогика и психология: проблемы и перспективы: материалы Междунар. студ. науч.-практ. конф. Тверь, 2018. Т. 1. С. 184-188.
14. Лоншакова Н. А., Багин В. В. Теоретические подходы к пониманию ценностного отношения к здоровью и здоровому образу жизни // Социальная динамика населения и устойчивое развитие. I Всероссийская науч.-практ. конф. с междунар. участием: сборник тезисов. МГУ имени М.В. Ломоносова. Москва, 2018. С. 210-213.
15. Псеунок А. А., Еднич Е. М. Проблема формирования ценностного отношения обучающихся к здоровью // Традиции и новации в дошкольном образовании. 2019. № 2 (10). С. 8-12.
16. Саракаева С. А., Сокаев Х. М. Основные направления повышения у подростков устойчивой мотивации к здоровому образу жизни // Балтийский гуманитарный журнал. 2018. Т. 7. № 2 (23). С. 317-320.
17. Сластенин В. А., Чижикова Г. И. Введение в педагогическую аксиологию: учеб. пособие. М.: Академия, 2003. 192 с.
18. Тогаев Г. Ш. Воспитание социальной зрелости учащихся и критерии ее оценки // Проблемы науки. 2017. № 10 (23). С. 89-90.
19. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по специальности 31.08.19 педиатрия (уровень подготовки кадров высшей квалификации) / Приказ от 25 августа 2014 г. № 1060. <https://fgos.ru/fgos/fgos-31-08-19-pediatriya-uroven-podgotovki-kadrov-vysshey-kvalifikacii-1060/> (дата обращения: 14.10.2023).

20. Философский энциклопедический словарь / Под. ред. Е. Ф. Губского, Г. В. Кораблевой, В. А. Лутченко. М.: Инфра-М, 1998. 576 с.
21. Ходусов А. Н., Кононова С. А. Миссия, ценности и смыслы воспитания // Педагогическое образование: вызовы XXI века: Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти академика В.А. Сластенина. Воронеж, 2016. С. 104-108. http://cppe.nspu.ru/file.php/1/83_Sbornik_IFMIEO_s_obl.pdf (дата обращения: 14.10.2023).
22. Шмойлова Н. А. Формирование ценностного отношения к здоровью: психолого-педагогический аспект // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2020. Т. 20. № 3. С. 76-88.

References

1. Baburova I.V. Osnovnye polozheniya kontseptsii vospitaniya tsennostnykh ot-nosheniy shkol'nikov v obrazovatel'nom protsesse [The main provisions of the concept of education of value relations of schoolchildren in the educational process]. *Vestnik SVFU: elektronnyy zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 63-67.
2. Bashkirova S.N., Imnaev Sh.A. Tsennostnoe otnoshenie studentcheskoy molo-dezhi k zdorov'yu i zdorovomu obrazu zhizni [The value attitude of students to health and a healthy lifestyle]. *Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendentsii i perspektivy razvitiya: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Science, education, society: trends and prospects of development: materials of VIII Intern. scientific-practical conf.]. Cheboksary, 2017, pp. 63-66.
3. *Bol'shoy psikhologicheskii slovar'* [A large psychological dictionary] / ed. B.G. Meshcheryakov, V.P. Zinchenko. M.: AST, 2008, 632 p.
4. Verigin M.A., Zaporozhtseva D.A. Smyslozhiznennyye orientatsii v strukture ego-identichnosti studentov meditsinskogo vuza [Life-meaning orientations in the structure of the ego-identity of medical university students]. *Molodezh' XXI veka: obrazovanie, nauka, innovatsii: materialy VIII Vserossiyskoy stu-dencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Youth of the XXI century: education, science, innovation: materials of the VIII All-Russian student scientific-practical conference with international participa-tion]. Novosibirsk, 2019, pp. 20-22.
5. Volodkovich S.L., Yarchak E.N., Yarchak L.M. Preemstvennost' v fizicheskom vospitanii i v formirovanii tsennostnogo otnosheniya k zdorov'yu v sredney i vysshey shkole [Continuity in physical education and in the formation of a value attitude to health in secondary and higher school]. *Uspekhi sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2017, vol. 2, no. 2, pp. 23-26.
6. Gryaznova E.V., Treushnikov I.A., Mukhina T.G., Treushnikov A.I. Kul'tura zdorov'ya kak aktual'naya problema sovremennogo pedagogicheskogo znaniya

- [Health culture as an actual problem of modern pedagogical knowledge]. *Azimet nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya*, 2021, vol. 10, no. 3 (36), pp. 285-288.
7. D'yachkova M.A. Ponyatiya tsennost' i dukhovno-nravstvennye tsennosti v pedagogike [The concepts of value and spiritual and moral values in pedagogy]. *Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal: elektronnyy zhurnal*, 2007, no. 12, pp. 141-146.
 8. Zakirova L.M., Valeeva R.A. Kachestvo zhizni v period detstva kak sotsial'no-psikhologicheskiy fenomen [Quality of life during childhood as a socio-psychological phenomenon]. *Rossiyskiy zhurnal obrazovaniya i psikhologii*, 2022, vol. 13, no. 6, pp. 135-151.
 9. Zdravookhranenie v Rossii. 2021: statisticheskiy sbornik [Healthcare in Russia. 2021: statistical collection]. *Fed Federal State Statistics Service*, p. 171. <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Zdravookhran-2021.pdf> (accessed September 9, 2023).
 10. Kagan M.S. *Filosofskaya teoriya tsennosti* [Philosophical theory of value]. Saint-Petersburg: TOO TK «Petropolis», 1997, 205 p.
 11. Kaleshkina E.N. Kriterii sotsial'no-lichnostnoy zrelosti podrostkov [Criteria of social and personal maturity of adolescents]. *Scientific Cooperation Center «Interactive plus»: electronic journal*, 2018, pp. 141-143. <https://interactive-plus.ru/e-articles/595/Action595-474806.pdf> (accessed September 20, 2023).
 12. Kletskin M.V. *Ontologicheskie osnovaniya tsennostnoy determinatsii nauchnogo poznaniya* [Ontological foundations of the value determination of scientific cognition]. Moscow: Biblio-Globe, 2018, 290 p.
 13. Likhoyda O.S. Formirovanie tsennostnogo otnosheniya k zdorov'yu u detey starshego doskol'nogo vozrasta [Formation of a value attitude to health in older preschool children]. *Sovremennaya pedagogika i psikhologiya: problemy i perspektivy: materialy Mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf.* [Modern pedagogy and psychology: problems and prospects: materials of the International student scientific and practical conference]. Tver, 2018, vol. 1, pp. 184-188.
 14. Lonshakova N.A., Bagin V.V. Teoreticheskie podkhody k ponimaniyu tsennostnogo otnosheniya k zdorov'yu i zdorovomu obrazu zhizni [Theoretical approaches to understanding the value attitude to health and a healthy lifestyle]. *Sotsial'naya dinamika naseleniya i ustoychivoe razvitie. I Vserossiyskaya nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem: sbornik tezisov. MGU imeni M.V. Lomonosova* [Social dynamics of the population and sustainable development. I All-Russian scientific-practical conf. with international participation: collection of abstracts]. Moscow, 2018, pp. 210-213.
 15. Pseunok A.A., Ednich E.M. Problema formirovaniya tsennostnogo otnosheniya obuchayushchikhsya k zdorov'yu [The problem of forming students' value

- attitude to health]. *Traditsii i novatsii v doshkol'nom obrazovanii*, 2019, no. 2 (10), pp. 8-12.
16. Sarakaeva S.A., Sokaev Kh.M. Osnovnye napravleniya povysheniya u podrostkov ustoychivoy motivatsii k zdorovomu obrazu zhizni [The main directions of increasing teenagers' sustainable motivation for a healthy lifestyle]. *Baltiyskiy gumanitarnyy zhurnal*, 2018, vol. 7, no. 2 (23), pp. 317-320.
17. Slastenin V.A., Chizhakova G.I. *Vvedenie v pedagogicheskuyu aksiologiyu* [Introduction to pedagogical Axiology]. Moscow: The academy, 2003, 192 p.
18. Togaev G.Sh. Vospitanie sotsial'noy zrelosti uchashchikhsya i kriterii ee otsenki [Education of students' social maturity and criteria for its assessment]. *Problemy nauki*, 2017, no. 10 (23), pp. 89-90.
19. Federal'nyy gosudarstvennyy obrazovatel'nyy standart vysshego obrazovaniya po spetsial'nosti 31.08.19 pediatriya (uroven' podgotovki kadrov vysshey kvalifikatsii) [Federal state educational standard of higher education in the specialty 31.08.19 pediatrics (the level of training of highly qualified personnel)]. *Order of August 25, 2014 № 1060*. <https://fgos.ru/fgos/fgos-31-08-19-pediatriya-uroven-podgotovki-kadrov-vysshey-kvalifikatsii-1060/> (accessed October 20, 2023).
20. *Filosofskiy entsiklopedicheskiy slovar'* [Philosophical Encyclopedic Dictionary] / ed. E.F. Gubskoy, G.V. Korableva, V.A. Lutchenko. Moscow: Infra-M, 1998, 576 p.
21. Khodusov A.N., Kononova S.A. Missiya, tsennosti i smysly vospitaniya [Mission, values and meanings of education]. *Pedagogicheskoe obrazovanie: vyzovy XXI veka: Materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy pamyati akademika V.A. Slastenina* [Pedagogical education: challenges of the XXI century: Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference in memory of Academician V.A. Slastenin]. Voronezh, 2016, pp. 104-108. http://cppe.nspu.ru/file.php/1/83_Sbornik_IFMIEO_s_obl.pdf (accessed October 14, 2023).
22. Shmoylova N.A. Formirovanie tsennostnogo otnosheniya k zdorov'yu: psikhologo-pedagogicheskiy aspekt [Formation of a value attitude to health: psychological and pedagogical aspect]. *Voprosy psikhicheskogo zdorov'ya detey i podrostkov*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 76-88.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зинкевич Елена Романовна, д.п.н., доцент, профессор

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация
lenazinkevich@mail.ru

Оганов Сергей Рафаелович, старший преподаватель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

oganov.s.r@gmail.com

Яцевич Наталья Анатольевна, ассистент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»

ул. Литовская, 2, г. Санкт-Петербург, 194100, Российская Федерация

nyazevich@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena R. Zinkevich, Doctor of Pedagogical Sciences, PhD, Professor

Saint Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation

lenazinkevich@mail.ru

SPIN-code: 6990-6164

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-3395>

Sergey R. Oganov, Senior Lecturer

Saint Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation

oganov.s.r@gmail.com

SPIN-code: 5571-1874

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0975-9470>

Natalya A. Yatsevich, Assistant

Saint Petersburg State Pediatric Medical University

2, Litovskaya Str., St. Petersburg, 194100, Russian Federation

nyazevich@gmail.com

Поступила 01.11.2023

После рецензирования 20.11.2023

Принята 05.12.2023

Received 01.11.2023

Revised 20.11.2023

Accepted 05.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-845

УДК 616-05; 616-058



Научная статья

РЕБЕНОК С ИНВАЛИДНОСТЬЮ КАК СУБЪЕКТ ИНКЛЮЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ю.А. Афонькина, Г.В. Жигунова

Обоснование. Исследование вопросов инклюзии детей с инвалидностью с позиции субъектности обусловлено существующей потребностью в обеспечении должного уровня качества жизни и благополучия данной категории лиц. Дети с инвалидностью составляют многочисленную группу детского населения, сталкивающуюся с социальными барьерами в процессе включения в социальные связи и отношения, что приводит к их вытеснению из типичных детских практик, обеспечивающих позитивную социализацию. В этой связи большое значение имеют образ жизни, условия личностного становления и проживания периода детства ребенка с инвалидностью, во многом обуславливающие его включение в социум и реализацию инклюзивных практик, что и определило ракурс представленного исследования.

Цель. выявить субъектные основания инклюзии ребенка-инвалида в сравнении с нормотипичными сверстниками.

Материалы и методы. В 2023 году авторами проведено социологическое исследование по выявлению жизненных компетенций и характера социальной активности детей с инвалидностью в сравнении с нормотипичными сверстниками, проживающих в Евро-Арктическом регионе Российской Федерации (n=584). Использовались методы полуструктурированного интервью и анкетирования.

Результаты. Уровень и качество социальной активности детей с инвалидностью ниже нормотипичных детей, что также подтверждается другими исследованиями современных российских ученых. Основными субъективными барьерами инклюзии «нетипичного» ребенка выступают низкая социальная активность, невысокий уровень продуктивной деятельности, недостаток общения со сверстниками, несамостоятельность в принимаемых решениях и недооценка своих способностей.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о наличии субъективных факторов, которые могут тормозить включение ребенка с инвалид-

ностью в социум. Результаты имеют прикладное значение для родителей, педагогов, учреждений образования, здравоохранения и социальной защиты населения в разработке профилактических программ и мероприятий по повышению эффективности включения детей со стойкими нарушениями здоровья в общество.

