ISSN 2658-6649 (Print)

Siberian journal of Life Sciences and Agriculture

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 17, Number 1
2025

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 17, Number 1
2025

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

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

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

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

Красноярск 2025

12+

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 17, № 1, 2025 / Vol. 17, No 1, 2025

Учредитель и издатель:
ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2008 году
Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
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, 2025

Члены редакционной коллегии

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

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

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

Барабанов 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 государственный 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 Исааковна, доктор биологических наук, профессор РАН, Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания (Благовещенск, Россия)

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

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

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

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

Гинс Мурат Сабирович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (п. ВНИИССОК, 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 РАО, 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 (Йошкар-Ола, Россия)
Дерягина Лариса Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя (Москва, Россия)
Дьякович Марина Пинхасовна, доктор биологических наук, профессор, Ангарский государственный технический университет (Ангарск, Россия)
Жмылев Павел Юрьевич, доктор биологических наук, доцент, Государственный университет «Дубна» (Москва, Россия)
Зайцев Владимир Владимирович, доктор биологических наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)
Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург, Россия)
Зудилин Сергей Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)
Иванова Маиса Афанасьевна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)
Иванченко Вячеслав Иосифович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Симферополь, Россия)
Иванцова Елена Анатольевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
Казакова Алия Сабировна, доктор биологических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Зерноград, Россия)
Казыдуб Нина Григорьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)
Калягин Алексей Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, МВА, Иркутский государственный медицинский университет (Иркутск, Россия)
Карганов Михаил Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии (Москва, Россия)
Кашеваров Николай Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)
Клименко Виктор Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)
Ковалев Николай Николаевич, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Владивосток, Россия)
Козлов Василий Владимирович, кандидат медицинских наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)
Колесников Сергей Ильич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)
Коробова Лариса Николаевна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Новосибирск, Россия)
Кузин Андрей Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)
Кузьмин Сергей Владимирович, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора (Мытищи, Россия)
Лесовская Марина Игоревна, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск, Россия)
Лисняк 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 (Йошкар-Ола, Россия)
Насыбуллина Галия Максутовна, 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 Имануилович, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)
Рахимова Надежда Александровна, доктор химических наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет (Волгоград, Россия)
Рожко Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого (Красноярск, Россия)
Саввина Надежда Валерьевна, доктор медицинских наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова (Якутск, Россия)
Савельева Наталья Николаевна, доктор биологических наук, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)
Сетков Николай Александрович, доктор биологических наук, профессор, Сибирский федеральный университет (Красноярск, Россия)
Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (Санкт-Петербург, Россия)

Стецов Григорий Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федеральный 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)
Трифонова 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 государственный 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 Aforestation of the Russian Academy of Sciences (Volgograd, Russia)
Svetlana Ye. Batyrbekova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Republic of Kazakhstan)
Aleksey I. Belenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)
Anatoly A. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Evgenia A. Berseneva, Doctor of Medical Sciences, Professor, All-Russian Research and Testing Institute of Medical Equipment (Moscow, Russia)
Vyacheslav U. Buko, Doctor of Biological Sciences, Professor, Institute of Biochemistry of Biologically Active Compounds of the National Academy of Sciences of Belarus (Grodno, Republic of Belarus)
Yury Yu. Byalovsky, Doctor of Medical Sciences, Professor, Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlova (Ryazan, Russia)
Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev (Ryazan, Russia)
Tatyana I. Vitkina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern Scientific Center for Physiology and Pathology of Respiration (Blagoveshchensk, Russia)
Galina V. Volkova, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Biological Plant Protection (Krasnodar, Russia)
Vladimir A. Volynkin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, All-Russian National Research Institute of Viticulture and Winemaking "Magarach" (Yalta, Russia)
Valentina P. Voronina, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Volgograd State Agrarian University (Volgograd, Russia)
Endon Zh. Garmaev, Doctor of Geography, Associate Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Baikal Institute of Nature Management Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (Ulan-Ude, Russia)
Murat S. Gins, Doctor of Biological Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Center for Vegetable Growing (VNIISSOK, 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. Popolzukhina, 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. Voino-Yasenetsky (Krasnoyarsk, Russia)
Alexander S. Rulev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture (Volgograd, Russia)
Nadezhda V. Savvina, Doctor of Medical Sciences, Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University in Yakutsk (Yakutsk, Russia)
Natalya N. Savelyeva, Doctor of Biological Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)
Nikolai A. Setkov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
Viktor A. Smelik, Doctor of Technical Sciences, Professor, St. Petersburg State Agrarian University (St. Petersburg, Russia)
Grigory Ya. Stetsov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies (Barnaul, Russia)
Svetlana F. Sukhanova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev (Lesnikovo, Russia)
Viktor G. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov (Moscow, Russia)
Inna Yu. Tarmaeva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)
Sergey Yu. Tereshchenko, Doctor of Medical Sciences, Professor, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk, Russia)
Elena Yu. Toropova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Novosibirsk State Agrarian University (Novosibirsk, Russia)
Tatyana A. Trifonova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)
Yury V. Trunov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Michurinsk State Agrarian University (Michurinsk, Russia)

Alexander V. Tkachev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Veterinary Medicine, Senior Researcher Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, Russia)
Elizaveta A. Tyshchenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuzbass State Agricultural Academy (Kemerovo, Russia)
Mikhail T. Upadyshev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Selection and Technological Center for Horticulture and Nursery (Moscow, Russia)
Natalya A. Chernykh, Doctor of Biological Sciences, Professor, Moscow State Institute of International Relations (University) (Moscow, Russia)
Vladimir I. Chernyavskikh, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology (Lobnya, Russia)
Natalya A. Schneider, Doctor of Medical Sciences, Professor, Bekhterev National Medical Research Center for Psychiatry and Neurology (St. Petersburg, Russia)
Andrey N. Yushkov, Doctor of Agricultural Sciences, I.V. Michurin Federal Research Center (Michurinsk, Russia)

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-920 **EDN: QLGMUF**
UDC 619

CC BY NC ND

Original article

THE EFFECT OF THE PROBIOTIC STRAIN OF *BACILLUS SUBTILIS* ON THE GASTROINTESTINAL TRACT OF CALVES WITH DIARRHEAL SYNDROME

I.B. Gribchenko, A.V. Korel, A. Saeidi, V.D. Bets

Abstract

The development of diarrheal syndrome in calves is a serious problem and causes great economic losses for cattle breeding. There are infectious and non-infectious causes. The prevention of such conditions is based on the correct colonization of the symbiotic microflora of the gastrointestinal tract in calves during the neonatal period. Another important factor is the use of probiotic bacteria to regulate metabolism and microbiome. The **purpose** research was to find out determine evaluate the rate of elimination of bacteria of the genus *Bacillus subtilis* from the body of dairy cattle calves, as well as the effect of probiotics on diarrhea and changes in the microbiome. For this purpose, changes in the consistency and bacterial diversity of faeces were evaluated in animals before and after the use of a probiotic strain of *B. subtilis* bacteria. The **results** of the study show the restoration of gastrointestinal tract function in calves with signs of diarrhea. During the study, a change in the microbial community was observed under the influence of *B. subtilis* bacteria. The study showed that before the use of probiotics in crops on nutrient media, fungi of the genus *Candida tropicalis* were detected in calves of the experimental and control groups, however, after the use of probiotics in calves of the experimental group, these fungi were not detected already on the first day after completion course. The study supported the hypothesis that probiotic bacteria *B. subtilis* participate in restoring the function of the gastrointestinal tract in calves with diarrhea and affect the microbial community.

Keywords: calves; diarrhea; probiotics; microbiome; gut

For citation. Gribchenko, I. B., Korel, A. V., Saeidi, A., & Bets, V. D. (2025). The effect of the probiotic strain of *Bacillus subtilis* on the gastrointestinal tract of calves with diarrheal syndrome. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 11–25. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-920

Научная статья

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* НА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНЫЙ ТРАКТ ТЕЛЯТ С ДИАРЕЙНЫМ СИНДРОМОМ

И.Б. Грибченко, А.В. Корель, А. Саеди, В.Д. Бец

Аннотация

Развитие диарейного синдрома у телят является серьезной проблемой и приносит большие экономические потери для животноводства. Причины бывают инфекционного и не инфекционного характера. В основе профилактики таких состояний лежит корректное подселение симбиотической микрофлоры желудочно-кишечного тракта у телят в неонатальный период. Еще одним важным фактором является применение пробиотических бактерий с целью регуляции метаболизма и микробиома. В данном исследовании мы оценивали скорость элиминации бактерий рода *Bacillus subtilis* из организма телят молочного скота, а также влияние пробиотиков на диарею и изменение микробиома. С этой **целью** у животных оценивали изменение консистенции и бактериальное разнообразие фекалий до и после применения пробиотического штамма бактерий *Bacillus subtilis*. По **результатам** исследований мы наблюдали восстановление функции желудочно-кишечного тракта у телят с признаками диареи. В ходе исследования наблюдалось изменение микробного сообщества под влиянием бактерий *Bacillus subtilis*. Мы увидели, что до применения пробиотика в посевах на питательных средах у телят опытной и контрольной групп детектировались грибы рода *Candida tropicalis*, однако после применения препарата у телят опытной группы, этих грибов не обнаруживалось уже на 1 сутки после отмены препарата. Также, после применения пробиотика в фекалиях телят опытной группы перестали детектироваться бактерии группы KESC (*Klebsiella spp., Ene terobacter spp., Serratia spp., Citrobacter spp*.). Пробиотические бактерии *Bacillus subtilis* принимают участие в восстановлении функции желудочно-кишечного тракта у телят с диареей и влияют на микробное сообщество.