Ключевые слова: инвалидность; ребенок-инвалид; инклюзивные процессы; самореализация инвалидов; барьеры инклюзии детей с инвалидностью

Для цитирования. Афонкина Ю.А., Жигунова Г.В. Ребенок с инвалидностью как субъект инклюзивных процессов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 523-540. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-845

Original article

A CHILD WITH DISABILITY AS A SUBJECT OF INCLUSIVE PROCESSES

Yu.A. Afonkina, G.V. Zhigunova

Background. The study of issues of inclusion of children with disabilities from the perspective of subjectivity is determined by the existing need to ensure the proper level of quality of life and well-being of this category of people. Children with disabilities constitute a large group of the child population that faces social barriers in the process of inclusion in social connections and relationships, which leads to their exclusion from typical childhood practices that ensure positive socialization. In this regard, the lifestyle, conditions of personal development and living during the childhood of a child with a disability are of great importance, largely determining his inclusion in society and the implementation of inclusive practices, which determined the perspective of the presented study.

Purpose. To identify the subjective grounds for the inclusion of a disabled child in comparison with normotypical peers.

Materials and methods. In 2023, the authors conducted a sociological study to identify the life competencies and nature of social activity of children with disabilities in comparison with their normotypical peers living in the Euro-Arctic region of the Russian Federation (n=584). Questionnaire and semi-structured interview methods were used.

Results. The level and quality of social activity of children with disabilities is lower than normative children, which is also confirmed by other studies by

modern Russian scientists. The main subjective barriers to the inclusion of an "atypical" child are low social activity, low level of productive activity, lack of communication with peers, lack of independence in decisions and underestimation of one's abilities.

Conclusion. *The data obtained indicate the presence of subjective factors that can inhibit the inclusion of a child with disabilities in society. The results are of practical importance for parents, teachers, educational institutions, health care and social protection of the population in the development of preventive programs and measures to increase the effectiveness of the inclusion of children with persistent health problems in society.*

Keywords: *disability; disabled child; inclusive processes; self-realization of disabled people; barriers to inclusion of children with disabilities*

For citation. *Afonkina Yu.A., Zhigunova G.V. A Child with a Disability as a Subject of Inclusive Processes. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 523-540. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-845*

Введение

По состоянию на начало 2023 года в Российской Федерации количество людей с инвалидностью – 10933 тыс. человек, из них 722 тыс. – дети-инвалиды (Общая численность инвалидов по группам инвалидности // Росстат. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964>).

Дети с инвалидностью являются одной из наиболее сложных социальных категорий в плане реализации своей субъектности в обществе. Несмотря на созданные в нашей стране на законодательном уровне условия для обучения, спорта, досуга, творчества, пространственной мобильности данных лиц, существует большое количество социальных барьеров для инклюзии детей со стойкими нарушениями здоровья, которые затрудняют их самореализацию и приводят к социальной маркировке в качестве нетипичных субъектов. Это подтверждается результатами исследований российских авторов, проведенных в период 2018-2022 гг. [2, с. 98; 11, с. 110; 16, с. 441].

Существующее в обществе восприятие детей с инвалидностью в качестве нетипичных индивидов, требующих особого пространства и условий для жизни, способствует созданию специфического, «обедненного», пространства детства, что затрудняет становление детей с инвалидностью как самостоятельных социальных субъектов. Таким образом воспроизводятся механизмы их исключения из общества, составляя барьеры развитию инклюзивных процессов и препятствуя повышению качества жизни

данной категории лиц в современном социуме, – одной из проблем, требующих решения, согласно плану основных мероприятий Десятилетия детства в России на период до 2027 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23 января 2021 г. № 122-п // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375249/).

Отметим, что социализация лиц инвалидностью в период детства имеет существенно выраженные особенности по сравнению с периодом взрослости. Проведенные к настоящему времени российскими учеными исследования [2; 5; 9; 17] показали, что приобретение заболевания в юном возрасте ведет к замедлению социализационных процессов, смещению акцентов в процессе взросления подрастающего поколения с инвалидностью на состояние здоровья в ущерб удовлетворению многочисленных социальных потребностей. В детстве противоречия между потребностями взрослеющей личности и социальными ограничениями по их удовлетворению наиболее остро отражаются на формировании личности и образе жизни, когда ребенку с инвалидностью, в отличие от сверстников с нормотипичным развитием, оказываются мало доступными или недоступными традиционно сложившиеся виды и формы деятельности, а социальные контакты существенно ограничиваются. Данные обстоятельства препятствуют как социальной инклюзии детей, так и разворачиванию инклюзивного потенциала ведущих для периода детства социальных сред, в первую очередь, семейной, образовательной и досуговой.

Кроме того, разного рода социальные ограничения, связанные с меньшей доступностью, чем нормотипичным сверстникам, образования, полноценного досуга, общения, снижают возможности самореализации ребенком с инвалидностью своего личностного потенциала, приводят к его личностной дисгармонии в последующем возрасте, затрудняя инклюзию во всех сферах его жизни.

В силу указанных социальных ограничений, статус инвалида становится приоритетным в личностной структуре ребенка, его жизнь конструируется в «координатах инвалидности» [6, с. 88], а его детство становится «нетипичным» [2, с. 58].

Таким образом создаются условия для сегрегации ребенка с инвалидностью, что требует профилактической направленности реализуемых в векторе инклюзии социальных программ и мероприятий. Все это обуславливает проведение научных исследований, направленных на выявление особенностей образа жизни и условий социализации детей с инвалидностью, анализ специфических социальных потребностей и вариантов

инклюзии, их жизненных компетенций, уровня социальной активности и факторов социального благополучия.

Материалы и методы

В 2023 году авторами было проведено социологическое исследование году среди детей с инвалидностью и нормотипичных детей в возрасте от 7 до 17 лет, проживающих на территории Евро-Арктического региона. С помощью полуформализованного интервью было опрошено 292 ребенка с инвалидностью с психическими (76,1%), речевыми (13,5%), опорно-двигательными (4,1%) и сенсорными нарушениями (6,3%), из них 59,3% мужского, 40,7% женского пола. Возраст опрошенных составил: от 6 до 7 лет – 37,0%, от 8 до 14 лет – 44,5%, от 15 до 17 лет – 18,5%.

Нормотипичные дети были опрошены в основном методом анкетирования, за исключением младших школьников, которые опрашивались методом полуформализованного интервью. Количество опрошенных составило 292 чел. в возрасте от 6 до 17 лет (6-7 лет – 37,3%, 8-14 лет – 43,8%, 15-17 лет – 18,9%), 54,8% муж., 45,2% жен. Исследование было направлено на выявление характера социальной активности детей в условиях семейного проживания. Опрос детей младших возрастов происходил в присутствии родителей либо воспитателей (с согласия родителей) на базе образовательных и социальных учреждений, в которые данные дети были включены. Исследование проводилось на арктических территориях Республики Карелия, Архангельской и Мурманской областей.

Результаты

Как показал опрос, дети с инвалидностью большую часть времени проводят либо дома, либо в образовательных учреждениях. Детские площадки, спортивные объекты и уличные пространства для прогулок остаются для них более недоступными по сравнению с нормотипичными детьми. Если среди детей с инвалидностью регулярно гуляют только 27,3% (более активно в старшей возрастной группе), то среди нормотипичных детей – 72,2%.

Опрос показал, что круг повседневных занятий нормотипичных детей значительно шире занятий детей с инвалидностью. Если дети с инвалидностью чаще всего играют, смотрят фильмы или мультфильмы, рисуют или лепят, слушают музыку, помогают с уборкой по дому и делают уроки, то нормотипичные дети еще дополнительно включаются в учебные, спортивные, музыкальные занятия, готовят, конструируют, катаются на

велосипеде, учат английский язык, танцуют, общаются, ведут собственные блоги, гуляют, играют в подвижные игры и многое другое. Продуктивная деятельность представлена в целом у 33,6% детей с инвалидностью и у 73,3% нормотипичных детей. У тех и других с возрастом наблюдается тенденция к сокращению количества занятий, которые более разнообразны до 14 лет. Наиболее разнообразны занятия наблюдаются у лиц с психическими нарушениями, а наименее – с двигательными.

75,0% детей с инвалидностью стремятся проводить время с другими детьми, 25,0% предпочитают проводить время в одиночку. В основном дети со стойкими нарушениями здоровья стремятся к общению, за исключением 5,8% опрошенных. Особых различий с нормотипичными детьми по данным вопросам нет. Однако свои желания дети с инвалидностью выражают более разнообразно, чем нормотипичные дети: 50% спокойно, четко, осознанно; 25% - напористо, агрессивно, 25% - по-разному, тогда как подавляющее большинство нормотипичных детей (96,9%) выражают желания спокойно, четко, осознанно, 3,1% - по-разному.

Половина опрошенных детей с инвалидностью (50,3%) часто проявляют инициативу в общении со взрослыми, 35,7% иногда, 14,0% - редко (среди нормотипичных детей часто проявляют инициативу 63,7%, иногда – 34,9%, редко – 1,4%). Инициативу в общении со сверстниками часто проявляют лишь 26,0% детей с инвалидностью, среди их ответов доминирует позиция «иногда» (74,0%). Напротив, подавляющее число нормотипичных детей (90,7%) сами стремятся к общению со сверстниками. При этом 60,2% детей с инвалидностью общаются с детьми младшего возраста, 19,9% - старшего возраста и только 19,9% - со сверстниками. Общение у большинства нормотипичных детей (66,8%) складывается в основном со сверстниками, у 6,5% - с более младшими детьми, у 26,7% - с более старшими.

При самооценке уровня принятия ребенка с инвалидностью другими людьми никто не ответил, что он воспринимается абсолютно благоприятно: 66,1% ответили «скорее да, чем нет», 33,9% затруднились с ответом. У нормотипичных детей при ответе на этот вопрос большинство (54,4%) уверены, что занимают благоприятное место среди других людей, 36,3% - скорее благоприятное, 9,3% затруднились ответить. Также исследование выявило имеющееся у ряда нормотипичных детей нежелание совместно обучаться с детьми с инвалидностью (12,7%) и общаться (5,8%).

В вопросе о характере взаимодействия детей друг с другом зафиксированы различия в ответах других детей с инвалидностью и нормотипичных детей. Если большинство детей с нормой (72,6%) считают, что с ними

охотно взаимодействуют другие дети (9,3% - скорее так считают, 18,1% ответили «когда как»), то дети с инвалидностью в основном ответили «когда как» (75,0%), а 25,0% ответили «скорее да, чем нет» (рис. 1).

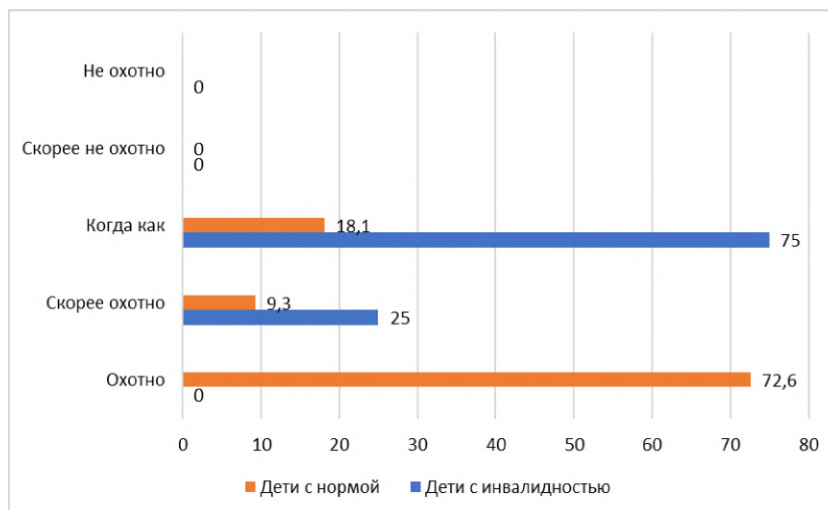


Рис. 1. Оценка характера взаимодействия детей с инвалидностью и детей с нормой с другими детьми

При ответе на вопрос, считают ли дети с инвалидностью себя способными, только 25,0% ответили полностью утвердительно (среди нормотипичных детей такой ответ дали 63,7% опрошенных), 5,1% считают себя неспособными (у нормотипичных детей нет такого ответа), а 56,0% - скорее способными, чем неспособными (среди детей с нормой - 36,3%).

Половина детей с инвалидностью (52,8%) при ответе на вопрос, считают ли они себя успешными, ответили «скорее да, чем нет», 18,8% ответили отрицательно и 28,4% затруднились ответить. У нормотипичных детей ответы распределились следующим образом: 45,5% детей с нормой считают себя успешными, 45,5% - скорее успешными, 9,0% - затруднились ответить.

Также выявлено различие в ответе на вопрос об отношении детей к самим себе: дети с инвалидностью относятся в большинстве скорее положительно (75,0%), 25,0% - положительно, а дети с нормой в основном относятся к себе положительно (81,8%) и лишь 18,2% - скорее положительно.

Все дети считают, что ими созданы все условия для развития их способностей и интересов. Однако при выявлении ответа на вопрос о том, в какой мере дети имеют возможность реализации себя в желаемых видах деятельности, у детей с инвалидностью выявлены средние оценки имеющих у них возможностей (3,4 балла из 5), тогда как у нормотипичных детей средняя оценка составила 4,7 балла. У детей с инвалидностью основными препятствиями для самореализации в желаемых сферах выступают организационные (отсутствие адаптивных программ для занятий), материально-технические (нет доступной среды и ресурсов для ее преодоления), познавательные (не позволяет уровень подготовки и знаний) и медико-физиологические факторы (противопоказания по здоровью), то у нормотипичных детей – материальные, организационные (перегруженность учебной и занятиями, отсутствие свободного времени) и индивидуально-личностные (усталость, неорганизованность, лень).

Опрос показал, что среди детей с инвалидностью имеются те, кто в своей жизни не принимает самостоятельных решений (9,6%), тогда как у детей с нормой таких ответов нет. Самостоятельные решения принимают 22,6% детей с инвалидностью и, значительно чаще, 77,0% детей с нормой. В основном дети с инвалидностью принимают решения совместно с родителями (67,8%), тогда как только третья часть (33,3%) нормотипичных детей согласует с родителями свои действия в повседневной жизни (рис. 2).

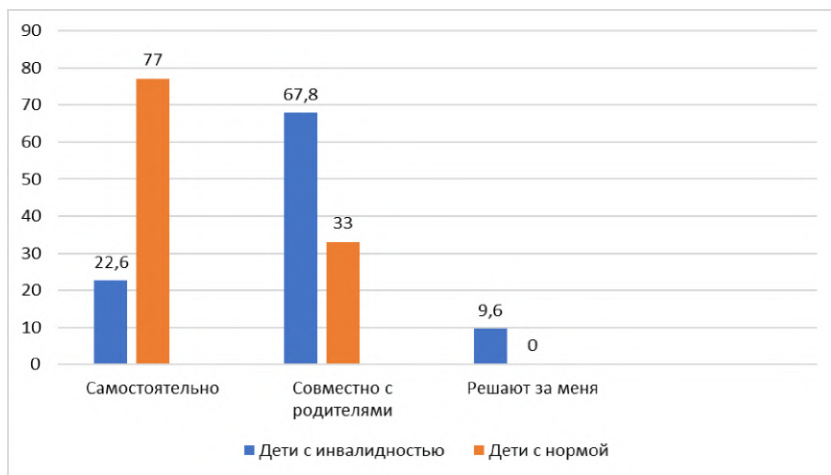


Рис. 2. Принятие самостоятельных решений детьми с инвалидностью и детьми с нормой, %

При ответе на вопрос о желаемых занятиях, дети с инвалидностью отвечали - посещать общественные места, развлекательные центры, участвовать в праздниках, ходить в кинотеатр, бассейн, на прогулки. При этом снова спектр ответов шире у детей с нормой, где добавляются различные кружки, секции, разнообразные занятия в рамках дополнительного образования или своих интересов, общение. И тех, и других детей радуют игры (от сюжетно-ролевых и предметных до компьютерных), творческие занятия, покупки, общение, угощения, а огорчает более всего неодобрительная оценка взрослого.

Обсуждение

Несмотря на то, что проблема социальной инклюзии детей с инвалидностью в современное время достаточно активно решается путем создания доступной среды и реализации реабилитационных мероприятий, дети с инвалидностью не участвуют в детских практиках в социуме в полной мере. В этой связи отечественные и зарубежные ученые отмечают, что сегодня остаются актуальными вопросы территориальной сегрегации детей с опорно-двигательными, сенсорными и ментальными нарушениями, наблюдающейся в избирательной организации городских пространств для инвалидов [7; 13; 18; 19- 21], что требует разработки комфортных логистических маршрутов до объектов и пространственных локаций поселений. Отдельного внимания заслуживает развитие уличной инфраструктуры и детских массовых учреждений для реализации типичных детских практик – инклюзивных детских площадок, пространств для творчества и всестороннего развития детей с инвалидностью, что еще в начале пути в нашей стране.

Еще одна проблема, существенно влияющая на ход инклюзии детей с инвалидностью - отношение общества к людям с инвалидностью. Современными учеными констатируются существующие в настоящее время в обществе стереотипы, ненормативные маркировки, интолерантность значительной доли населения, препятствующие людям с инвалидностью успешному социальному участию в жизни общества [1, с. 4; 12, с. 92; 14]. В данной связи исследование также выявило имеющееся у детей нежелание совместно обучаться, общаться, играть с детьми, имеющими инвалидность [21-22].

Безусловно, в инклюзии детей со стойкими нарушениями здоровья ключевая роль принадлежит семье. Отметим, что в центре внимания ученых ставятся вопросы социализации детей, личностные особенности

членов семьи и взаимовлияние родителей и детей с инвалидностью в процессе социальной инклюзии. При этом остаются актуальными вопросы изучения субъективно-личностных факторов успешной инклюзии, а также жизненных стратегии практик, приводящих к успешному включению ребенка в социум, отмечается важность в период детства поддержки семьи и разнообразия доступных видов деятельности и инклюзивных практик в достижении в последствии социальной успешности [3; 4; 8; 10; 15]. Опрос в этой связи показал, что дети удовлетворены имеющимися условиями социализации в их семьях.

Важным остается вопрос об активной позиции самих инвалидов в деле включения в общество [23]. В контексте инклюзии детей с инвалидностью важно актуализировать внимание к индивидуальности, внутреннему миру ребенка, формируемых под влиянием социального окружения и выступающих источниками его активности. Отметим, что активное построение человеком с инвалидностью своей деятельности и жизни еще с детских лет является важным фактором включения и приобретения им социальной субъектности [21; 24]. При этом значимым аспектом является способность ребенка к самореабилитации, самовоспитанию и самореализации, а также его отношение к инклюзии [17, с. 98], а в более широком смысле – его позиция по отношению к своей жизни, обусловленной его самовосприятием.

Выводы

В целом, проведенное исследование показало, что у детей с инвалидностью существенно ограничен круг дел и занятий, которые доступны их сверстниками с нормотипичным развитием, более узок круг общественных мест, которые они посещают, хотя те и другие дети проявляют желание и интерес к ним. Кроме того, обе группы детей радуют и огорчают примерно одни и те же события, явления, дела, объекты; они одинаково стремятся к общению. Однако общение между детьми нельзя назвать в полной мере принимающим: нормотипичные сверстники иногда демонстрируют социальную дистанцию по отношению к детям со стойкими нарушениями здоровья, а большинство из детей с инвалидностью указывают на те или иные факты неблагоприятного отношения к ним со стороны не только других детей, но и взрослых.

В инициации и организации разных видов дети с инвалидностью недостаточно активны по сравнению с нормотипичными детьми. В этом смысле ведущая роль принадлежит родителям, и лишь немногие дети с инвалидностью принимают решения самостоятельно.

Следует отметить, что дети с инвалидностью оценивают свои способности и успешность ниже, чем дети с нормотипичным развитием, что свидетельствует о негативных представлениях о себе, заниженной самооценке и трудностей самоидентификации.

Итак, в качестве барьеров инклюзии на субъективном уровне можно выделить однообразие и узость занятий детей с инвалидностью, пассивность и несамостоятельность, директивность родительского участия в делах детей, невысокий уровень общения со сверстниками, заниженную оценку своих возможностей и способностей.

Исходя из сказанного, профилактическая работа в векторе социальной инклюзии ребенка с инвалидностью должна предполагать комплекс пролонгированных мер, направленных на:

- максимально возможное и целесообразное обогащение форм и видов детской активности;
- формирование у родителей сотрудничающего взаимодействия с детьми как базиса нормализации семейной среды и формирования мотивации к включению с социум;
- создание условий для развития содержательных контактов с другими детьми в ходе организации совместных практик, отвечающих детским интересам;
- оказание (совместно с родителями) содействия ребенку с инвалидностью в достижении и осознании результатов своей деятельности.

Для этого важно поддерживать самостоятельность и инициативность «нетипичного» ребенка в процессе его жизнедеятельности, оказывать всестороннюю поддержку родителям в вовлечении их детей в инклюзивные практики; своевременно и комплексно отвечать на инклюзивные запросы «нетипичного» ребенка с тем, чтобы «нетипичный» ребенок становился не «включаемым», а «включающимся».

Заключение комитета по этике. Данный вид исследования не требует прохождения экспертизы локальным этическим комитетом.

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

Информация о конфликте интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00795, <https://rscf.ru/project/22-28-00795/>.

Список литературы

1. Афонькина Ю.А., Жигунова Г.В. Социальные эмоции представителей региональных сообществ Евро-Арктических территорий России в отношении детей с инвалидностью // Общество: социология, психология, педагогика. 2022. № 11. С. 16-23. <https://doi.org/10.24158/spp.2022.11.1>
2. Афонькина Ю.А., Жигунова Г.В. Специфика нетипичного детства в ходе инклюзивных процессов на арктических территориях европейской части России. СПб.: Скифия-принт 2022. 98 с.
3. Васильева И.В. Ребенок-инвалид в семье: динамика отношений и зоны напряжений // Историческая и социально-образовательная мысль. 2019. № 11 (3). С 83-94. <https://doi.org/10.17748/2075-9908-2019-11-3-83-95>
4. Вдовина М.В., Семочкина Н.Н. Социальное здоровье семьи с ребенком-инвалидом в период раннего детства и в школьные годы // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2021. № 29 (2). С. 287-292.
5. Деточенко Л.С. Вовлеченность детей-инвалидов в социальные связи и сообщества: фасилитаторы, стратегии и факторы успеха // Вестник Нижегородского университета им Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2021. № 4 (64). С. 70-78.
6. Деточенко, Л.С. Специфика социализации инвалидов: опыт нарративной реконструкции // Журнал социологии и социальной антропологии. 2020. № 23 (2). С. 87-113.
7. Зайцев Д.В., Зайцева О.В., Ярская-Смирнова В.Н. Инклюзивные тренды городского развития: темпорально-пространственные социальные практики // Вестник РУДН. Серия: Социология. 2021. № 21 (1). С. 181-191.
8. Иванова В.С., Гребенникова Е.В., Шелехов И.Л. Личностные особенности матерей и родительско-детские отношения в семьях, воспитывающих детей-инвалидов с детским церебральным параличом // Научно-педагогическое обозрение. 2017. № 2 (16). <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2017-2-48-53>
9. Коржук С.В. Социальная эксклюзия людей с инвалидностью: успешные стратегии преодоления // Мир экономики и управления. 2016. № 16 (2). С. 152-153.
10. Малярчук Н.Н., Криницына Г.М., Пащенко Е.В., Отева Н.И. Проблемы и ресурсы семей, воспитывающих детей с тяжелыми множественными нарушениями в развитии // Вестник Мининского университета. 2019. № 7(2). С. 1-8. <https://doi.org/10.26795/2307-1281 -2019-7-2-8>
11. Перепада С.М., Перепада О.А., Минина А.А. Средовые и отношенческие барьеры в свете государственной программы «Доступная среда», а также о

- дискриминации по признаку инвалидности // Право и государство: теория и практика. 2021. № 4 (196). С. 108-110.
12. Рочева Я.С., Радуту В.И. Чернякина Т.С. Оценка фактов неправомерного обращения с инвалидами при получении услуг // Телескоп: журнал социологических и маркетинговых исследований. 2022. № 4 (8). С. 89-92.
 13. Старобина Е.М., Кожушко Л.А., Ишутина И.С., Чернякова Т.С. Возможности ведения инвалидами самостоятельного образа жизни в Российской Федерации // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье. 2022. № 12 (6). С. 183-189.
 14. Стуров П.С. Доброжелательное отношение к инвалидам как тенденция развития социокультурной среды современного российского общества. Государственное и муниципальное управление // Ученые записки. 2018. № 3. С. 223-228.
 15. Федорова В.К. Социальная эксклюзия семей, имеющих детей с инвалидностью: на примере Республики Саха (Якутия) // Обществознание и социальная психология. 2022. № 6 (36). С. 242-250.
 16. Шаповал И.А. Ментальные проблемы становления отечественной инклюзивной среды // Проблемы современного педагогического образования. 2018. Вып. 61. Ч. 1. С. 438-442.
 17. Шаповал И.А. Социальная инклюзия лиц с ограниченными возможностями здоровья де-юре и де-факто: «включаемые», «включающиеся», «невключающиеся» // Вестник Балтийского федерального университета им. Э. Канта. Сер.: Филология, педагогика, психология. 2019. № 1. С. 84-99.
 18. Ярская-Смирнова Е.Р. Противоречие городского социального времени: дискурсы инклюзии и деинститутизации (постановка проблемы) // Известия Саратовского университета. Социология. Политология. 2018. № 18 (5). С. 242-249.
 19. Boland G., Paor E., Guerin S. Living in Localities: The Factors That Influence the Social Inclusion in Neighborhoods of Adults With Intellectual Disability // A Systematic Scoping Review, Inclusion, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 55-77. <https://doi.org/10.1352/2326-6988-11.1.55>
 20. Hewitt O., Langdon P.E., Tapp K., Larkin M. A systematic review and narrative synthesis of inclusive health and social care research with people with intellectual disabilities: How are co-researchers involved and what are their experiences? // Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities, 2023, vol. 36, no. 4, pp. 681-701. <https://doi.org/10.1111/jar.13100>
 21. Kaley A., Donnelly J.P., Donnelly L., Humphrey S., Reilly S., Macpherson H., Hall E., Power A. Researching belonging with people with learning disabilities:

- Self-building active community lives in the context of personalization // British Journal of Learning Disabilities, 2021, vol. 50, no. 3, pp. 307-320. <https://doi.org/10.1111/bld.12394>
22. Kelly J., Wagstaff S. The Two of Us project: An exploration of the relationships of people with intellectual disability in different social contexts // British Journal of Learning Disabilities, 2022, vol. 50, no. 4, pp. 564-574. <https://doi.org/10.1111/bld.12486>
23. Mooney F., Rafique N., Tilly L. Getting involved in the community-What stops us? Findings from an inclusive research project // British Journal of Learning Disabilities. Jul 2019. <https://doi.org/10.1111/bld.12283>
24. Tilley E., Strnadová I. Sue Ledger, Jan Walmsley, Julie Loblinzk, Paul Anthony Christian, Zara Jane Arnold, 'Working together is like a partnership of entangled knowledge': exploring the sensitivities of doing participatory data analysis with people with learning disabilities // International Journal of Social Research Methodology, 2021, vol. 24, no. 5, pp. 567-579. <https://doi.org/10.1080/13645579.2020.1857970>

References

1. Afon'kina Yu.A., Zhigunova G.V. *Spetsifika netipichnogo detstva v khode inkluzivnykh protsessov na arkticheskikh territoriyakh evropeyskoy chasti Rossii* [Specifics of atypical childhood during inclusive processes in the Arctic territories of the European part of Russia]. SPb.: Skifiya-print, 2022, 98 p.
2. Afon'kina Yu.A., Zhigunova G.V. Sotsial'nye emotsii predstaviteley regional'nykh soobshchestv Evro-Arkticheskikh territoriy Rossii v otnoshenii detey s invalidnost'yu [Social emotions of representatives of regional communities of the Euro-Arctic territories of Russia regarding children with disabilities. Society: sociology, psychology, pedagogy]. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika* [Society: sociology, psychology, pedagogy], 2022, vol. 11, pp. 16-23. <https://doi.org/10.24158/spp.2022.11.1>
3. Vasil'eva I.V. Rebenok-invalid v sem'e: dinamika otnosheniy i zony napryazheniy [A disabled child in a family: relationship dynamics and tension zones]. *Istoricheskaya i sotsial'no-obrazovatel'naya mysl'* [Historical and socio-educational thought], 2019, vol. 11 no. 3, pp. 83-94. <https://doi.org/10.17748/2075-9908-2019-11-3-83-95>
4. Vdovina M.V., Semochkina N.N. Sotsial'noe zdorov'e sem'i s rebenkom-invalidom v period rannego detstva i v shkol'nye gody [Social health of a family with a disabled child during early childhood and school years]. *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny* [Problems of social hygiene, health care and history of medicine], 2021, vol. 29, no. 2, pp. 287-292.

5. Detochenko L.S. Vovlechenost' detey-invalidov v sotsial'nye svyazi i soobshchestva: fasilitatory, strategii i faktory uspekha [Involving children with disabilities in social networks and communities: facilitators, strategies and success factors]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im N.I. Lobachevskogo. Seriya: Sotsial'nye nauki* [Bulletin of Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. Series: Social Sciences], 2021, vol. 4, no. 64, pp. 70-78.
6. Detochenko, L.S. Spetsifika sotsializatsii invalidov: opyt narrativnoy rekonstruktsii [Specifics of socialization of disabled people: experience of narrative reconstruction]. *Zhurnal sotsiologii i sotsial'noy antropologii* [Journal of Sociology and Social Anthropology], 2020, vol. 23, no. 2, pp. 87-113.
7. Zaytsev D.V., Zaytseva O.V., Yarskaya-Smirnova V.N. Inklyuzivnye trendy gorodskogo razvitiya: temporal'no-prostranstvennye sotsial'nye praktiki [Inclusive trends in urban development: temporal-spatial social practices]. *Vestnik RUDN. Seriya: Sotsiologiya* [RUDN Journal of Sociology], 2021, vol. 21, no. 1, pp. 181-191.
8. Ivanova V.S., Grebennikova E.V., Shelekhov I.L. Lichnostnye osobennosti materey i roditel'sko-detskie otnosheniya v sem'yakh, vospityvayushchikh detey-invalidov s detskim tserebral'nym paralichom [Personal characteristics of mothers and parent-child relationships in families raising disabled children with cerebral palsy]. *Nauchno-pedagogicheskoe obozrenie* [Scientific and pedagogical review], 2017, vol. 2, no. 16. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2017-2-48-53>
9. Korzhuk S.V. Sotsial'naya eksklyuziya lyudey s invalidnost'yu: uspeшные strategii preodoleniya [Social exclusion of people with disabilities: successful coping strategies]. *Mir ekonomiki i upravleniya* [World of Economics and Management], 2016, vol. 16, no. 2, pp. 152-153.
10. Malyarchuk N.N., Krinitsyna G.M., Pashchenko E.V., Oteva N.I. Problemy i resursy semey, vospityvayushchikh detey s tyazhelyimi mnozhestvennymi narusheniyami v razvitii [Problems and resources of families raising children with severe multiple developmental disorders]. *Vestnik Mininskogo universiteta* [Bulletin of Minin University], 2019, vol. 7, no. 2, pp. 1-8. <https://doi.org/10.26795/2307-1281-2019-7-2-8>
11. Perepadya S.M., Perepadya O.A., Minina A.A. Sredovye i otnoshencheskie bar'ery v svete gosudarstvennoy programmy «Dostupnaya sreda», a takzhe o diskriminatsii po priznaku invalidnosti [Environmental and attitudinal barriers in the light of the state program "Accessible Environment", as well as discrimination based on disability]. *Pravo i gosudarstvo: teoriya i praktika* [Law and state: theory and practice], 2021, vol. 4, no. 196, pp. 108-110.

12. Rocheva Ya.S., Raduto V.I. Chernyakina T.S. Otsenka faktov nepravomernogo obrashcheniya s invalidami pri poluchenii uslug [Assessing facts of ill-treatment of people with disabilities when receiving services]. *Teleskop: zhurnal sotsiologicheskikh i marketingovykh issledovaniy* [Telescope: Journal of Sociological and Marketing Research], 2022, vol. 4, no. 8, pp. 89-92.
13. Starobina E.M., Kozhushko L.A., Ishutina I.S., Chernyakova T.S. Vozmozhnosti vedeniya invalidami samostoyatel'nogo obraza zhizni v Rossiyskoy Federatsii [Opportunities for disabled people to lead an independent lifestyle in the Russian Federation]. *Vestnik meditsinskogo instituta «REAVIZ». Reabilitatsiya, Vrach i Zdorov'e* [Bulletin of the medical institute "REAVIZ". Rehabilitation, Doctor and Health], 2022, vol. 12, no. 6, pp. 183-189.
14. Sturov P.S. Dobrozhelatel'noe otnoshenie k invalidam kak tendentsiya razvitiya sotsiokul'turnoy sredy sovremennogo rossiyskogo obshchestva [Friendly attitude towards people with disabilities as a trend in the development of the socio-cultural environment of modern Russian society]. *Gosudarstvennoe i munitsipal'noe upravlenie. Uchenye zapiski* [Scientific notes], 2018, vol. 3, pp. 223-228.
15. Fedorova V.K. Sotsial'naya eksklyuziya semey, imeyushchikh detey s invalidnost'yu: na primere Respubliki Sakha (Yakutiya) [social exclusion of families with children with disabilities: the example of the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Obshchestvoznanie i sotsial'naya psikhologiya* [Social science and social psychology], 2022, no. 6(36), pp. 242-250.
16. Shapoval I.A. Mental'nye problemy stanovleniya otechestvennoy inklyuzivnoy sredy [Mental problems of developing a domestic inclusive environment. Problems of modern teacher education]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya* [Problems of modern teacher education], 2018, vol. 61, no. 1, pp. 438-442.
17. Shapoval I.A. Sotsial'naya inklyuziya lits s ogranichenным vozmozhnostyami zdorov'ya de-yuro i de-fakto: «vklyuchaemye», «vklyuchayushchiesya», «nevklyuchayushchiesya» [Social inclusion of persons with disabilities de jure and de facto: "included", "included", "non-included"]. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. E. Kanta. Ser.: Filologiya, pedagogika, psikhologiya* [Bulletin of the Baltic Federal University. E. Kant. Ser.: Philology, pedagogy, psychology], 2019, vol. 1, pp. 84-99.
18. Yarskaya-Smirnova E.R. Protivorechie gorodskogo sotsial'nogo vremeni: diskursy inklyuzii i deinstitulizatsii (postanovka problemy) [The contradiction of urban social time: discourses of inclusion and deinstitutionalization (problem statement)]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Sotsiologiya. Politologiya* [News of Saratov University. Sociology. Political science], 2018, vol. 18, no. 5, pp. 242-249.

19. Boland G., Paor E., Guerin S. Living in Localities: The Factors That Influence the Social Inclusion in Neighborhoods of Adults With Intellectual Disability. *A Systematic Scoping Review, Inclusion*, 2023, vol. 11, no. 1, pp. 55-77. <https://doi.org/10.1352/2326-6988-11.1.55>
20. Hewitt O., Langdon P.E., Tapp K., Larkin M. A systematic review and narrative synthesis of inclusive health and social care research with people with intellectual disabilities: How are co-researchers involved and what are their experiences? *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities*, 2023, vol. 36, no. 4, pp. 681-701. <https://doi.org/10.1111/jar.13100>
21. Kaley A., Donnelly J.P., Donnelly L., Humphrey S., Reilly S., Macpherson H., Hall E., Power A. Researching belonging with people with learning disabilities: Self-building active community lives in the context of personalization. *British Journal of Learning Disabilities*, 2021, vol. 50, no. 3, pp. 307-320. <https://doi.org/10.1111/bld.12394>
22. Kelly J., Wagstaff S. The Two of Us project: An exploration of the relationships of people with intellectual disability in different social contexts. *British Journal of Learning Disabilities*, 2022, vol. 50, no. 4, pp. 564-574. <https://doi.org/10.1111/bld.12486>
23. Mooney F., Rafique N., Tilly L. Getting involved in the community-What stops us? Findings from an inclusive research project. *British Journal of Learning Disabilities*. Jul 2019. <https://doi.org/10.1111/bld.12283>
24. Tilley E., Strnadová I. Sue Ledger, Jan Walmsley, Julie Loblinzk, Paul Anthony Christian, Zara Jane Arnold, 'Working together is like a partnership of entangled knowledge': exploring the sensitivities of doing participatory data analysis with people with learning disabilities. *International Journal of Social Research Methodology*, 2021, vol. 24, no. 5, pp. 567-579. <https://doi.org/10.1080/13645579.2020.1857970>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Афонькина Юлия Александровна, кандидат психологических наук, доцент, заведующий кафедрой психологии и коррекционной педагогики

ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»

ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Российская Федерация

julia3141@rambler.ru

Жигунова Галина Владимировна, доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой философии и социальных наук
ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет»

*ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, 183010, Российская Федерация
galina-zhigunova@yandex.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yulia A. Afonkina, Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Psychology and Correctional Pedagogy
Murmansk Arctic University

13, Sportivnaya Str., Murmansk, 183010, Russian Federation

julia3141@rambler.ru

SPIN-code: 3952-2694

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4147-0634>

ResearcherID: G-8843-2015

Scopus Author ID: 57190568228

Galina V. Zhigunova, Doctor of Sociological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Philosophy and Social Sciences
Murmansk Arctic University

13, Sportivnaya Str., Murmansk, 183010, Russian Federation

galina-zhigunova@yandex.ru

SPIN-code: 4554-0448

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7981-9278>

ResearcherID: D-6997-2014

Scopus Author ID: 57217131539

Поступила 31.10.2023

После рецензирования 04.12.2023

Принята 10.12.2023

Received 31.10.2023

Revised 04.12.2023

Accepted 10.12.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1174

УДК 159.99



Научная статья

УДОВЛЕТВОРЕННОСТЬ ТРУДОМ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ С РАЗНЫМ СТИЛЕМ ПОВЕДЕНИЯ В КОНФЛИКТЕ

П.А. Кисляков, Д.А. Тищенко, Е.А. Шмелева, В.П. Карташев

Обоснование. От удовлетворенности трудом медицинских работников зависит успешность функционирования медицинской организации, а также качество оказания медицинских услуг пациентам. Это связано с тем, что удовлетворенность трудом является одним из ключевых факторов, влияющих на мотивацию, психологический климат в коллективе, эффективность труда, лояльность сотрудников. Наличие конфликтов в медицинских коллективах может способствовать снижению удовлетворенности трудом. С одной стороны, конфликты могут способствовать развитию коммуникации между сотрудниками, с другой – к ухудшению отношений.