Ключевые слова: телята; диарея; пробиотики; микробиом; кишечник

Для цитирования. Грибченко, И. Б., Корель, А. В., Саеди, А., & Бец, В. Д. (2025). Влияние пробиотического штамма *Bacillus subtilis* на желудочно-кишечный тракт телят с диарейным синдромом. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 11-25. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-920

Introduction

Diarrheal syndrome of calves is one of the leading causes of economic loss in livestock production across the world. The mortality rate of weaned calves caused by diarrhea ranged from 32 to 57% in the United States, Korea, Norway, Russia, and other nations [6]. Although the percentage has recently fallen, but newborn calves are still at risk for diarrhea in their first few weeks of life. This is due to the fact that calves are born without immunological protection. Their immunity is formed in the first twelve hours due to colostral antibodies obtained from colostrum. After that, their intestinal barrier becomes barely passable for antibodies [19].

Non-infectious causes of diarrhea include calving hygiene, calf placement (crowding, straw underlay hygiene), and colostrum feeding hygiene [19; 22].

Immune factors include providing and feeding colostrum in the early hours of life, mother cow vaccination, feeding technology, greedy milk intake, worn pacifier rubber, non-compliance with restrictions on fermented milk products and low-quality whole milk substitute [4; 22].

Biological factors are also fundamental. The most common pathogens that cause diarrhea in calves are viruses from the genus *Rotavirus* and *Coronaviridae*, protozoa from the genus *Cryptosporidium spp.*, and the bacterium *Escherichia coli* [22]. Bacteria attach to the intestinal wall and produce toxins. This damages the mucosal membrane, resulting in the loss of water and electrolytes in the feces. Dehydration and intoxication ensue as a result [6; 19; 22].

The detection of pathogens and the administration of pro and prebiotic preparations for both prevention and treatment are essential factors in monitoring the status of the gastrointestinal tract in calves [3, 30]. Probiotics have a positive effect due to competition with pathogenic microflora for the possibility of adhesion on intestinal epithelial cells, and probiotic strains in the process of life can release active agent that inhibit the growth of pathogens and, participating in metabolism, contribute to the growth of normal flora [7; 11; 29].

A number of studies show that certain probiotic strains have immunomodulatory properties by modifying the immune response of T-helper cells (Th1

and Th2) and thereby enhancing host immune function [1; 24]. For example, an increase in the expression of cytokines *IL-4* and *IL-10* was shown when probiotic strains of microorganisms were taken in a mouse model, as well as a decrease in the expression of *TNF-α*, *IL-6* and *IL-17A*, by some probiotics. These findings are consistent with previous studies and demonstrate that modulating cytokine secretion has a protective and anti-inflammatory effect on mice intestinal tissues and cells [17].

The integrity of the intestinal mucosa was assessed in addition to expressions; according to the findings of the experiment, groups of mice which received probiotics with feed had an elongation of the intestinal villi and variations in the depth of the crypts [9; 17].

B. subtilis are allochthonous bacteria that enter the gastrointestinal tract of mammals by accidental intake. These bacteria travel through the gastrointestinal tract and provide a probiotic impact on the host [17].

Rumen fermentation in ruminants has been shown to vastly improve when probiotics are applied in combination with *B. subtilis*, since this genus of bacteria can produce a wide range of enzymes that promote digestion and absorption in the gastrointestinal tract [8]. Also, *B. subtilis* recycles urea and back them into the rumen, increases amino acid and peptide absorption, protein synthesis, and the amount of proteins reaching the gut [27].

The use of *B. subtilis* in other animal and bird species is also described. In the works, the growth-stimulating, immunomodulatory and protective properties of the strain were evaluated. This shows the effect of *B. subtilis* on the regulation of intestinal microflora in chickens [16; 18; 28], rabbits [10], pigs [14; 21; 26], calves [24; 27], and dogs [2; 12; 27].

B. subtilis are demonstrate action against some pathogenic and opportunistic microorganisms in addition to immunomodulatory characteristics. They may produce a variety of metabolites that are stable across a wide pH and temperature range. They secrete amylases, glucanases, cellulases, pectinases, and pullulanases. Bacteria of *B. subtilis* are active against *Klebsiella pneumoniae, Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* etc. [5; 25].

With the developing issue of resistance to antibiotics in pathogenic microflora, the potential for using probiotics as a therapeutic for intestinal inflammation are obvious [20]. *B. subtilis* is considered a safe probiotic and has long been used in dairy and beef cattle as a dietary supplement [27]. The impact of *B. subtilis* on diarrhea in Siberian dairy cattle calves was investigated in this study. In addition, the rate of elimination of probiotic strains from intestinal tract of calves were evaluated.

Materials and methods

Formation of experimental groups

Two groups of animals were selected for the experiment: Holstein calves of different sexes, 30 days of age. Calves of this age are housed in loose group cages for 5-6 heads on wooden floors with straw bedding. The cage is equipped with a feeder filled with pre-starter feed and finely chopped hay. Also, in the cage there is a bucket of water. Feeding of calves with combined milk from cows from is carried out 2 times, 5 liters per day.

Evaluation of the consistency of feces on a point scale

To determine the degree of diarrhea, a scoring of fecal consistency is used. Such an estimate was first mentioned by Larson et al [15]. It is based on fluidity, where 1 is considered normal, 2 is soft, 3 is liquid, and 4 is watery Kertz and Chester-Jones described this system in a review. Such a system is important for the presentation of experimental data in calves [13; 23].

Collection of samples

Collection of samples is 3-4 hours after feeding during daytime. Feces were collected from the rectum using sterile probes and placed in sterile test tubes without culture media (Nuova Aptaca, Regione Monforte, Canelli, Italy). They were then placed in an ice-packed container and delivered to the laboratory. The samples were then stored at -20°C.

Suspension preparation

A kanamycin-resistant laboratory strain of *B. subtilis Bs20* was used to prepare the spore suspension. The inoculum was obtained by growing the strain on agarized potato media with kanamycin (Kraspharma, Krasnoyarsk, Russia) in a thermostat at 37 ^{0}C for 24 hours. A daily culture was inoculated into 1000 ml mattresses containing 200 ml of agarized potato media without kanamycin. Cultivation was carried out in a thermostat at 37 °C for 96-100 hours until the spores were completely precipitation. Biomass was collected by washing with 0.85% saline (Gematek, Tver, Russia) into a sterile container. The titer of spores was determined by seeding 100 µl of the corresponding tenfold dilution onto agarized potato medium with kanamycin.

Culturing in nutritional media

Samples in an amount of 1g were titrated with a 1x phosphate buffer (PBS, pH 7.4, Sigma-Aldrich, St. Louis, Missouri, USA). Then, the titer of spores was determined by culturing 100 µl of the matching tenfold dilution onto agarized potato media with kanamycin. Petri dishes were placed in a thermostat at 37 ^{0}C for 24 hours, following which colonies were counted and colony-forming units in the initial sample were calculated.

To study the species diversity of microbial cultures, colonies were re-cultured from inoculations of samples of 0 and 14 days on CHROMagar Orientation media (Chromagar, Paris, France). After subculture, petri dishes were incubated under aerobic conditions at 37°C for 24 hours.

Scheme of the experiment

The work was carried out from September to November. The experiment involved calves of Holstein breed, of different sexes, 30 days of age. Animals showed signs of diarrhea of varying severity (apathy, loss of appetite, diarrhea 3nd score - liquid feces, 4nd score - watery feces). An assessment was made of the effect of the drugs of *B. subtilis Bs20* bacteria on the development of diarrhea in calves in the conditions of the economy of the Novosibirsk region, Russia.

The experimental group consisted of 5 calves of 30 days of age, which were given the drug in the form of a white suspension every day, in the morning with milk. The drug was used for 12 days. The control group of 5 calves 30 days of age, where the drug was not used (Fig.1).

During the collection of anamnesis, it was discovered that improper milk drinking and possibly single feeding of not fresh milk facilitated in the development of diarrhea.

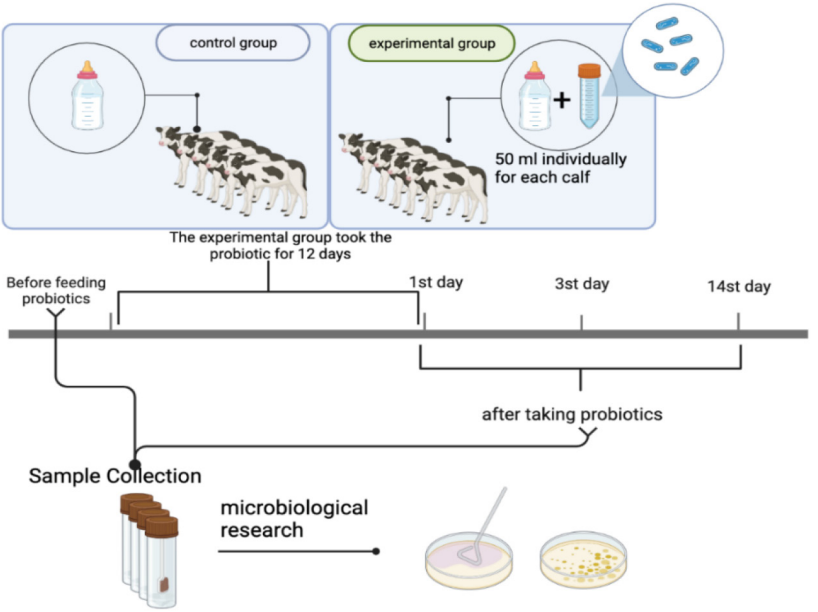


Figure 1. Experiment scheme

Statistical data processing

All data are presented as mean ± standard deviation. Statistical data processing was performed using IBM SPSS Statistics (version 23). Non-parametric statistical processing methods were used to analyze data with non-normal distribution. The effect of the day was determined using a non-parametric analogue of one-way analysis of variance - the Kruskal-Wallis test. Comparison of two groups of data with non-normal distribution was performed using the Mann-Whitney U test.

Results

It is well known that probiotics, such as the bacterium *B. subtilis*, interact with the normal flora of the intestines and can actively take part in metabolic processes [3]. We noticed a significant difference in the fecal consistency scores between the experimental and control groups on the third day following the termination of the spore suspension ($Z=2.041$; $p=0.041$). The consistency in the experimental group approached the norm (1 point), whereas it stayed at 2-3 points in the control group, which indicates the presence of a mild form of diarrhea. The consistency of the feces in the experimental group recovered to its normal on the 14th day following the discontinuation of the bacterial suspension, and it significantly differed from that of the calves in the control group ($Z=2.887$; $p=0.004$). It can be concluded that the bacteria *B. subtilis* affect the metabolism and the development of diarrhea. In addition, we observed a regular decrease in the titer of *B. subtilis* spores in the feces of calves from the experimental group. The spore titers significantly differed on the 1st day after the exclusion of the drug from the spore titer on the 3rd day ($Z=2.611$; $p=0.009$), as well as from the spore titer on the 14th day ($Z=2.694$; $p=0.007$). Since these bacteria are allochthonous microflora and do not persist in the intestinal for an extended period, this impact is normal (Fig. 2b) [8].

The presence of *B. subtilis* bacteria in the feces was confirmed by inoculation on potato agar with kanamycin. So, before the start of the experiment on the petri dishes, we do not observe the growth of colonies of *B. subtilis* bacteria. However, on the 1st day following the exclusion of the spore suspension, the maximum number of cells of the tested strain in 1 g of feces is observed, which corresponds to $(1.66 +/- 0.5) \times 10^6$ CFU/g. On the 3rd day after the exclusion of the spore suspension of *B. subtilis*, a decrease in the number of bacteria by 2 orders of magnitude $(3.86 +/- 0.6) \times 10^4$ CFU/g was noted. And the test bacterial spore was no longer found in the feces of any calves except one on the 14th day following the exclusion of the spore suspension (Fig. 3). In the fecal samples of animals of the control group, which spore suspension was not added to their diet, *B. subtilis* bacteria were not detected throughout the experiment.

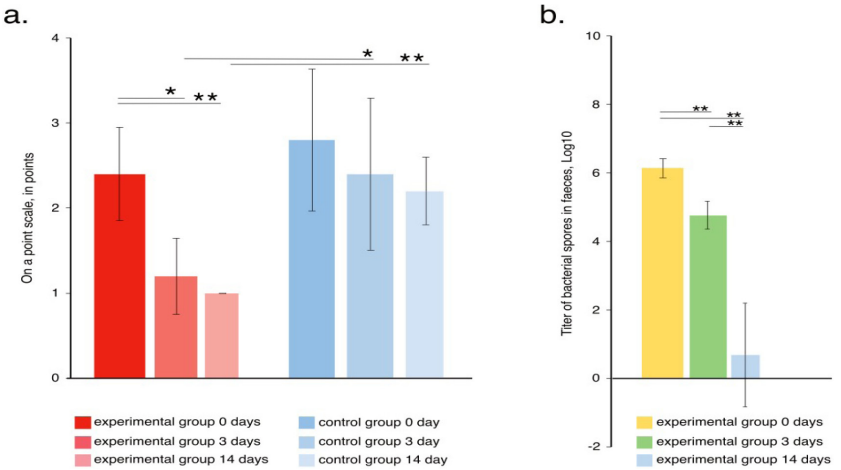


Figure 2. a) Change in the consistency of feces on a point scale, where 1 is normal, 2 is soft feces, 3 is liquid, 4 is watery (n=10). b) Change in the titer of spores of bacteria of *B. subtilis* in the feces of calves before feeding with probiotics and on days 1, 3, 14 after exclusion of the spore suspension (n=5).

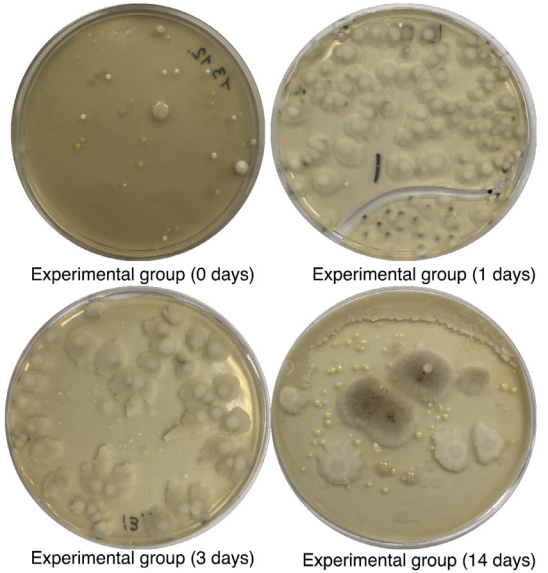


Figure 3. Fecal bacterial cultures from the experimental groups, on potato agar with kanamycin.

During the experiment, we investigated the microbial diversity in the faeces of the experimental group of animals. As a result, when bacteria were cultivated on the CHROMagar Orientation nutrient medium, we observed the presence of *Candida spp.* in the samples before the experiment. At the same time, in the samples on the 1st, 3rd and 14th days after the application of the bacterial suspension, the growth of *Candida spp.* was not observed. This may indicate the presence of fungicidal activity of *B. subtilis* bacteria. Some articles describe such activities [25]. Genome sequencing showed that fungi were identified as *Candida tropicalis* (Tab.1).

Table 1.

Sequencing of the 18S rRNA gene sequence of the fungus of the genus *Candida sp.* isolated from faeces of calves

Species	Sequence 3'-5'	Compliance percentage
1. Candida tropcalis	3'-GCGGAGGACATTACTGATTTGCTTAATTGCACCACATGTGTTTTTTATTGAACAAATT-5' 3'-TCTTTGGTGGCGGGAGCAATCCCACCGCCAGAGGTTATAACTAAACCAAACTTTTTATTT-5' 3'-ACAGTCAAACTTGATTTATTATTACAATAGTCAAAACTTTCAACAACGGATCTCTTGGTT-5' 3'-CTCGCATCGATGAAGAACGCAGCGAAATGCGATACGTAATATGAATTGCAGATATTCGTG-5' 3'-AATCATCGAATTTTTGAACGCACATTGCGCCCTTTGGTATTCCAAAGGGCATGCCTGTTT-5' 3'-GAGCGTCATTTCTCCCTCAAACCCCCGGGTTTGGTGTTGAGCAATACGCTAGGTTTGTTT-5' 3'-GAAAGAATTTAACGTGGAAACTTATTTTAAGCGACTTAGGTTTATCCAAAAACGCTTATT-5' 3'-TTGCTAGTGGCCACCACAATTTATTTCATAACTTTGACCTCAAATCAGGTAGGACTACCC-5' 3'-GCTGAACTTAAGCATATCAATAAGCGGAGGAAAAGAAACCAACAGGGATTGCCTTAGTAG-5' 3'-CGGCGAGTGAAGCGGCAAAAGCTCAAATTTGAAATCTGGCTCTTTCAGAGTCCGAGTTGT-5' 3'-AATTTGAAGAAGGTATCTTTGGGTCTGGCTCTTGTCTATGTTTCTTGGAACAGAACGTCA-5' 3'-CAGAGGGTGAGAATCCCGTGCGATGAGATGATCCAGGCCTATGTAAAGTTCCTTCGAAGA-5' 3'-GTCGAGTTGTTTGGGAATGCAGCTCTAAGTGGGTGGTAAATTCCATCTAAAGCTAAATAT-5' 3'-TGGCGAGAGACCGATAGCGAACAAGTACAGTGATGGAAAGATGAAAAGAACTTTGAAAAG-5' 3'-AGAGTGAAAAAGTACGTGAAATTGTTGAAAGGGAAGGGCTTGAGATCAGACTTGGTATTT-5' 3'-TGTATGTTACTTCTTCGGGGGTGGCCTCTACAGTTTATCGGGCCAGCATCAGTTTGGGCG-5' 3'-GTAGGAGAATTGCGTTGGAATGTGGCACGGCCTCGGTTGTGTGTTATAGCCTTCGTCGAT-5' 3'-ACTGCCAGCCTAGACTGAGGACTGCGGTTTATACCTAGGATGT-5'	99.53 similarity with *Candida tropicalis* strain VIT-NN03 and *Candida tropicalis* strain YZ1 based on NCBI Blast

It can also be seen those bacteria of the *KESC* group (*Klebsiella spp., Enterobacter spp., Serratia spp., Citrobacter spp*.) are not detected on the 14th day (Fig. 4). These data allow us to draw a conclusion about the influence of *B. subtilis* bacteria on the intestinal microflora.

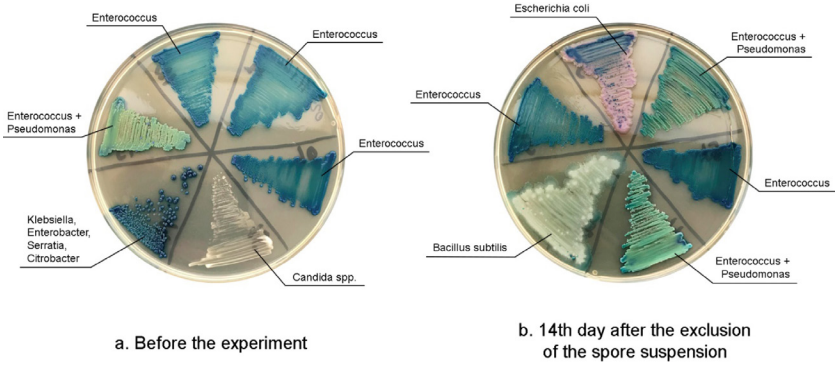


Figure 4. Change in the species diversity of microorganism cultures in fecal samples of the experimental group (a) before the experiment and (b) on the 14th day after the exclusion of the spore suspension. Transferring to CHROMagar Orientation medium.