Цель – изучить влияние взаимоотношений в коллективе на удовлетворенность трудом медицинских работников.

Методы. В исследовании приняло участие 86 медицинских работников, среди которых были врачи, средний и младший медицинский персонал. Для изучения удовлетворенности трудом и связанными с ней показателями использовали методики «Отношение сотрудников медицинской организации к безопасности пациентов» (SAQ) (Дж. Секстон с соавт., русскоязычная версия К.Н. Царанова с соавт.) и «Методика изучения интегральной удовлетворенности трудом» (Н.П. Фетискин, В.В. Козлов, Г.М. Мануйлов). Для изучения предрасположенности личности к конфликтному поведению использовалась методика «Тип поведения в конфликте» (Тест Томаса-Килманна). Статистическое исследование проводилось посредством критерия Манна-Уитни, корреляционного анализа Спирмена и регрессионного анализа.

Результаты. Большинство медицинских работников удовлетворены своей работой, они предпочитают выбирать такие стили поведения в конфликте, как сотрудничество и избегание. Для медицинских работников, выбирающих неконструктивные способы разрешения конфликта, важным фактором удовлетворенности работой являются хорошие рабочие условия. Для медицинских

работников, выбирающих конструктивные способы разрешения конфликта, важным условием удовлетворенности работой являются хорошие отношения с руководством на уровне отделения.

Заключение. Повышение удовлетворенности трудом медицинских сотрудников является важным аспектом для обеспечения качественного и эффективного оказания медицинской помощи пациентам, а также снижения производственных конфликтов. Необходимо обеспечить сотрудникам рабочие условия, соответствующие их профессиональным потребностям, предоставить возможности для профессионального роста и обучения, а также поддержку и понимание со стороны руководства и коллектива.

Ключевые слова: удовлетворенность трудом; конфликты в коллективе; медицинские работники; психологическая безопасность

Для цитирования. Кисляков П.А., Тищенко Д.А., Шмелева Е.А., Карташев В.П. Удовлетворенность трудом медицинских работников с разным стилем поведения в конфликте // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №3. С. 541-559. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1174

Original article

SATISFACTION WITH THE WORK OF MEDICAL STAFF WITH DIFFERENT STYLES OF BEHAVIOR IN CONFLICT

P.A. Kislyakov, D.A. Tishchenko, E.A. Shmeleva, V.P. Kartashev

Background. The success of a medical organization, as well as the quality of medical services to patients, depends on the satisfaction of medical workers. This is due to the fact that job satisfaction is one of the key factors influencing motivation, the psychological climate in the team, labor efficiency, and employee loyalty. The presence of rumination in healthcare teams may lead to decreased job satisfaction. On the one hand, conflicts can contribute to the development of communication between employees, on the other hand, they can worsen relationships.

The purpose is to study the influence of teamwork on the job satisfaction of healthcare workers.

Methods. 86 medical workers took part in the training, including doctors, nursing and junior medical staff. To study job satisfaction and violations with its indicators, the methods "Attitude of employees of a medical organization to patient safety" (SAQ) (J. Sexton et al., Russian version by K.N. Tsaranov et

al.) and “Methodology for studying the integrity of labor” (N.P. Fetiskin, V.V. Kozlov, G.M. To study a person’s predisposition to conflict behavior, the “Type of Behavior in Conflict” technique (Thomas-Kilmann Test) was used. Statistical study was carried out using Mann-Whitney tests, Spearman correlation analysis and regression analysis.

Results. The majority of representatives of the world market are satisfied with their activities; they prefer such styles of behavior in conflict as cooperation and flight. For health workers, choosing unconstructive solutions to resolve conflict are prerequisites for ensuring job satisfaction in good working conditions. For medical developers choosing constructive solutions, conflict resolution requires that job satisfaction conditions be achieved, which are negotiated with department-level management.

Conclusion. Increasing the job satisfaction of healthcare workers is an important aspect for ensuring high-quality and efficient healthcare delivery to patients, as well as reducing work-related consequences. It is necessary to provide employees with working conditions that meet their requirements, provide opportunities for professional growth and training, as well as support and understanding from management and the team.

Keywords: job satisfaction; conflicts in the team; medical workers; psychological safety

For citation. Kislyakov P.A., Tishchenko D.A., Shmeleva E.A., Kartashev V.P. Satisfaction with the Work of Medical Staff with Different Styles of Behavior in Conflict. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 3, pp. 541-559. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1174

Введение

Проблема обеспечения психологического благополучия человека является одной из приоритетных как для проведения фундаментальных исследований, так и для практической деятельности психологов, медиков, педагогов и других специалистов социномического типа. При этом важно чтобы сами специалисты обладали личностными ресурсами, обеспечивающими их психологическую безопасность и их подопечных (пациентов, клиентов, учеников). Нами проведена серия исследований, посвященных исследованию психологической безопасности медицинских работников и факторов ее обеспечивающих: жизнестойкость [8, 16], копинг-стратегии [8], групповая сплоченность [9], субъективное благополучие [16]. Данная статья является продолжением исследований и посвящена проблеме удовлетворенности трудом медицинских работников.

Проблема удовлетворенности трудовой деятельностью сотрудников всегда привлекала большое внимание теоретиков и практиков, занимающихся исследованиями в области организационной психологии и психологии труда. По мнению В.А. Ядова и А.А. Киссель удовлетворенность трудом представляет собой уровень адаптации работника в конкретной организации, который свидетельствует о том, что требования и возможности, предоставляемые организацией, отвечают его потребностям, соответствуют ценностям и интересам [Цит. по 10]. Сотрудники, которые удовлетворены трудом, работают более продуктивно, качественно выполняют свои обязанности, влияют на развитие организации.

Профессия медицинского работника предъявляет к специалисту высокие требования, обусловленные эмоциональными перегрузками, регулярными стрессовыми ситуациями, нехваткой времени, необходимостью принятия решений в условиях ограниченного доступа к информации, а также высокой частотой и напряженностью межличностного общения [3, 6, 12, 14].

За последние годы, согласно исследованиям, уровень тревоги у медицинских работников колебался от 22 до 33 %, а уровень депрессии – от 18 до 36 %. Более 50 % медработников испытывали симптомы эмоционального истощения и профессионального выгорания [1, 17, 22].

Командная работа медицинских специалистов является ключевым фактором в обеспечении качественной и эффективной помощи пациентам. От слаженных действий команды медиков зависит не только здоровье пациента, но и его жизнь. В медицинской практике командная работа играет особенно важную роль, так как врачи и медсестры работают в условиях высокой ответственности и недостатка времени. В таких условиях от каждого члена команды требуется быстро и точно выполнять свои обязанности, а также уметь работать в команде и взаимодействовать с коллегами [4, 6].

Эффективность командной работы медицинских специалистов подтверждается научными исследованиями. Например, в исследовании, проведенном в США, было установлено, что команды медицинских специалистов, которые эффективно взаимодействовали друг с другом, демонстрировали более высокий уровень удовлетворенности работой и меньшее количество ошибок, чем команды с менее развитыми навыками командной работы [20].

В медицинском коллективе моральный аспект играет важную роль в отношениях между сотрудниками. Это проявляется в единстве ценностей, сплоченности, взаимной требовательности, чуткости и взаимопомощи. Эти качества необходимы для обеспечения качественной медицинской помощи пациентам.

Межличностные конфликты в медицинском коллективе обусловлены индивидуально-психологическими особенностями личности членов коллектива и характером межличностных отношений в коллективе. Чем меньше властных, доминантных личностей, тем более конструктивные стратегии выбирают работники при возникновении конфликтов и тем лучше психологическая атмосфера в трудовом коллективе [6].

В медицинском коллективе конфликты могут возникать по разным причинам. Некоторые из них связаны с социальными, бытовыми и психологическими факторами, такими как недовольство зарплатой, неравномерная нагрузка на персонал, жалобы пациентов и т.д. Другие причины могут быть связаны с низким уровнем умений и навыков персонала, отсутствием желания учиться и расширять свой кругозор. Также конфликты могут возникать из-за особенностей поведения медицинского персонала, таких как неумение владеть собой в сложных ситуациях, несоблюдение субординации, нарушение правил и негативное отношение к коллегам [6, 7].

Среди причин конфликтов следует упомянуть борьбу за самореализацию в профессиональной деятельности. Такие конфликты, по данным А.Я. Анцупова и Д.П. Моисеева, составляют примерно половину всех конфликтов в организациях. Близкими к ним являются конфликты, связанные с инновациями (конфликт «новатор-консерватор»), а также психологическими барьерами в инновационной деятельности [2]. Конфликты в медицинском коллективе могут возникать из-за социальных ролей сотрудников и их различных точек зрения. Важно учитывать эти факторы и работать над улучшением взаимоотношений в коллективе.

Целью данного исследования была оценка удовлетворенности трудовой деятельностью медицинских работников, а также выявление различий в удовлетворенности у работников с разным стилем поведения в конфликте.

Материалы и методы исследования

Участники исследования. Исследование проводилось в 2024 году среди медицинских работников клинического медицинского центра Московского государственного медико-стоматологического университета имени А.И. Евдокимова. В исследовании приняли участие 86 сотрудников (мужчины – 25%, женщины – 75%).

В ходе проведенного исследования респонденты были разделены на три группы по принципу профессионализации личности: адаптация человека к профессиональному труду – трудовой стаж работы до 5 лет (58% испытуемых); идентификация личности с профессией – стаж работы до 10

лет (10% испытуемых); выбор субъектом способа существования в профессии – стаж работы более 10 лет (32% испытуемых).

В исследовании были использованы следующие методики:

1. Отношение к безопасности (Отношение сотрудников медицинской организации к безопасности пациентов) (Safety Attitudes Questionnaire – SAQ) (Дж. Секстон с соавт., русскоязычная версия К.Н. Царанова с соавт.) [15].

Опросник включает в себя 41 вопрос по шести блокам: атмосфера командной работы, атмосфера безопасности, удовлетворенность работой, распознавание (понимание) стресса, восприятие менеджмента/руководства (на двух уровнях – отделения и больницы в целом), рабочие условия.

2. Методика изучения интегральной удовлетворенности трудом (Н.П. Фетискин, В.В. Козлов, Г.М. Мануйлов) [13]. Опросник содержит 9 шкал: интерес к работе; удовлетворенность достижениями в работе; удовлетворенность взаимоотношениями с сотрудниками; удовлетворенность взаимоотношениями с руководством; уровень притязаний в профессиональной деятельности; предпочтение выполняемой работы высокому заработку; удовлетворенность условиями труда; профессиональная ответственность; общая удовлетворенность трудом.

3. Тест Томаса-Килманна: Тип поведения в конфликте. Методика предназначена для изучения личностной предрасположенности к конфликтному поведению, выявления определенных стилей разрешения конфликтной ситуации. К. Томас выделяет пять способов регулирования конфликтов: соперничество, приспособление, компромисс, избегание, сотрудничество.

Анализ данных. Была проведена статистическая обработка в программах MS Office Excel и IBM SPSS Statistics. Проведено статистическое исследование посредством критерия Манна-Уитни, корреляционного анализа Спирмена и регрессионного анализа (метод шагового отбора).

Результаты исследования и их обсуждение.

Результаты психодиагностики представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Описательные статистики по методикам (n=59)

Переменные	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение
Отношение к безопасности (SAQ)				
Атмосфера командной работы	10	30	23,61	4,63
Атмосфера безопасности	13	35	27,22	6,30

Удовлетворенность работой	5	25	18,93	5,54
Распознавание (понимание) стресса	7	23	12,94	4,35
Восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения	6	25	20,22	4,93
Восприятие менеджмента/руководства на уровне клиники	5	25	17,94	5,64
Рабочие условия	4	20	14,18	4,03
Интегральная удовлетворенность трудом				
Интерес к работе	2	5	3,86	0,75
Удовлетворенность достижениями в работе	0	4	3,42	0,87
Удовлетворенность взаимоотношениями с коллегами	2	5	4,42	0,89
Удовлетворенность взаимоотношениями с руководством	0	4	3,11	1,05
Уровень притязаний в профессиональной деятельности	0	4	1,77	1,17
Предпочтение выполняемой работы высокому заработку	0	4	1,93	0,92
Удовлетворенность условиями труда	0	3	2,27	1,01
Профессиональная ответственность	0	1	0,69	0,46
Общая удовлетворенность трудом	7	22	17,47	2,82

Анализируя полученные данные, можно сказать, что по всем шкалам методики «Отношение к безопасности» наблюдаются положительные результаты. Самое большое количество респондентов с высоким уровнем наблюдается по шкалам «Удовлетворенность работой» и «Восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения». По методике удовлетворенность трудом, установлено, что самые большие баллы были набраны по шкалам «Удовлетворенность взаимоотношениями с коллегами» и «Удовлетворенность достижениями в работе». У значительного количества людей наблюдается низкий уровень притязаний в профессиональной деятельности.