Discussion

In this study, we found the effect of a probiotic strain of *B. subtilis* on intestinal metabolism in calves. In calves in the first few months of life, disorders of the gastrointestinal tract very often occur. Such diseases are associated with metabolic disorders and infection. Probiotics are able to produce substances necessary for the body. So, we observe that when using a probiotic, diarrhea disappears in calves. It is also important to change the microflora. We observe the disappearance of the opportunistic fungus *Candida tropicalis* from the feces of calves after the use of a probiotic. This indicates the presence of antifungal activity of the strain. At the same time, it is obvious that with the rapid removal of probiotics from the gastrointestinal tract, the effect of their use can be reduced.

Conclusions

Probiotic drugs are used to prevent and treat diseases of the gastrointestinal tract in animals. This is primarily due to their activity against many opportunistic and pathogenic microorganisms. Mechanisms of action of bacteria *Bacillus spp.* have been studied for a long time, it is believed that these allochthonous microorganisms enter the gastrointestinal tract of animals by chance, with soil and

plants. In the gastrointestinal tract, they interact with normal flora, participate in metabolism, release active compounds that can suppress the growth of pathogenic microflora. According to our observations, in ruminants, on average, the probiotic strain *B. subtilis* persists in the intestine for about two weeks, provided that high titers of bacteria are supplied daily with food. From this, it becomes clear that *B. subtilis* must be constantly added to the feed in order to obtain the effect of the use of a probiotic. Though the fact that *B. subtilis* is a spore bacterium, there is a possibility that some of them die during the passage of aggressive environments of the body. Therefore, the task of delivering a probiotic to the intestines is significant for an enhanced and lasting effect. Since we observed a change in the microbiome composition, there is a need to further study the strain for activity against fungi and some pathogenic organisms. this will pave the way for the development of antibacterial drugs based on probiotics. Probiotics may take a leading role in the treatment of intestinal diseases in animals.

Opinion of the ethics committee. The study was conducted in accordance with the principles outlined in the International Recommendations for Biomedical Research Using Animals, developed and published in 1985 by the Council for International Organizations of Medical Sciences.

Conflict of interest information. The authors declare that there is no conflict of interest.

References / Список литературы

1. Barnes, A. G. C., Cerović, V., Hobson, P. S., & Klavinskis, L. S. (2007). *Bacillus subtilis* spores: A novel microparticle adjuvant which can instruct a balanced Th1 and Th2 immune response to specific antigen. *European Journal of Immunology*, *37*(6), 1538–1547. https://doi.org/10.1002/eji.200636875
2. Bastos, T. S., de Lima, D. C., Souza, C. M. M., Maiorka, A., de Oliveira, S. G., Bittencourt, L. C., & Félix, A. P. (2020). *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* reduce faecal protein catabolites concentration and odour in dogs. *BMC Veterinary Research*, *16*(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/s12917-020-02321-7
3. Bernardeau, M., Lehtinen, M. J., Forssten, S. D., & Nurminen, P. (2017). Importance of the gastrointestinal life cycle of *Bacillus* for probiotic functionality. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(8), 2570–2584. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2688-3
4. Caffarena, R. D., Casaux, M. L., Schild, C. O., Fraga, M., Castells, M., Colina, R., Maya, L., Corbellini, L. G., Riet-Correa, F., & Giannitti, F. (2021). Causes

of neonatal calf diarrhea and mortality in pasture-based dairy herds in Uruguay: A farm-matched case-control study. *Brazilian Journal of Microbiology*, *52*(2). https://doi.org/10.1007/s42770-021-00440-3

5. Caulier, S., Nannan, C., Gillis, A., Licciardi, F., Bragard, C., & Mahillon, J. (2019). Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group. *Frontiers in Microbiology*, *10*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302/bibtex
6. Cho, Y.-I., & Yoon, K. J. (2014). An overview of calf diarrhea — infectious etiology, diagnosis, and intervention. *Journal of Veterinary Science*, *15*(1), 1–17. https://doi.org/10.4142/jvs.2014.15.1.1
7. Duan, M., Zhang, Y., Zhou, B., Qin, Z., Wu, J., Wang, Q., & Yin, Y. (2020). Effects of *Bacillus subtilis* on carbon components and microbial functional metabolism during cow manure-straw composting. *Bioresource Technology*, *303*, 122868. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122868
8. Du, W., Wang, X., Hu, M., Hou, J., Du, Y., Si, W., Yang, L., Xu, L., & Xu, Q. (2023). Modulating gastrointestinal microbiota to alleviate diarrhea in calves. *Frontiers in Microbiology*, *14*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1181545
9. Fukuda, T., Otsuka, M., Nishi, K., Nishi, Y., Tsukano, K., Noda, J., Higuchi, H., & Suzuki, K. (2019). Evaluation of probiotic therapy for calf diarrhea with serum diamine oxidase activity as an indicator. *Japanese Journal of Veterinary Research*, *67*(4). https://doi.org/10.14943/jjvr.67.4.305
10. Guo, M., Wu, F., Hao, G., Qi, Q., Li, R., Li, N., Wei, L., & Chai, T. (2017). *Bacillus subtilis* improves immunity and disease resistance in rabbits. *Frontiers in Immunology*, *8*(MAR), 354. https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00354/bibtex
11. Hashem, A., Tabassum, B., & Fathi Abd_Allah, E. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(6), 1291. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004
12. Kahraman, O., Gürbüz, E., İnal, F., Arık, H. D., Altaş, M. S., & Ahmed, I. (2023). Effects of *Bacillus subtilis* C-3102 addition to dry dog food on nutrient digestibility fecal characteristics, fecal microbiota and blood chemistry in healthy dogs. *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2450446/v1
13. Kertz, A. F., & Chester-Jones, H. (2004). Invited review: guidelines for measuring and reporting calf and heifer experimental data. *Journal of Dairy Science*, *87*(11), 3577–3580. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73495-5
14. Kim, K., He, Y., Xiong, X., Ehrlich, A., Li, X., Raybould, H., Atwill, E. R., Maga, E. A., Jørgensen, J., & Liu, Y. (2019). Dietary supplementation of *Bacillus subtilis* influenced intestinal health of weaned pigs experimentally infected with a pathogenic *Escherichia coli*. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *10*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/s40104-019-0364-3/tables/5

15. Larson, L. L., Owen, F. G., Albright, J. L., Appleman, R. D., Lamb, R. C., & Muller, L. D. (1977). Guidelines toward more uniformity in measuring and reporting calf experimental data I. *Journal of Dairy Science*. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83975-1
16. Li, X. Y., Duan, Y. L., Yang, X., & Yang, X. J. (2020). Effects of *Bacillus subtilis* and antibiotic growth promoters on the growth performance, intestinal function and gut microbiota of pullets from 0 to 6 weeks. *Animal*, *14*(8), 1619–1628. https://doi.org/10.1017/S1751731120000191
17. Li, Y., Jia, D., Wang, J., Li, H., Yin, X., Liu, J., Wang, J., et al. (2021). Probiotics isolated from animals in northwest China improve the intestinal performance of mice. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*, 1071. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750895/bibtex
18. Li, Y., Xu, Q., Huang, Z., Lv, L., Liu, X., Yin, C., Yan, H., & Yuan, J. (2016). Effect of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.1086 on the growth performance and intestinal microbiota of broilers. *Journal of Applied Microbiology*, *120*(1), 195–204. https://doi.org/10.1111/jam.12972
19. Meganck, V., Hoflack, G., & Opsomer, G. (2014). Advances in prevention and therapy of neonatal dairy calf diarrhoea: A systematic review with emphasis on colostrum management and fluid therapy. *Acta Veterinaria Scandinavica*, *56*(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/s13028-014-0075-x/tables/1
20. Melara, E. G., Avellaneda, M. C., Valdivié, M., García-Hernández, Y., Aroche, R., & Martínez, Y. (2022). Probiotics: symbiotic relationship with the animal host. *Animals*, *12*(6), 719. https://doi.org/10.3390/ani12060719
21. Mun, D., Kyoung, H., Kong, M., Ryu, S., Jang, K. B., Baek, J., Park, K. I., Song, M., & Kim, Y. (2021). Effects of bacillus-based probiotics on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal health of weaned pigs. *Journal of Animal Science and Technology*, *63*(6), 1314–1327. https://doi.org/10.5187/JAST.2021.E109
22. Naylor, J. M. (2009). Neonatal calf diarrhea. In *Current veterinary therapy: Food animal practice* (pp. 70–77). Elsevier Saunders. https://doi.org/10.1016/B978-141603591-6.10021-1
23. Renaud, D. L., Buss, L., Wilms, J. N., & Steele, M. A. (2020). Technical note: is fecal consistency scoring an accurate measure of fecal dry matter in dairy calves? *Journal of Dairy Science*, *103*(11), 10709–10714. https://doi.org/10.3168/jds.2020-18907
24. Sun, P., Wang, J. Q., & Zhang, H. T. (2010). Effects of *Bacillus subtilis natto* on performance and immune function of preweaning calves. *Journal of Dairy Science*, *93*(12), 5851–5855. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3263
25. Ozabor, T. P., & Fadahunsi, I. F. (2019). Antimicrobial activity of *Bacillus subtilis* against some selected food borne pathogens. *Acta Scientific Microbiology*, *2*(7), 89–95. Retrieved July 7, 2019.

26. Tian, Z., Wang, X., Duan, Y., Zhao, Y., Zhang, W., Azad, M. A. K., Wang, Z., Blachier, F., & Kong, X. (2021). Dietary supplementation with *Bacillus subtilis* promotes growth and gut health of weaned piglets. *Frontiers in Veterinary Science*, *7*, 1203. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.600772/bibtex
27. Wang, Q., Ren, Y., Cui, Y., Gao, B., Zhang, H., Jiang, Q., Loor, J. J., Deng, Z., & Xu, C. (2022). *Bacillus subtilis* produces amino acids to stimulate protein synthesis in ruminal tissue explants via the phosphatidylinositol-4,5-bisphosphate 3-kinase catalytic subunit beta–serine/threonine kinase–mammalian target of rapamycin complex 1 pathway. *Frontiers in Veterinary Science*, *9*, 691. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.852321/bibtex
28. Wang, W. C., Yan, F. F., Hu, J. Y., Amen, O. A., & Cheng, H. W. (2018). Supplementation of *Bacillus subtilis*-based probiotic reduces heat stress-related behaviors and inflammatory response in broiler chickens. *Journal of Animal Science*, *96*(5), 1654–1666. https://doi.org/10.1093/jas/sky092
29. Wu, Y. y., Nie, C. x., Xu, C., Luo, R. q., Chen, H. l., Niu, J. l., Bai, X., & Zhang, W. (2022). Effects of dietary supplementation with multispecies probiotics on intestinal epithelial development and growth performance of neonatal calves challenged with *Escherichia coli* K99. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *102*(10). https://doi.org/10.1002/jsfa.11791
30. Ziese, A. L., Suchodolski, J. S., Hartmann, K., Busch, K., Anderson, A., Sarwar, F., Sindern, N., & Unterer, S. (2018). Effect of probiotic treatment on the clinical course, intestinal microbiome, and toxigenic *Clostridium perfringens* in dogs with acute hemorrhagic diarrhea. *PLOS ONE*, *18*(1), e0204691. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204691

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inna B. Gribchenko, Research Assistant, Centers of Technological Excellence
Novosibirsk State Technical University
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation
inna.gri01@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2717-5736

Anastasia V. Korel, Candidate of Biology Sciences, Research Assistant, Centers of Technological Excellence
Novosibirsk State Technical University
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation
akorel@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2945-3658

Arsalan Saeidi, Research Assistant, Laboratory of Molecular Pathology of the Institute of Medicine and Pathology
Novosibirsk State University
2, Pirogova Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation
saeidi.arsalan1377@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-2395-5127

Victoria D. Bets, Research Assistant, Centers of Technological Excellence
Novosibirsk State Technical University
20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation
vish22@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5148-9067

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Грибченко Инна Борисовна, научный сотрудник Центра технологического превосходства
Новосибирский государственный технический университет
пр-т К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация
inna.gri01@mail.ru

Корель Анастасия Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Центра технологического превосходства
Новосибирский государственный технический университет
пр-т К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация
akorel@gmail.com

Саеди Арсалан, научный сотрудник Лаборатории молекулярной патологии Института медицины и психологии В. Зельмана
Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, г. Новосибирск, 630090, Российская Федерация
saeidi.arsalan1377@gmail.com

Бец Виктория Дмитриевна, научный сотрудник Центра технологического превосходства
Новосибирский государственный технический университет
пр-т К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Российская Федерация
vish22@yandex.ru

Поступила 12.03.2024 Received 12.03.2024
После рецензирования 01.07.2024 Revised 01.07.2024
Принята 13.07.2024 Accepted 13.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1042 **EDN: QWWMIL**
УДК 636.085.4:616.994.18-006.6

CC BY NC ND

Научная статья

СОСТАВ И ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ФУНКЦИИ ЭНДОМЕТРИАЛЬНОГО И РУБЦОВОГО МИКРОБИОМА ДОЙНЫХ КОРОВ НА ФОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО ЭНДОМЕТРИТА

Йылдырым Е.А., Филиппова В.А., Ильина Л.А., Лаптев Г.Ю., Дубровин А.В., Заикин В.А., Калиткина К.А., Корочкина Е.А., Ключникова И.А., Пономарева Е.С., Бражник Е.А., Сметанникова Т.С., Тюрина Д.Г.

Аннотация

Обоснование. Эндометрит является одной из важнейших причин яловости молочных коров, приводящей к значительным экономическим потерям в животноводстве. Состав микробиома коров оказывает прямое влияние на их репродуктивное здоровье.

Целью исследования была оценка изменений состава и прогнозируемых метаболических путей эндометриальной и рубцовой микробиоты коров при хроническом эндометрите.

Материалы и методы. Для эксперимента было сформировано две группы коров в период раздоя (n = 3): контрольная группа I - клинически здоровые, а также с хорошими показателями воспроизводства в анамнезе жизни, опытная группа II - с хроническим эндометритом. Была проведена оценка состава микробного сообщества соскобов с эндометрия и химуса рубца с помощью таргетного NGS-секвенирования. Реконструкция и прогнозирование функционального содержания семейств генов и ферментов проведены при помощи программного комплекса PICRUSt2 (v.2.3.0).

Результаты. В рубце коров опытной группы II по сравнению с контролем I было отмечено снижение численности *Ruminococcus* sp. и *Veillonella* sp. в 2,0 и 2,8 раза соответственно на фоне повышения *Fusobacterium* sp. и бактерий порядка *Bacteroidales* – родов *Bacteroides* и *Porphyromonas* в 1,7-2,6 раза ($P \leq 0,05$). В эндометрии коров опытной группы II по срав-

нению с контролем I отмечено резкое (на 8,6%) увеличение численности *Fusobacterium* sp. (P≤0,05). У эндометриальной микробиоты на фоне заболевания происходило полное угнетение важных путей, связанных с синтезом витаминов, таких, как менахинол-10 и биотин, а также коэнзима Q10 (убихинолов-7-10), связанного с антиоксидантной активностью по сравнению контрольной группой I (P≤0,05).

Заключение. Полученные нами данные указывают на то, что хронический эндометрит у коров проявляется как смешанная инфекция, этиологическим началом которой, по всей вероятности, является увеличение численности микроорганизмов, присутствующих в репродуктивной системе клинически здоровых коров. Результаты нашего исследования предоставляют дополнительную информацию о механизмах развития хронического эндометрита у коров.

Ключевые слова: эндометрит; эндометрий; рубец; микробиом; дойные коровы

Для цитирования. Йылдырым, Е. А., Филиппова, В. А., Ильина, Л. А., Лаптев, Г. Ю., Дубровин, А. В., Заикин, В. А., Калиткина, К. А., Корочкина, Е. А., Ключникова, И. А., Пономарева, Е. С., Бражник, Е. А., Сметанникова, Т. С., & Тюрина, Д. Г. (2025). Состав и прогнозируемые функции эндометриального и рубцового микробиома дойных коров на фоне хронического эндометрита. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 26-49. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1042

Original article

COMPOSITION AND PREDICTED FUNCTIONS OF DAIRY CATTLE'S ENDOMETRIAL AND RUMEN MICROBIOME AGAINST THE BACKGROUND OF CHRONIC ENDOMETRITIS

E.A. Yildirim, V.A. Filippova, L.A. Ilina, G.Yu. Laptev, A.V. Dubrovin, V.A. Zaikin, K.A. Kalitkina, E.A. Korochkina, I.A. Klyuchnikova, E.S. Ponomareva, E.A. Brazhnik, T.S. Smetannikova, D.G. Tyurina

Background

Scientific basis. Endometritis is one of the most important causes of dairy cattle maleness, leading to significant economic losses in animal husbandry. The

composition of the microbiome of cattle has a direct impact on their reproductive health.

Purpose. Assess study purposes was to evaluate changes in the composition and predicted metabolic pathways of the endometrial and rumen microbiota of cattle with chronic endometritis.

Materials and methods. For the experiment two groups of cows were formed during the milking period (n = 3): control group I - clinically healthy, as well as with good reproduction indicators in the anamnesis of life, experimental group II - with chronic endometritis. The composition of the microbial community of endometrial scraping and rumen chyme was assessed using targeted NGS sequencing. Reconstruction and prediction of the functional content of gene and enzyme families were carried out using the PICRUSt2 software package (v.2.3.0).

Results. In the rumen of cattle of experimental group II, compared with control I, a decrease in the number of *Ruminococcus* sp. was noted and *Veillonella* sp. by 2.0 and 2.8 times, respectively, against the background of an increase in *Fusobacterium* sp. and bacteria of the order *Bacteroidales* – genera *Bacteroides* and *Porphyromonas* by 1,7-2,6 times ($P<0.05$).

A sharp (by 8.6%) increase in the number of *Fusobacterium* sp. ($P<0.05$) was noted in the endometrium of cattle of experimental group II compared with control I. In the endometrial microbiota, against the background of the disease, there was complete suppression of important pathways associated with the synthesis of vitamins, such as menaquinol-10 and biotin, as well as coenzyme Q10 (ubiquinols-7-10) associated with antioxidant activity compared to control group I ($P<0.05$).

Conclusion. Our findings indicate that chronic endometritis in cattle appear as a mixed infection, the etiological origin of which, in possibility, is an increase in the number of microorganisms present in the reproductive system of clinically healthy cows. The results of our study provide additional information about the mechanisms of development of chronic endometritis in cattle.

Keywords: endometritis; endometrium; rumen; microbiome; dairy cattle

For citation. Yildirim, E. A., Filippova, V. A., Ilina, L. A., Laptev, G. Yu., Dubrovin, A. V., Zaikin, V. A., Kalitkina, K. A., Korochkina, E. A., Klyuchnikova, I. A., Ponomareva, E. S., Brazhnik, E. A., Smetannikova, T. S., & Tyurina, D. G. (2025). Composition and predicted functions of dairy cattle's endometrial and rumen microbiome against the background of chronic endometritis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 26–49. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1042

Введение

Одним из наиболее важных аспектов успешного ведения молочного скотоводства является поддержание высокой репродуктивной эффективности в стаде. В практике животноводства материальные ресурсы, вкладываемые в выращивание коров, значительны. Считается, что для того, чтобы возместить эти расходы, корова должна отелиться минимум 6 раз [25]. В современных условиях ведения молочного скотоводства эндометриты коров (воспалительные заболевания слизистой оболочки матки, которые развиваются вскоре после отела) представляют огромную экономическую проблему [29]. Выбраковка животных по причине данных заболеваний доходит в некоторых хозяйствах от 24 до 72% [2]. Поэтому проблема профилактики и лечения эндометритов на сегодняшний день стоит очень остро. Самая большая опасность эндометритов состоит в том, что у многих переболевших животных существенно снижается репродуктивная функция: увеличивается сервис-период, снижается вероятность плодотворного осеменения (вплоть до яловости) и благополучного вынашивания плода. Большую опасность представляет переход острого эндометрита в хронический [3]. Хронический эндометрит может развиться также после абортальных эндометритов, субинволюции матки, при естественном и искусственном осеменении инфицированной спермой и др. [1]. На сегодняшний день хронический эндометрит варьирует в широких пределах - от 0,2 до 66,3% [4].