С помощью методики «Тип поведения в конфликте» определялся доминирующий тип поведения в конфликте (рис. 1).



Рис. 1. Распределение испытуемых по типу поведения в конфликте

Стили поведения в конфликте, представленные Томасом и Килманном, нами были разделены на две группы – конструктивные и неконструктивные. К конструктивным относятся: компромисс, сотрудничество, приспособление. К неконструктивным – избегание и соперничество. Таким образом выборка была разделена на 2 группы: медицинские работники, использующие конструктивные стили поведения в конфликте (61%) и неконструктивные стили поведения в конфликте (39%).

С целью получения более подробных сведений, которые могли быть учтены при разработке рекомендаций, нами было принято решение дополнительно провести статистический и корреляционный анализ данных.

Проведенный корреляционный анализ Спирмена позволил установить следующие взаимосвязи между исследуемыми переменными:

- положительная корреляция между шкалой «удовлетворенность работой» и шкалой «атмосфера командной работы» ($r = 0,705$, $p = 0,01$): чем выше удовлетворенность работой, тем лучше и благоприятнее атмосфера в команде;
- положительная корреляция между шкалой «восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения» и шкалой «удовлетворённость работой» ($r = 0,792$, $p = 0,01$): у медицинских сотрудников, имеющих хорошие отношения с руководством выше удовлетворенность работой;
- положительная корреляция между шкалой «восприятие менеджмента/руководства на уровне клиники» и шкалами «атмосфера командной работы» ($r = 0,562$, $p = 0,01$), «атмосфера безопасно-

сти» ($r = 0,554$, $p = 0,01$), «удовлетворенность работой» ($r = 0,534$, $p = 0,01$) и «восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения» ($r = 0,687$, $p = 0,01$): хорошие, неконфликтные отношения с руководством на уровне клиники способствуют безопасной атмосфере в рабочем коллективе, а также командной работе, которая очень важна в работе медицинских сотрудников;

- положительная корреляция между шкалой «общая удовлетворенность трудом» и шкалами «атмосфера командной работы» ($r = 0,365$, $p = 0,01$), «удовлетворенность взаимоотношениями с коллегами» ($r = 0,551$, $p = 0,01$), «удовлетворенность взаимоотношениями с руководством» ($r = 0,544$, $p = 0,01$).

Проведенный регрессионный анализ (метод шагового отбора) показал, следующее:

- предиктором удовлетворенности трудом для медицинских работников со стажем 0-5 лет выступает восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения ($\beta = 0,673$; $p < 0,001$), ($F = 26,511$; $p < 0,0001$; $R^2 = 0,453$);
- предиктором удовлетворенности трудом для медицинских работников со стажем 6-11 лет выступает атмосфера командной работы ($\beta = 0,843$; $p = 0,035$), ($F = 9,726$; $p = 0,035$; $R^2 = 0,710$);
- для медицинских сотрудников со стажем более 11 лет предикторов не выявлено, то есть, чем больше стаж, тем меньше конкретных факторов влияет на удовлетворенность трудом;
- предиктором удовлетворенности трудом для медицинских работников, предпочитающих неконструктивные стили поведения в конфликте, выступают рабочие условия ($\beta = 0,664$; $p = 0,001$), ($F = 16,582$; $p = 0,001$; $R^2 = 0,441$);
- предиктором удовлетворенности трудом для медицинских работников, предпочитающих конструктивные стили поведения в конфликте, выступает восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения ($\beta = 0,501$; $p = 0,002$), ($F = 11,387$; $p = 0,002$; $R^2 = 0,251$).

Для определения различий в выраженности исследуемых переменных у медицинских работников с разными стилями поведения в конфликте был произведен расчет критерия U-Манна-Уитни. Данные представлены в таблице 2.

Таким образом, у сотрудников, которые используют конструктивные стили поведения в конфликте, позитивное восприятие атмосферы командной работы выше, чем у тех, кто использует неконструктивные стили.

Таблица 2.

**Сравнение показателей удовлетворенности трудом у сотрудников
с конструктивными и неконструктивными стилями поведения в конфликте**

Шкалы	Мконст	Мне- конст	U Ман- на-Уитни	p – уровень значимости
Атмосфера командной работы	24,52	22,17	271,5	0,02
Атмосфера безопасности	27,36	27	399,5	0,821
Удовлетворенность работой	19,08	18,65	389,5	0,702
Распознавание (понимание) стресса	12,25	14,04	304,5	0,087
Восприятие менеджмента/руководства на уровне отделения	20,86	19,21	300,5	0,074
Восприятие менеджмента/руководства на уровне клиники	18,	17,39	363,5	0,431
Рабочие условия	14,69	13,39	330	0,19
Интерес к работе	3,8	3,82	410	0,946
Удовлетворенность достижениями в работе	3,41	3,43	389,5	0,661
Удовлетворенность взаимоотношениями с коллегами	4,44	4,39	390	0,661
Удовлетворенность взаимоотношениями с руководством	3,05	3,21	371	0,473
Уровень притязаний в профессиональной деятельности	1,66	1,95	340,5	0,237
Предпочтение выполняемой работы высокому заработку	2,04	1,78	354,5	0,33
Удовлетворенность условиями труда	2,	2,21	381	0,562
Профессиональная ответственность	0,75	0,67	355,5	0,254
Общая удовлетворенность трудом	17,38	17,52	385	0,649

Заключение

Конструктивный стиль поведения в конфликте предполагает стремление к достижению целей через сотрудничество, поиск компромиссов и взаимовыгодных решений. Такой подход позволяет сохранять отношения между участниками конфликта, учитывать интересы всех сторон и находить оптимальные решения для всех. Неконструктивные стили поведения в конфликте, такие как соперничество или избегание, могут привести к ухудшению отношений между людьми, потере доверия и эффективности работы. Например, если медицинский сотрудник выбирает стиль соперничества, он может настаивать на своем мнении без учета мнения других участников процесса лечения пациента. Это может привести к ошибкам в диагностике и лечении.

Таким образом, выбор конструктивного стиля поведения в конфликте помогает медицинским работникам достигать лучших результатов в своей работе благодаря эффективному сотрудничеству и уважительному отношению к мнению других людей.

Проведенное исследование позволило выявить следующее: преобладающая часть опрошенных медицинских работников удовлетворены своей работой, они предпочитают выбирать такие стили поведения в конфликте, как сотрудничество и избегание; в целом, сотрудники предпочитают использовать конструктивные стили поведения. Для медицинских работников, выбирающих неконструктивные способы разрешения конфликта, важным фактором удовлетворенности работой являются хорошие рабочие условия. Для медицинских работников, выбирающих конструктивные способы разрешения конфликта, важным условием удовлетворенности работой являются хорошие отношения с руководством на уровне отделения.

Медицинские сотрудники, выбирающие конструктивные стили поведения в конфликте, высоко ценят отношения с коллегами. Они больше нацелены на командную работу, создание положительной атмосферы в коллективе, стремятся сохранять доброжелательные отношения с коллегами, руководством. Медицинские сотрудники, выбирающие неконструктивные стили поведения в конфликте, больше ценят условия труда, заработную плату и содержание работы.

Повышение удовлетворенности трудом медицинских сотрудников является крайне важным аспектом для обеспечения качественного и эффективного оказания медицинской помощи пациентам. Для этого необходимо обеспечить сотрудникам рабочие условия, соответствующие их профессиональным потребностям, предоставить возможности для профессионального роста и обучения, а также поддержку и понимание со стороны руководства. Важно также уделять внимание мерам по предотвращению и снижению стресса на рабочем месте, организации разнообразных мероприятий по командообразованию и созданию позитивной атмосферы в коллективе [5, 11].

Важно научить медицинских работников эффективно разрешать конфликты в трудовом коллективе. Это требует умения слушать и понимать точку зрения коллег, стремиться к взаимопониманию и сотрудничеству, обсуждать проблемы нейтрально и спокойно, а также быть готовым к компромиссам [18, 19, 21]. Разрешение конфликтов в медицинском коллективе помогает укрепить взаимоотношения между коллегами, повысить эффективность работы, снизить уровень стресса и улучшить результаты

лечения пациентов. Важно обучать медицинский персонал техникам снижения эмоционального выгорания, управления отрицательными эмоциями и активного социального преодоления стрессовых ситуаций.

К ограничениям результатов следует отнести то, что исследование проводилось на неслучайной выборке, в одной организации с использованием только самоотчетов.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board), а также Этическим кодексом психолога Российского психологического общества.

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00678, <https://rscf.ru/project/22-18-00678/>, ИвГУ.

Список литературы

1. Аксенова Е.И. Камынина Н.Н., Турзин П.С. Профессиональный стресс медицинских работников: обзор зарубежных практик. М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ», 2023. 48 с.
2. Анцупов А.Я., Шипилов А.И. Конфликтология: Учебник для вузов. 8-е изд. СПб.: Питер, 2023. 528 с.
3. Варыханова К.В., Анисимова Т.А. Психологическая совместимость субъектов труда, работающих в паре, как фактор удовлетворенности трудом работниками скорой медицинской помощи // Молодежный вестник ИрГТУ. 2015. № 3. С. 11.
4. Выгнов И. О. Особенности организации эффективной командной работы // Наука и практика в образовании: электронный научный журнал. 2021. № 3(5). С. 10-14.
5. Давыдова Н.С., Титов И.Г., Сычева Е.В. Методические рекомендации по мотивации персонала медицинской организации в рамках системы менеджмента бережливого производства. Ижевск: Изд-во Института экономики и управления ФГБОУ ВО «УдГУ», 2019. 40 с.

6. Ермашук А.В. Социально-психологические причины межличностных конфликтов в медицинских учреждениях // Психологическая студия: сб. науч. статей. Вып. 11. Витебск: ВГУ им. П. М. Машерова, 2018. С. 62-65.
7. Карасев Е.А., Нечаев В.С., Саурина О.С. К вопросу о регулировании производственных конфликтов в медицинском трудовом коллективе // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2019. Т. 27, № 1. С. 59-62.
8. Кисляков П.А. Шмелева Е.А., Карасева Т.В., Силаева О.А., Прияткин Д.А. Жизнестойкость и копинг-стратегии медицинских работников в противодействии эмоциональному выгоранию (во время четвертой волны пандемии COVID-19 в России) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 6. С. 226-262. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-226-262>
9. Кисляков П.А., Тищенко Д.А. Анализ сплоченности коллективов медицинских центров в период пандемии // Пожарная и аварийная безопасность. 2022. № 3(26). С. 14-20.
10. Лысова Е.А. Анализ подходов к понятию удовлетворенности трудом // Бюллетень науки и практики. 2017. № 12(25). С. 558-563.
11. Петри А.Н. Особенности эмоционального выгорания медицинских работников // Акмеология. 2017. № 1. С. 128-133.
12. Продовикова А.Г., Тендрякова К.Д. Синдром эмоционального выгорания, жизнестойкость и смысложизненные ориентации работников сферы здравоохранения // Социальные и гуманитарные науки: теория и практика. 2020. № 1(4). С. 424-442.
13. Фетискин Н.П., Козлов В.В., Мануйлов Г.М. Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп. М.: Изд-во Ин-та Психотерапии, 2002. 488 с.
14. Худова И.Ю., Улумбекова Г.Э. «Выгорание» у медицинских работников: диагностика, лечение, особенности в эпоху COVID-19 // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. Вестник ВШОУЗ. 2021. Т. 7, № 1. С. 4262. <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2021-7-1-42-62>
15. Царанов К.Н., Тарбастаев А.Г., Рахматуллин Р.Э., Климова Е.М., Кононов А.Н., Проценко Д.Н., Хайруллин И.И. Отношение к безопасности (Отношение сотрудников медицинской организации к безопасности пациентов) Адаптация и первичная апробация русскоязычной версии опросника «Отношение к безопасности» для медицинских организаций // Менеджер здравоохранения. 2022. №2. С. 57-64.
16. Шмелева Е.А., Кисляков П.А., Карасева Т.В., Силаева О.А., Прияткин Д.А. Благополучие в профессиональной сфере и жизнестойкость врачей и меди-