Последние данные свидетельствуют о том, что микробиом влагалища и матки важен для репродуктивного здоровья [17]. Становится все более очевидной связь вагинальной и маточной микробиоты с фертильностью, имплантацией эмбриона и преждевременными родами [8; 20].

Однако, несмотря на ряд проведенных исследований, эндометрит крупного рогатого скота до сих пор является предметом острых дискуссий относительно происхождения и патогенеза заболевания, а проблема его широкого распространения остается не решенной [5]. Не было выявлено исключительной связи определенного бактериального таксона с репродуктивными заболеваниями коров: не найдены конкретные возбудители эндометрита, разница между здоровыми и больными животными выявлена лишь в соотношении некоторых микроорганизмов [22]. Поэтому знание точного состава нормальной микробиоты и патогенов, а также их метаболического потенциала, является основой для поиска успешных средств профилактики и лечения, ведь посредством существующих на данный момент научных знаний в этой области проблему решить не удается.

С другой стороны, информация о возможных источниках заселения матки микробиотой довольно скудна и противоречива [6]. Вероятные, но в большей степени, не подтвержденные пути заселения бактерий, попадающих в репродуктивный тракт крупного рогатого скота, по мнению исследователей, это вертикальный путь восхождения – от матери, горизонтальный путь (из окружающей среды, такой, как фекальное загрязнение, подстилка через влагалище), гематогенный путь (через кровь) [6]. В связи с этим, представляет интерес изучение также и состава микробиоты рубца коров для выявления наличия функциональной системы «микробиота рубца-эндометрий».

Целью исследования было определение нормального состава и прогнозируемых функций микробного сообщества эндометрия коров, оценка микроорганизмов, участвующих в развитии хронического эндометрита, а также изучение состава и прогнозируемого метаболического потенциала микробиома химуса рубца клинически здоровых животных и с диагнозом «хронический эндометрит».

Материалы и методы исследования

Эксперимент был проведен на базе племенного завода под условным номером «1» Ленинградской области на коровах айрширской породы с уровнем продуктивности 9600 кг. Клинико-гинекологическому исследованию были подвергнуты животные-аналоги 2-ой и 3-ей лактации в период раздоя (80-100 дней после отела). Животные находились в одинаковых условиях на привязном содержании, имели одинаковый состав рациона. Рационы коров были рассчитаны автоматически с использованием программы «AMTS. Cattle.Professional» (https://agmodelsystems.com) в соответствии с общепринятыми требованиями. Критериями выбора животных было отсутствие лечения антибиотиками и гормональными препаратами или другими лекарственными препаратами и пробиотиками. Гинекологическая диспансеризация животных выполнялась в соответствии с «Методическими указаниями по проведению акушерско-гинекологической диспансеризации коров» (М., 1991). По результатам диспансеризации для эксперимента были отобраны 6 коров и сформировано две группы животных (n = 3): контрольная группа I - клинически здоровые, а также с хорошими показателями воспроизводства в анамнезе жизни, опытная группа II - с хроническим эндометритом.

Отбор биологического материала проводили с соблюдением условий асептики для обеспечения индивидуальности и предупреждения перекрестного контаминирования проб. Хвост животных покрывали стериль-

ной марлей, а промежность и вульву промывали водой с мылом до полного очищения, далее – обрабатывали антисептическим раствором. Сбор соскобов с поверхности эндометрия осуществляли с использованием цитобруша. Пробы химуса (30-50 г от каждой коровы) отбирали из верхней части вентрального мешка рубца вручную стерильным зондом с максимально возможным соблюдением условий асептики.

Образцы соскобов с эндометрия и химуса рубца для анализа микробиоты немедленно замораживали при -20°С и отправляли в лабораторию до проведения молекулярно-генетических исследований.

Тотальная ДНК из образцов эндометриальной и рубцовой микробиоты выделена с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («Thermo Fisher Scientific, Inc.», США) согласно прилагаемой инструкции. Была проведена оценка состава микробного сообщества соскобов с эндометрия и химуса рубца с помощью таргетного NGS-секвенирования. NGS-секвенирование проведено на платформе MiSeq («Illumina, Inc.», США) с применением праймеров для V3-V4 региона 16S рРНК. Прямой праймер: 5´- TC GTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGCCTACGGGNGGCWGC AG-5´; обратный праймер: 5´- GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAG AGACAGGACTACHVGGGTATCTAATCC-3´. Секвенирование проведено при помощи реагентов для подготовки приготовления библиотек Nextera® XT IndexKit (Illumina Inc., США), для очистки ПЦР-продуктов Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter Inc., США) и для проведения секвенирования MiSeq® ReagentKit v2 (500 cycle) (Illumina Inc., США).

Оценка динамики функционального потенциала микробиоты была проведена методами биоинформатики. Биоинформатический анализ данных NGS-секвенирования выполнен с помощью программного обеспечения Qiime2 ver. 2020.8 (https://docs.qiime2.org/2020.8/). После первоначального импорта последовательностей в формат Qiime2 парные строки прочтений выровнены. Далее последовательности отфильтрованы по качеству с использованием параметров настроек по умолчанию. Фильтрация шумовых последовательностей проведена методом Deblur. Для построения филогении de novo применен программный пакет MAFFT, далее - маскированное выравнивание последовательностей. Для анализа таксономии использована справочная база данных Silva 138 (https://www.arb-silva.de/documentation/release-138/). Реконструкция и прогнозирование функционального содержания семейств генов и ферментов проведены при помощи программного комплекса PICRUSt2 (v.2.3.0). Для анализа метаболических путей и ферментов использована база данных MetaCyc (https://metacyc.

org/). Прогнозируемые профили метаболических путей MetaCyc оценены по обилию ASV (Amplicon Sequence Variants).

Результаты исследования

По результатам NGS-секвенирования в составе микробиоты рубца и эндометрия коров было обнаружено 19 и 11 суперфилумов и филумов микроорганизмов соответственно (рис. 1). Среди которых суперфилум Bacteroidota и филум Firmicutes можно считать «доминантными» бактериями как рубца (соответственно 55,4±3,56 и 32,9±2,33 % в контрольной группе I и 63,3±4,75 и 23,9±1,98 % в опытной группе II), так и эндометрия (соответственно 63,7±3,91 и 28,2±2,16 % в контрольной группе I и 73,8±5,11 и 15,8±1,52 % в опытной группе II). Как в рубце, так и в эндометрии коров опытной группы II соотношение Firmicutes к Bacteroidetes было значительно ниже, чем в контрольной группе I (0,38 против 0,59 в рубце и 0,21 против 0,44 в эндометрии).

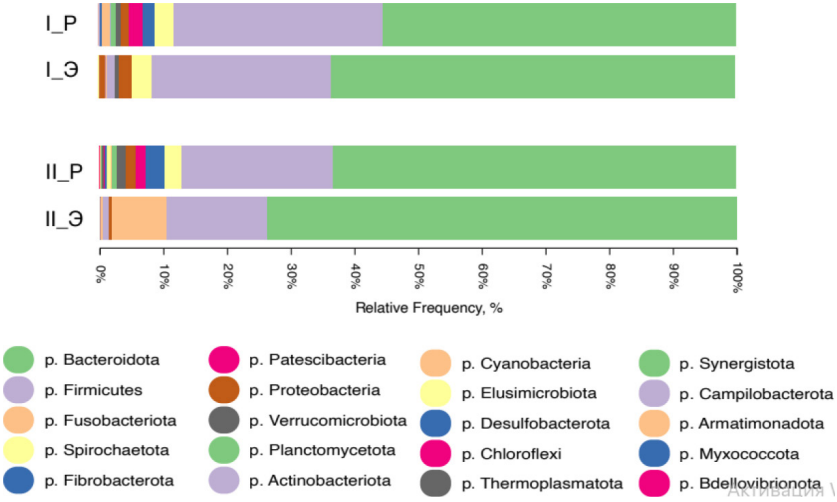


Рис. 1. Таксономический состав микробиоты эндометрия (Э) и химуса рубца (Р) у коров (*Bos taurus*) молочного направления айрширской породы на уровне филумов: I — контрольная группа I, II — опытная группа II (анализ методом NGS-секвенирования) (n=3).

Кроме того, в эндометрии коров опытной группы II по сравнению с контролем I значительно снизилось (P≤0,05) количество таких филумов, как Fibrobacterota и Proteobacteria - в 12,0 и 3,9 раза соответственно.

Содержание бактерий семейства Lactobacillaceae в эндометрии коров опытной группы II по сравнению с контролем I было неизменным (P≤0,05) и находилось на очень низком уровне 0,04±0,003% (рис. 2).

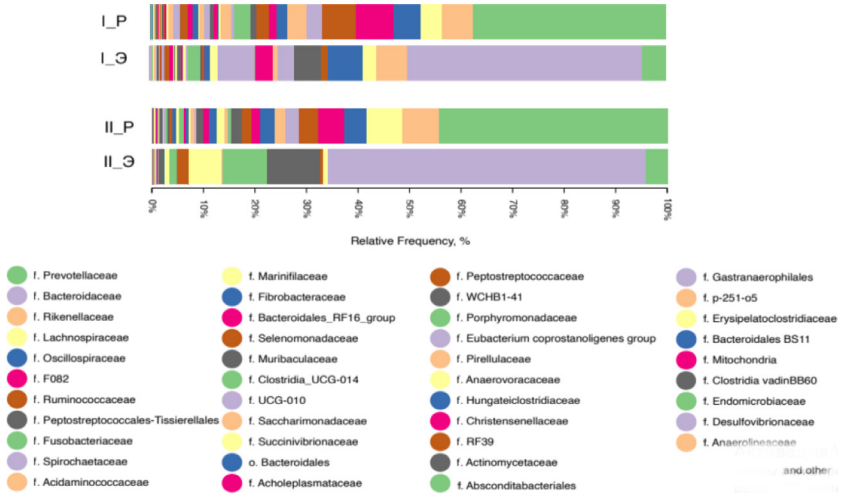


Рис. 2. Таксономический состав микробиоты эндометрия (Э) и химуса рубца (Р) у коров (*Bos taurus*) молочного направления айрширской породы на уровне семейств: I — контрольная группа I, II — опытная группа II (анализ методом NGS-секвенирования) (n=3).

На уровне родов в рубце коров опытной группы II по сравнению с контролем I было отмечено снижение численности *Ruminococcus* sp. и *Veillonella* sp. в 2,0 и 2,8 раза соответственно на фоне повышения *Fusobacterium* sp. и бактерий порядка Bacteroidales – родов *Bacteroides* и *Porphyromonas* в 1,7-2,6 раза (P≤0,05) (рис. 3).

Помимо этого, в эндометрии коров опытной группы II по сравнению с контролем I было отмечено резкое (на 8,6%) увеличение численности *Fusobacterium* sp. (P≤0,05) (рис. 3). В образцах эндометрия коров опытной группы II был обнаружен, отсутствующий в контроле I, вид *Porphyromonas levii*.

На следующем этапе исследования с использованием программного комплекса PICRUSt2 была проведена реконструкция и прогнозирование функционального содержания микробных сообществ химуса рубца и эндлметрия. В результате было аннотировано 310 предсказанных метаболических пути рубцового микробиома и 256 метаболических пути эндометриальной микробиоты. Уровень предсказанного функционального

потенциала 18 путей в химусе рубца и 33 путей в эндометрии изменялся (P≤0,05) у коров опытной группы II по сравнению с контролем I (рис. 4).

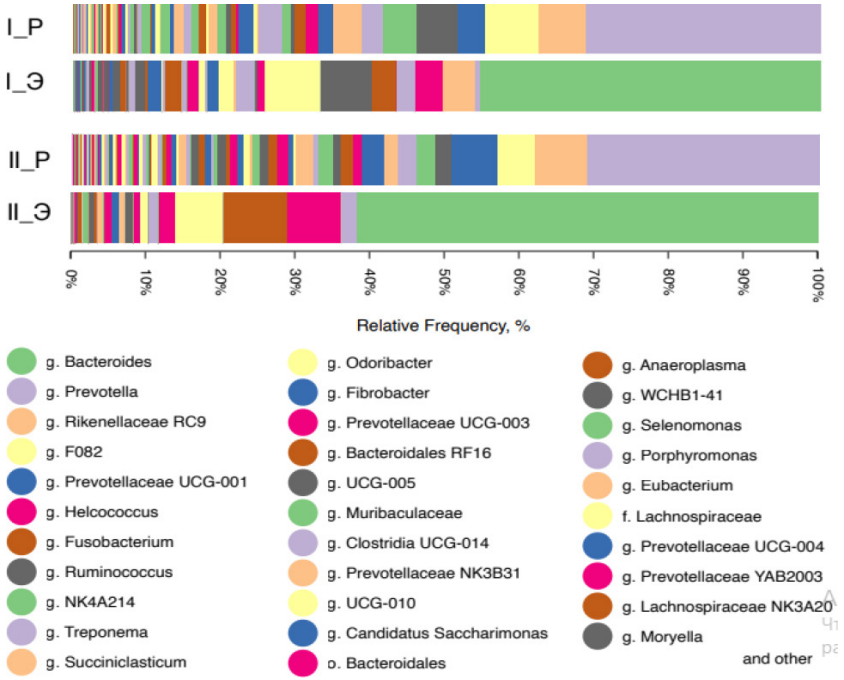


Рис. 3. Таксономический состав микробиоты эндометрия (Э) и химуса рубца (Р) у коров (*Bos taurus*) молочного направления айрширской породы на уровне родов: I — контрольная группа I, II — опытная группа II (анализ методом NGS-секвенирования) (n=3).

Наиболее выраженные (P≤0,05) изменения прогнозируемого метаболического потенциала микробиоты, а, именно, угнетение различных типов обмена веществ, у животных с хроническим эндометритом (группа II) по сравнению с клинически здоровыми (группа I) животными отмечено у микробиоты эндометрия, нежели рубца (рис. 4). У эндометриальной микробиоты на фоне заболевания происходило полное угнетение путей, связанных с синтезом витаминов, таких, как менахинол-10 и биотин, а также коэнзима Q10 (убихинолов-7-10), по сравнению контрольной группой I (P≤0,05). Параллельно в группе II наблюдалось появление нового пути PWY-6749 - биосинтез CMP-легионаминовой кислоты.

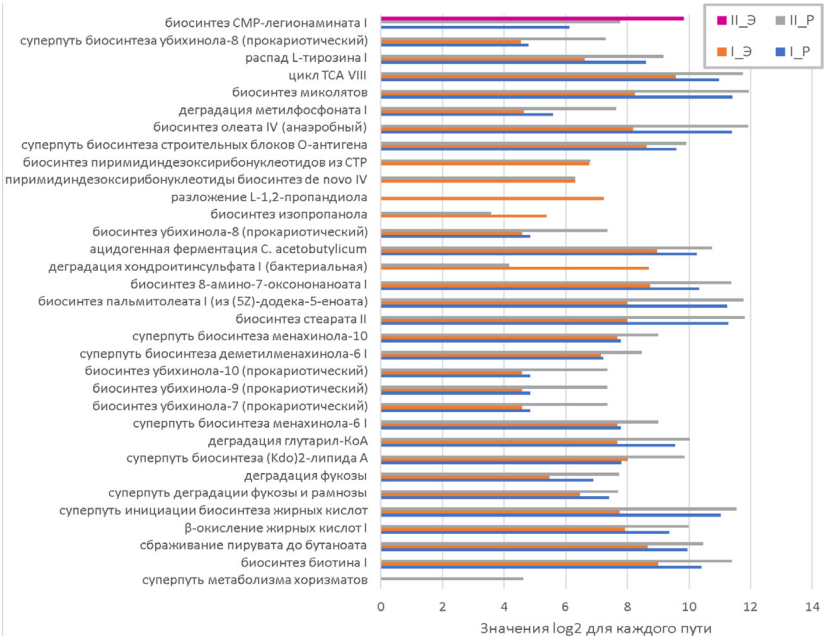


Рис. 4. Данные функциональной аннотации метаболических путей микробного сообщества рубца (Р) и эндометрия (Э) коров (*Bos taurus*) молочного направления айрширской породы: I — контрольная группа I, II — опытная группа II (анализ с использованием программного комплекса PICRUSt2 на основании данных метода NGS-секвенирования) (n=3).

Обсуждение

Недавние исследования, проведенные на человеке, позволили выявить потенциальную связь между определенными кишечными бактериями и заболеваниями репродуктивных путей, такими, как бактериальный вагиноз, эндометрит, рак шейки матки и эндометрия, миома матки и др. [9; 21; 23].

С нашей точки зрения, исследование микробиома коров в различных взаимосвязанных между собой биотопах может дать представление о путях улучшения их репродуктивного здоровья.

Проведя NGS-секвенирование химуса рубца и эндометрия клинически здоровых коров, а также с хроническим эндометритом, мы показали, что по сравнению с рубцом, эндометрий имеет несколько менее разнообразные микробные сообщества. Был выявлен интересный факт того, что как в рубце, так и в эндометрии коров на фоне хронического эндометрита из-

менялось соотношение Firmicutes к Bacteroidetes: оно было значительно ниже, чем в группе клинически здоровых животных. Полученные нами данные перекликаются с результатами предыдущих исследований. Так, по результатам, полученным Miranda-CasoLuengo с соавт. [22] низкое соотношение филума Firmicutes к Bacteroidetes в репродуктивной системе у крупного рогатого скота являлось ранним маркером развития послеродового эндометрита.

Полученные нами данные о снижении в эндометрии коров на фоне хронического эндометрита численности представителей филумов Fibrobacterota и Proteobacteria частично совпадают с результатами Galvao с соавт. [15]. Исследователи продемонстрировали, что риск возникновения эндометрита после отела увеличивается при возрастании численности Bacteroidetes и Fusobacteria при одновременном снижении содержания Proteobacteria и Tenericutes.

Обнаруженная нами низкая численность бактерий семейства Lactobacillaceae в эндометрии коров обеих групп также была ранее отмечена исследователями [6]. В отличие от человека [16], роль лактобактерий в репродуктивной системе коров пока точно не установлена. В цервико-вагинальных выделениях коров исследователи ранее также отмечали низкую долю *Lactobacillus* sp. [31] и широкое присутствие *Enterococcus* sp., *Streptococcus* sp. [31], что связывают с более высоким уровнем, чем у людей, pH во влагалище [6]. Другой причиной низкой доли лактобактерий в репродуктивной системе коров может являться повсеместный дисбиоз в условиях интенсивного животноводства [34].