- цинского персонала // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 5. С. 413-438. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>
17. Batra K, Singh T.P., Sharma M., Batra R., Schvaneveldt N. Investigating the Psychological Impact of COVID-19 among Healthcare Workers: A Meta-Analysis // International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, vol. 17(23), e9096. <https://doi.org/10.3390/ijerph17239096>
 18. Buselli R., Baldanzi S., Corsi M., Chiumiento M., Del Lupo E., Carmassi C., Dell'Osso L., Cristaudo A. Psychological Care of Health Workers during the COVID-19 Outbreak in Italy: Preliminary Report of an Occupational Health Department (AOUP) Responsible for Monitoring Hospital Staff Condition. // Sustainability, 2020, vol. 12, 5039. <https://doi.org/10.3390/su12125039>
 19. Dewey C., Hingle S., Goelz E., Linzer M. Supporting clinicians during the COVID-19 pandemic // Annals of Internal Medicine, 2020, vol. 172, pp. 752-753. <https://doi.org/10.7326/M20-1033>
 20. Fritzsche B., Emmel M. Teamwork in healthcare: A systematic review of quantitative and qualitative studies // Journal of Health Organization and Management, 2013, vol. 27(5), pp. 695-722.
 21. Maldonato N.M., Bottone M., Chiodi A., Continisio G.I., De Falco R., Duval M., Muzii B., Siani G., Valerio P., Vitelli R., Scandurra C. A Mental Health First Aid Service in an Italian University Public Hospital during the Coronavirus Disease 2019 Outbreak // Sustainability, 2020, vol. 12, 4244. <https://doi.org/10.3390/su12104244>
 22. Santabárbara J., Bueno-Notivol J., Lipnicki D.M., Olaya B., Pérez-Moreno M.A., Gracia-García P., Idoiaga-Mondragon N., Ozamiz-Etxebarria N. Prevalence of anxiety in health care professionals during the COVID-19 pandemic: A rapid systematic review (on published articles in Medline) with meta-analysis // Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry, 2021, vol. 107, 110244. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2021.110244>

References

1. Aksenova E.I. Kamynina N.N., Turzin P.S. *Professional'nyj stress medicinskih rabotnikov: obzor zarubezhnyh praktik* [Professional stress of medical workers: a review of foreign practice]. M.: GBU «NIIOZMM DZM», 2023, 48 p.
2. Ancupov A.YA., SHipilov A.I. *Konfliktologiya: Uchebnik dlya vuzov* [Conflictology: Textbook for universities]. SPb.: Piter, 2023, 528 p.
3. Varyhanova K.V., Anisimova T.A. Psihologicheskaya sovместimost' sub"ektov truda, rabotayushchih v pare, kak faktor udovletvorennosti trudom rabotnikami skoroy medicinskoj pomoshchi [Psychological compatibility of subjects of labor, professional activity paired with employees, as a factor of job satisfaction

- with emergency medical care]. *Molodezhnyy vestnik IrGTU* [Youth Bulletin of ISTU], 2015, no. 3, p. 11.
4. Vytnov I. O. Osobennosti organizatsii effektivnoj komandnoj raboty [Features of organizing effective team work]. *Nauka i praktika v obrazovanii: elektronnyy nauchnyy zhurnal* [Science and practice in education: electronic scientific journal], 2021, no. 3(5), pp. 10-14.
 5. Davydova N.S., Titov I.G., Sycheva E.V. *Metodicheskie rekomendatsii po motivatsii personala medicinskoj organizatsii v ramkah sistemy menedzhmenta berezhlivogo proizvodstva* [Methodological recommendations for motivating medical personnel within the framework of the lean production management system]. Izhevsk, 2019, 40 p.
 6. Ermashuk A.V. Social'no-psihologicheskie prichiny mezhlichnostnykh konfliktov v medicinskih uchrezhdeniyah [Socio-psychological reasons for interpersonal differences in medical institutions]. *Psihologicheskaya studiya: sb. nauch. statej* [Psychological Studio: collection of articles. scientific articles]. Issue 11. Vitebsk: VGU im. P. M. Masherova, 2018, pp. 62-65.
 7. Karasev E.A., Nechaev V.S., Saurina O.S. K voprosu o regulirovanii proizvodstvennykh konfliktov v medicinskom trudovom kollektive [On the issue of regulating industrial emissions in the medical workforce]. *Problemy social'noj gigieny, zdравооhraneniya i istorii mediciny* [Problems of social hygiene, healthcare and history of medicine], 2019, vol. 27, no. 1, pp. 59-62.
 8. Kislyakov P.A., SHmeleva E.A., Karaseva T.V., Silaeva O.A., Priyatkin D.A. ZHiznestojkost' i koping-strategii medicinskih rabotnikov v protivodejstvii emocional'nomu vygoraniyu (vo vremya chetvertoj volny pandemii COVID-19 v Rossii) [Resilience and coping strategies are used to counteract emotional burnout (during the fourth wave of the COVID-19 pandemic in Russia)]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 226-262. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-226-262>
 9. Kislyakov P.A., Tishchenko D.A. Analiz splochnosti kollektivov medicinskih centrov v period pandemii [Analysis of the cohesion of teams of medical centers during a pandemic]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'* [Fire and emergency safety], 2022, no. 3(26), pp. 14-20.
 10. Lysova E.A. Analiz podhodov k ponyatiyu udovletvorennosti trudom [Analysis of approaches to understanding job satisfaction]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of Science and Practice], 2017, no. 12(25), pp. 558-563.
 11. Petri A.N. Osobennosti emocional'nogo vygoraniya medicinskih rabotnikov [Features of emotional burnout of medical workers]. *Akmeologiya* [Acmeology], 2017, no. 1, pp. 128-133.

12. Prodovikova A.G., Tendryakova K.D. Sindrom emocional'nogo vygoraniya, zhiznestojkost' i smyslozhiznennye orientacii rabotnikov sfery zdavoohraneniya [Syndrome of emotional burnout, resilience and life-meaning orientations in the global healthcare spheres]. *Social'nye i gumanitarnye nauki: teoriya i praktika* [Social and humanitarian sciences: theory and practice], 2020, no. 1(4), pp. 424-442.
13. Fetiskin N.P., Kozlov V.V., Manujlov G.M. *Social'no-psihologicheskaya diagnostika razvitiya lichnosti i malyh grupp* [Socio-psychological diagnostics of personality development and small groups]. M.: Izd-vo In-ta Psihoterapii, 2002, 488 p.
14. Hudova I.YU., Ulumbekova G.E. «Vygoranie» u medicinskih rabotnikov: diagnostika, lechenie, osobennosti v epohu COVID-19 [“Burnout” in medical services: diagnosis, treatment, features during COVID-19]. *ORGZDRAV: novosti, mneniya, obuchenie. Vestnik VSHOUZ* [ORGZDRAV: news, opinions, training. VSHOUZ Bulletin], 2021, vol. 7, no. 1, pp. 42-62. <https://doi.org/10.33029/2411-8621-2021-7-1-42-62>
15. Caranov K.N., Tarbastaev A.G., Rahmatullin R.E., Klimova E.M., Kononov A.N., Procenko D.N., Hajrullin I.I. Otnoshenie k bezopasnosti (Otnoshenie sotrudnikov medicinskoj organizacii k bezopasnosti pacientov) Adaptaciya i pervichnaya aprobaciya russkoyazychnoj versii oprosnika «Otnoshenie k bezopasnosti» dlya medicinskih organizacij [Attitude to safety (Attitude of employees of a medical organization to patient safety) Adaptation and initial testing of the Russian version of the Attitude to Safety questionnaire for medical organizations]. *Menedzher zdavoohraneniya* [Healthcare Manager], 2022, no. 2, pp. 57-64.
16. Shmeleva E.A., Kislyakov P.A., Karaseva T.V., Silaeva O.A., Priyatkin D.A. Blagopoluchie v professional'noj sfere i zhiznestojkost' vrachej i medicinskogo personala [Well-being in the professional sphere and life support of doctors and medical personnel]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 5, pp. 413-438 <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-949>
17. Batra K, Singh T.P., Sharma M., Batra R., Schvaneveldt N. Investigating the Psychological Impact of COVID-19 among Healthcare Workers: A Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17(23), e9096. <https://doi.org/10.3390/ijerph17239096>
18. Buselli R., Baldanzi S., Corsi M., Chiumiento M., Del Lupo E., Carmassi C., Dell'Osso L., Cristaudo A. Psychological Care of Health Workers during the COVID-19 Outbreak in Italy: Preliminary Report of an Occupational Health Department (AOUP) Responsible for Monitoring Hospital Staff Condition. *Sustainability*, 2020, vol. 12, 5039. <https://doi.org/10.3390/su12125039>
19. Dewey C., Hingle S., Goelz E., Linzer M. Supporting clinicians during the COVID-19 pandemic. *Annals of Internal Medicine*, 2020, vol. 172, pp. 752-753. <https://doi.org/10.7326/M20-1033>

20. Fritzsche B., Emmel M. Teamwork in healthcare: A systematic review of quantitative and qualitative studies. *Journal of Health Organization and Management*, 2013, vol. 27(5), pp. 695-722.
21. Maldonado N.M., Bottone M., Chiodi A., Continisio G.I., De Falco R., Duval M., Muzii B., Siani G., Valerio P., Vitelli R., Scandurra C. A Mental Health First Aid Service in an Italian University Public Hospital during the Coronavirus Disease 2019 Outbreak. *Sustainability*, 2020, vol. 12, 4244. <https://doi.org/10.3390/su12104244>
22. Santabábara J., Bueno-Notivol J., Lipnicki D.M., Olaya B., Pérez-Moreno M.A., Gracia-García P., Idoiaga-Mondragon N., Ozamiz-Etxebarria N. Prevalence of anxiety in health care professionals during the COVID-19 pandemic: A rapid systematic review (on published articles in Medline) with meta-analysis. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 2021, vol. 107, 110244. <https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2021.110244>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кисляков Павел Александрович, доктор психологических наук, доцент, профессор кафедры психологии, конфликтологии и бихевиористики; главный научный сотрудник
Российский государственный социальный университет; Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний (ФКУ НИИ ФСИН России)
ул. В. Пика, 4, стр. 1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; ул. Житная, 14, г. Москва, 119991, Российская Федерация
pack.81@mail.ru

Тищенко Дарья Андреевна, психолог
Российский государственный социальный университет
ул. В. Пика, 4, стр.1, г. Москва, 129226, Российская Федерация
pack.81@mail.ru

Шмелева Елена Александровна, доктор психологических наук, доцент профессор кафедры психологии и социальной педагогики; профессор кафедры физической культуры, спорта и здорового образа жизни; профессор кафедры иностранных языков и профессиональных коммуникаций; профессор кафедры физической культуры и здорового образа жизни
Ивановский государственный университет; Российский государственный социальный университет; Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

*ул. Кооперативная, 24, г. Шуя, 155508, Российская Федерация; ул. В. Пика, 4, стр.1, г. Москва, 129226, Российская Федерация; просп. Строителей, 33, г. Иваново, 153040, Российская Федерация
nos_shmeleva@mail.ru*

Карташев Валерий Пантелеевич, кандидат биологических наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной физиологии Медицинской высшей школы (института)
*Российский государственный социальный университет
ул. В. Пика, 4, стр.1, г. Москва, 129226, Российская Федерация
kvrmos@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Kislyakov, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology, Conflictology and Behavioral; Chief Scientific Officer
*Russian State Social University; Research Institute of the Federal Penitentiary Service (FKU Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia)
4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 14, Zhitnaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation
pack.81@mail.ru
SPIN-code: 1375-5625
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1238-9183>
Researcher ID: E-4701-2016
Scopus Author ID: 56348736600*

Daria A. Tishchenko, Psychologist
*Russian State Social University
4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation
dasha120620@gmail.com*

Elena A. Shmeleva, Dr. Sci. (Psychology), Associate Professor, Professor of the Department of Psychology and Social Pedagogy; Professor of the Department of Physical Culture, Sports and Healthy Lifestyle
Ivanovo State University; Russian State Social University; Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters

24, Kooperativnaya Str., Shuya, 155508, Russian Federation; 4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation; 33, Stroiteley Ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation
noc_shmeleva@mail.ru
SPIN-code: 3992-6436
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4698-5226>
ResearcherID: H-7821-2016
Scopus Author ID: 56375922700

Valery P. Kartashev, PhD in Biology, Professor, Head of the Department of Normal Physiology, Medical Higher School (Institute)
Russian State Social University
4/1, V. Pika Str., Moscow, 129226, Russian Federation
kvpMos@mail.ru
SPIN-code: 6284-4890
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8539-5264>
Scopus Author ID: 57073261500

Поступила 30.04.2024
После рецензирования 20.05.2024
Принята 25.05.2024

Received 30.04.2024
Revised 20.05.2024
Accepted 20.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-3-1096

**ПОЯСНЕНИЕ К СТАТЬЕ «СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САЖЕНЦОВ ЧЕРЕШНИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ
ОРОШЕНИИ» DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-722**

Никольская О.А., Семинченко Е.В., Солонкин А.В. Сравнительный анализ показателей экономической эффективности возделывания саженцев черешни при капельном орошении // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 102-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-722

Авторы уточняют источник финансирования научной работы:

Исследования выполнены в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации»

Оригинальная статья может быть найдена по DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-722>

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

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОЗАЧАТОЧНОЙ
ВАГИНАЛЬНОЙ ПЛЕНКИ ZB-06

**Ю.А. Кучеренко, Д.С. Борисенко, А.Е. Борисенко,
Ю.А. Авдеева, А.С. Кордыш 11**

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД
К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ТЕЧЕНИЯ ТЕСТА
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ
НА АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

**А.Б. Торган, В.Я. Груданов, В.Г. Барсуков,
Р.Т. Тимакова 25**

НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ HYPODERMA LATREILLE, 1818
В ТАВУШСКОЙ ОБЛАСТИ АРМЕНИИ

**В.В. Григорян, О.В. Щербаков, В.В. Абрамян,
С.В. Ерибекян, Л.Г. Григорян 48**

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ РЯДА
РАСТИТЕЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ – ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ГЕРОПРОТЕКТОРОВ В ИССЛЕДОВАНИИ IN VIVO

**А.С. Фролова, А.С. Милентьева, А.М. Федорова,
Л.К. Асякина, А.Ю. Просеков 64**

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
БРАХИОЦЕФАЛЬНЫХ АРТЕРИЙ У ЛИЦ РАЗНЫХ
ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП ПО ДАННЫМ СОНОГРАФИИ

А.П. Борейко, Т.Д. Кулакова, С.Ф. Лукина 92

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПРЕПАРАТОВ
СТИМУЛЯЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ
КОЖНОГО ПОКРОВА ПРИ ТРАВМЕ

О.Б. Жданова, Е.Б. Дунаева, М.П. Разин, И.И. Окулова 114

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАБОЛИЗМА НАТИВНЫХ
И ДЕКОНСЕРВИРОВАННЫХ СПЕРМАТОЗОИДОВ БЫКОВ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА

**М.Н. Иващенко, А.В. Дерюгина, О.Н. Ермохина, П.С. Игнатьев,
М.И. Латушко, В.Б. Метелин, А.А. Белов, А.И. Ерзутов** 133

ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЭКСТРАКТА SCUTELLARIA
BAICALENSIS GEORGI НА СОДЕРЖАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ
ВЕЩЕСТВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС В УСЛОВИЯХ
«СОЦИАЛЬНОГО» СТРЕССА

**В.В. Уранова, Н.А. Ломтева, Е.И. Кондратенко,
С.В. Комаров** 149

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНВАЗИИ
T. PSEUDOSPIRALIS НА МОРФОЛОГИЮ СЕЛЕЗЁНКИ КУРИЦ
(GALLUS DOMESTICUS)

О.Б. Жданова, О.В. Часовских, А.В. Успенский 167

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

ОСОБЕННОСТИ ПИГМЕНТНОГО АППАРАТА
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЯЗОВ И ГЛЕДИЧИИ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ И ЗАЩИТНОМ
ЛЕСОРАЗВЕДЕНИИ

П.А. Кузьмин, П.А. Крылов 186

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АУКСИНОВ НА РОСТ И БИОХИМИЧЕСКИЕ
ПОКАЗАТЕЛИ SCHAETOCEROS MUELLERI

Н.Н. Ковалев, С.Е. Лескова, Е.В. Михеев, Е.А. Барсова 205

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ
И СООТНОШЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ
В ТРЕХ ВИДАХ СФАГНОВЫХ МХОВ

А.К. Штанг, Т.И. Пономарева 227

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВАРИАТИВНОСТЬ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ ЛИСТЬЕВ
BETULA PENDULA ROTH В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ
ПРОИЗРАСТАНИЯ

Т.А. Адамович, А.С. Олькова 250

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ
ПИГМЕНТНОГО КОМПЛЕКСА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
НА ТЕХНОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ

Н.В. Туманик 263

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО
ПИТАНИЯ ПЛОДА У ГЛУБОКОСТЕЛЬНЫХ КОРОВ

**В.А. Сафонов, Т.С. Ермилова, А.Е. Черницкий,
Э.А.О. Салимзаде** 283

О ВЛИЯНИИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДА КРЕМНИЯ
IV (SiO_2) И ЭКСТРАКТА КОРЫ ДУБА НА БАКТЕРИАЛЬНУЮ
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ

Д.Е. Шошин, Е.А. Сизова, А.М. Камирова 317

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА И СИДЕРАЛЬНОЙ МАССЫ ПОЛЕВЫХ
КУЛЬТУР В СЕВООБОРОТАХ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е.В. Семинченко 358

ВЛИЯНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ЕЕ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО

В.А. Гулидова, Р.В. Щучка, Т.В. Зубкова, В.Л. Захаров 374

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА В СУХОМ КЛИМАТЕ НИЖНЕВОЛЖСКОГО
РЕГИОНА РОССИИ

А.В. Солонкин, Е.П. Сухарева, А.В. Беликина 393

ВЛИЯНИЕ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ А.В. Гузенко, А.Ю. Гузенко, А.В. Солонкин	412

<i>VACCINIUM OVALIFOLIUM</i> SMITH. В ПРИРОДНЫХ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЯХ САХАЛИНА Д.В. Лебедев, В.Н. Сорокопудов	427

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

К ПРОБЛЕМЕ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ГОРНЫХ МАССИВОВ ЗАПОВЕДНИКА КОН ТЮ РАНГ (ВЬЕТНАМ) А.В. Солонкин, А.И. Беляев, А.М. Пугачёва, Н.Д. Хой, А.С. Соломенцева, С.А. Егоров, Д.Х. Кыонг, Ч.Т.Т. Хыонг	443

ПИЩЕВЫЕ РЕСУРСЫ ЛЕСОВ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) А.П. Исаев, Т.Н. Гаврильева, Л.Г. Михалева, И.И. Чикидов	474

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ГОТОВНОСТЬ ВРАЧЕЙ-ПЕДИАТРОВ К ВОСПИТАНИЮ ЦЕННОСТНОГО ОТНОШЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ К СВОЕМУ ЗДОРОВЬЮ Е.Р. Зинкевич, С.Р. Оганов, Н.А. Яцевич	504

РЕБЕНОК С ИНВАЛИДНОСТЬЮ КАК СУБЪЕКТ ИНКЛЮЗИВНЫХ ПРОЦЕССОВ Ю.А. Афонькина, Г.В. Жигунова	523

УДОВЛЕТВОРЕННОСТЬ ТРУДОМ МЕДИЦИНСКИХ РАБОТНИКОВ С РАЗНЫМ СТИЛЕМ ПОВЕДЕНИЯ В КОНФЛИКТЕ П.А. Кисляков, Д.А. Тищенко, Е.А. Шмелева, В.П. Каргашев	541

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	560

CONTENTS

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

PROSPECTS FOR THE USE OF CONTRACEPTIVE
VAGINAL PATCH ZB-06

**Y.A. Kucherenko, D.S. Borisenko, A.E. Borisenko,
Y.A. Avdeeva, A.S. Kordysh** 11

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

AN ENGINEERING APPROACH TO THE STUDY
OF THE PROCESSES OF DOUGH FLOW IN THE PRODUCTION
OF PASTA AT AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES

A.B. Torgan, V.Ya. Grudanov, V.G. Barsukov, R.T. Timakova 25

SOME BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL FEATURES OF HYPODERMA
LATREILLE, 1818 IN TAVUSH REGION OF ARMENIA

**V.V. Grigoryan, O.V. Shcherbakov, V.V. Abrahamyan,
S.V. Yeribekyan, L.H. Grigoryan** 48

SAFETY ASSESSMENT OF A RANGE
OF PLANT METABOLIC TOVES – ADVANCED
GEROPROTECTORS IN VIVO RESEARCH

**A.S. Frolova, I.S. Milentyeva, A.M. Fedorova,
L.K. Asyakina, A.Yu. Prosekov** 64

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

ATHEROSCLEROTIC CHANGES OF BRACHIOCEPHALIC ARTERIES
IN DIFFERENT AGE GROUPS ACCORDING TO SONOGRAPHY

A.P. Boreyko, T.D. Kulakova, S.F. Lukina 92

ON THE QUESTION OF THE EFFECT
OF REGENERATION STIMULATION DRUGS ON THE RESTORATION
OF THE SKIN IN CASE OF INJURY

O.B. Zhdanova, E.B. Dunaeva, M.P. Razin, I.I. Oculova 114

CHANGES IN THE METABOLISM OF NATIVE
AND DECONSERVED BULL SPERMATOZOA UNDER THE ACTION
OF MOLECULAR HYDROGEN

**M.N. Ivashchenko, A.V. Deryugina, O.N. Ermokhina, P.S. Ignatiev,
M.I. Latushko, V.B. Metelin, A.A. Belov, A.I. Erzutov** 133

STUDY OF THE EFFECT OF THE SCUTELLARIA BAICALENSIS
GEORGI EXTRACT ON THE CONTENT OF MINERALS IN THE BLOOD
SERUM OF RATS UNDER “SOCIAL” STRESS

**V.V. Uranova, N.A. Lomteva, E.I. Kondratenko,
S.V. Komarov** 149

THE EFFECT OF THE EXPERIMENTAL INVASION
OF *T. PSEUDOSPIRALIS* ON THE MORPHOLOGY OF THE SPLEEN
OF LAYING HENS (*GALLUS DOMESTICUS*)

O.B. Zhdanova, O.V. Chassokikh, A.V. Uspensky 167

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

FEATURES OF THE PIGMENT APPARATUS
OF THE PHOTOSYNTHETIC SYSTEM OF ELMS AND GLEDICHIAS
IN FOREST AMELIORATION AND PROTECTIVE AFFORESTATION

P.A. Kuzmin, P.A. Krylov 186

EVALUATION OF THE EFFECT OF AUXINS ON GROWTH
AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF *CHAETOCEROS MUELLERI*

N.N. Kovalev, S.E. Leskova, E.V. Mikheev, E.A. Barsova 205

SEASONAL CHANGES IN THE CONCENTRATION
AND RATIOS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE THREE
SPHAGNUM SPECIES

A.K. Shtang, T.I. Ponomareva 227

**ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

VARIABILITY OF FLUCTUATING ASYMMETRY OF *BETULA PENDULA*
ROTH LEAVES DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

T.A. Adamovich, A.S. Olkova 250

THE REMEDIATION METHOD AS A FACTOR SHAPING THE PIGMENT PROFILE OF SCOTS PINE ON TECHNOGENIC LAND

N.V. Tumanik 263

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

FORECASTING THE MICRONUTRIENT CONTENTS IN FETUSES OF DOWN CALVERS

V.A. Safonov, T.S. Ermilova, A.E. Chernitskiy, E.A.O. Salimzade 283

INFLUENCE OF ULTRAFINE PARTICLES OF SILICON IV OXIDE (SiO₂) AND OAK BARK EXTRACT ON BACTERIAL LUMINESCENCE

D.E. Shoshin, E.A. Sizova, A.M. Kamirova 317

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

GRAIN YIELD AND SIDERAL MASS OF FIELD CROPS IN CROP ROTATIONS OF THE LOWER VOLGA REGION

E.V. Seminchenko 358

THE INFLUENCE OF MULTICOMPONENT WINTER WHEAT SEED PROTECTANTS ON ITS PRODUCTIVITY AND QUALITY

V.A. Gulidova, R.V. Shchuchka, T.V. Zubkova, V.L. Zakharov 374

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

SPRING WHEAT IN THE DRY CLIMATE OF THE LOWER VOLGA REGION OF RUSSIA

A.V. Solonkin, E.P. Sukhareva, A.V. Belikina 393

THE INFLUENCE OF MACRO- AND MICROFERTILIZERS ON THE YIELD AND GRAIN QUALITY OF WINTER WHEAT ON CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAД REGION

A.V. Guzenko, A.Yu. Guzenko, A.V. Solonkin 412

VACCINIUM OVALIFOLIUM SMITH. IN NATURAL CENOPOPULATIONS OF SAKHALIN

D.V. Lebedev, V.N. Sorokopudov 427

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

THE PROBLEM OF REFORESTATION
OF WOODY VEGETATION OF MOUNTAIN RANGES OF KON CHU
RANG NATURE RESERVE (VIETNAM)

**A.V. Solonkin, A.I. Belyaev, A.M. Pugacheva, N.D. Hoi,
A.S. Solomentseva, S.A. Egorov, D.H. Cuong, T.T.T. Huong** 443

FOREST FOOD RESOURCES IN THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)

A.P. Isaev, T.N. Gavril'yeva, L.G. Mikhaleva, I.I. Chikidov 474

**ЗДРАВООХРАНЕНИЕ
И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**

READINESS OF PEDIATRICIANS TO FORM A VALUE ATTITUDE
OF PATIENTS TO THEIR HEALTH

E.R. Zinkevich, S.R. Oganov, N.A. Yatsevich 504

A CHILD WITH DISABILITY AS A SUBJECT OF INCLUSIVE
PROCESSES

Yu.A. Afonkina, G.V. Zhigunova 523

SATISFACTION WITH THE WORK OF MEDICAL STAFF
WITH DIFFERENT STYLES OF BEHAVIOR IN CONFLICT

**P.A. Kislyakov, D.A. Tishchenko, E.A. Shmeleva,
V.P. Kartashev** 541

RULES FOR AUTHORS 560

Подписано в печать 30.06.2024. Дата выхода в свет 30.06.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 40,89. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA163/024. 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.