Наблюдаемая картина снижения численности *Ruminococcus* sp. и *Veillonella* sp. на фоне повышения *Fusobacterium* sp. и бактерий порядка Bacteroidales – родов *Bacteroides* и *Porphyromonas* в рубце коров с хроническим эндометритом, ранее была описана для животных, страдающим лактатным ацидозом [26]. Дело в том, что в погоне за экономической выгодой жвачным животным традиционно скармливают повышенное, по сравнению с физиологической нормой, количество углеводов и пониженное – клетчатки, что снижает секрецию слюны и угнетает состав микробиома [35]. Накопление избыточного количества летучих жирных кислот и молочной кислоты вызывает падение pH в рубце и, как следствие, подострый рубцовый ацидоз [14]. Ряд исследователей показали, что ацидоз сопровождается повышением концентрации липополисахаридов (ЛПС) в рубце, что запускает воспалительную реакцию в рубцовом эпителии и нарушает рубцовый эпителиальный барьер. Это, в свою очередь, вызыва-

ет распространение ЛПС по периферии кровообращения, что приводит к системной воспалительной реакции [16]. Исследование [12] продемонстрировало, что ацидоз связан со снижением иммунитета эндометрия и увеличением экспрессии генов *TLR4* и *NF-κB*, связанных с воспалением.

Кроме того, в нашем исследовании, как и во многих, проведенных ранее [10; 33], показано, что этиологическим началом эндометрита, включая хронический, является возрастание доли отдельных видов, включая представителей рода *Fusobacterium*, также присутствующих в репродуктивной системе коров и в норме. Однако, в нашем эксперименте представители рода *Arcanobacterium* в исследованных пробах не выявлялись, хотя по мнению некоторых исследователей [27], увеличение доли в репродуктивной системе животных *Arcanobacterium pyogenes* - это наиболее важный бактериологический фактор риска для возникновения клинического эндометрита. Тем не менее, с субклиническим эндометритом, подобно нашим данным, касающимся хронического эндометрита, подобной связи авторам обнаружить не удалось.

В образцах эндометрия коров на фоне эндометрита нами был обнаружен, отсутствующий у клинически здоровых коров, вид *Porphyromonas levii*, связанный с некротическим вульвовагинитом дойных коров голштинской породы на ферме в Израиле [13], но не описанный ранее исследователями, как возбудитель эндометрита. В 2020 г. коллективом авторов [24] также была обнаружена совершенно новая бактерия - *Corynebacterium endometrii* sp. nov., связанная с возникновением эндометрита у коров. Выявление новых эпидемических форм, вероятно, ассоциировано с маскировкой патогенов вследствие межвидовой рекомбинации, возвратом ликвидированных инфекций вследствие заноса возбудителей из эпидемиологически неблагополучных регионов мира и др. Разница в результатах изучения микробиоты репродуктивной системы коров с эндометритом может быть связана и с методическими различиями - условиями эксперимента, такими как порода, стадия межотельного цикла, условиями содержания, климатом, уровнем выраженности воспалительного процесса или какими-то иными причинами [5].

Чтобы установить, были ли связаны сдвиги в составе микробиоты рубца и эндометрия у коров на фоне возникновения хронических эндометритов с изменениями в ее функциональности, мы провели реконструкцию и прогнозирование функционального содержания микробного сообщества с использованием программного комплекса PICRUSt2. Интересно, что наиболее значительные изменения прогнозируемого метаболического потенциала микробиоты, а, именно, угнетение различных типов обмена

веществ, у животных с хроническим эндометритом по сравнению с клинически здоровыми животными, отмечено у микробиоты эндометрия, нежели рубца. Обращает на себя внимание, что у эндометриальной микробиоты на фоне заболевания происходило полное ингибирование важных путей, связанных с синтезом витаминов, таких, как менахинол-10 и биотин, а также коэнзима Q10 (убихинолов-7-10), связанного с антиоксидантной активностью [11] по сравнению с клинически здоровыми животными.

Появление нового пути, связанного с биосинтезом CMP-легионаминовой кислоты на фоне хронического эндометрита свидетельствует об усилении процессов патогенеза. Дело в том, что CMP-легионаминовая кислота является частью разнообразного семейства сиаловых кислот α-кетосахаров [28]. Представители этого семейства опосредуют или модулируют многие клеточные взаимодействия, включая прокариот. Многие патогенные микроорганизмы могут выводить, связывать или катаболизировать сиаловые кислоты, что помогает им избегать иммунных реакций хозяина и проникать в клетки. Ранее исследование прогнозируемых метаболических путей микробиома эндометрия клинически здоровых чистокровных чилийских кобыл [32] выявило низкое количество путей, связанных с факторами вирулентности, что совпадает с результатами наших исследований.

Заключение

Полученные нами данные указывают на то, что хронический эндометрит у коров проявляется как смешанная инфекция, этиологическим началом которой, по всей вероятности, является увеличение численности микроорганизмов, присутствующих в репродуктивной системе клинически здоровых коров. Результаты нашего исследования предоставляют дополнительную информацию о механизмах развития хронического эндометрита у коров, позволяя более точно оценить вклад рубцовой и эндометриальной микробиоты и ее прогнозируемого метаболического потенциала в заболеваемость и пополняя базу основ стратегии профилактики данного заболевания. Выявленный дисбиоз микробиома рубца на фоне хронического эндометрита мог иметь связь с продукцией стероидных гормонов, включая эстроген, что могло привести к системным нарушениям [7]. Показано [30], что взаимосвязь в организме уровня эстрогена и микробиома пищеварительной системы имеет физиологические и клинические последствия. Ранее продемонстрировано, что половые стероиды (такие, как эстроген) модулируют количество антимикробных агентов (таких, как дефензины и ингибитор секреторной лейкоцитарной протеазы в эндоме-

трии) [19], изменение уровня эстрогена может привести к внутриматочной микробной инфекции и / или воспалению тканей, приводящему к дисбактериозу и хроническому эндометриту.

Обнаружение нами в эндометрии животных с хроническим эндометритом вида *Porphyromonas levii*, не связываемого ранее исследователями с возникновением данного заболевания, а также выявленный нами впервые факт угнетения на фоне заболевания прогнозируемых метаболических путей, связанных с синтезом витаминов и коэнзима Q10, - убеждают в необходимости дальнейшего изучения проблемы и поиска адекватного лечения.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ №24-16-00131 «Разработка нового биотехнологического подхода к профилактике и лечению эндометрита у коров».

Список литературы / References

1. Белик, С. В., Аль-Рикаби, З. Г. К., & Лободин, К. А. (2014). Эффективность применения НПВС для профилактики эмбриональной смертности у молочных коров. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*, (3), 25-26.
2. Belik, S. V., Al-Rikabi, Z. G. K., & Lobodin, K. A. (2014). Effektivnost primeneniya NPVS dlya profilaktiki embrional'noy smertnosti u molochnykh korov [The effectiveness of NSAIDs for preventing embryonic death in dairy cows]. *Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinariy*, *(3)*, 25-26.
3. Вахитов, И. И., Багманов, М. А., Шаев, Р. К., & Хасанов, А. Р. (2012). Изучение этиологии и распространения послеродовых эндометритов у коров в хозяйствах Республики Татарстан. *Ученые записки КГАВМ им. Н. Э. Баумана*, (3), 229-233.
4. Vakhitov, I. I., Bagmanov, M. A., Shaev, R. K., & Khassanov, A. R. (2012). Izucheniye etiologii i rasprostraneniya poslerodovykh endometritov u korov v khozyaistvakh Respubliki Tatarstan [Study of the etiology and spread of postpartum endometritis in cows in farms of the Republic of Tatarstan]. *Uchenyye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny imeni N.E. Baymana*, *(3)*, 229-233.
5. Карташов, С. Н., Клименко, Р. В., Карташова, Е. В., & Грибов, К. П. (2010). Гормональные нарушения в этиологии хронических эндометритов у коров. *Ветеринария и кормление*, (4), 22-30.

6. Kartashov, S. N., Klimenko, R. V., Kartashova, E. V., & Gribov, K. P. (2010). Gormonal'nyye narusheniya v etiologii khronicheskikh endometritov u korov [Hormonal disorders in the etiology of chronic endometritis in cows]. *Veterinariya i kormleniye*, *(4)*, 22-30.
7. Коба, И. С., Решетка, М. Б., & Дубовикова, М. С. (2016). Распространение острых и хронических эндометритов у коров в сельскохозяйственных организациях Краснодарского края. *Вестник АГАУ*, (2), 103-106.
8. Koba, I. S., Reshetka, M. B., & Dubovikova, M. S. (2016). Rasprostraneniye ostrykh i khronicheskikh endometritov u korov v sel'skokhozyaistvennykh organizatsiyakh Krasnodarskogo kraya [Prevalence of acute and chronic endometritis in cows at agricultural organizations in the Krasnodar region]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, *(2)*, 103-106.
9. Adnane, M., & Chapwanya, A. (2022). Role of genital tract bacteria in promoting endometrial health in cattle. *Microorganisms*, *10*(11), 2238. https://doi.org/10.3390/microorganisms10112238
10. Appiah, M. O., Wang, J., & Lu, W. (2020). Microflora in the reproductive tract of cattle: A review. *Agriculture*, *10*(6), 232. https://doi.org/10.3390/agriculture10060232
11. Baker, J. M., Al-Nakkash, L., & Herbst-Kralovetz, M. M. (2017). Estrogen–gut microbiome axis: Physiological and clinical implications. *Maturitas*, *103*, 45–53. https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.06.025
12. Benner, M., Ferwerda, G., Joosten, I., & van der Molen, R. G. (2018). How uterine microbiota might be responsible for a receptive, fertile endometrium. *Human Reproduction Update*, *24*, 393–415. https://doi.org/10.1093/humupd/dmy012
13. Bodelon, C., Madeleine, M. M., Johnson, L. G., Du, Q., Galloway, D. A., Malkki, M., et al. (2014). Genetic variation in the TLR and NF-kappaB pathways and cervical and vulvar cancer risk: A population-based case-control study. *International Journal of Cancer*, *134*(2), 437–444. https://doi.org/10.1002/ijc.28364
14. Carneiro, L. C., Cronin, J. G., & Sheldon, I. M. (2016). Mechanisms linking bacterial infections of the bovine endometrium to disease and infertility. *Reproductive Biology*, *16*, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.repbio.2016.04.003
15. Cirilli, I., Damiani, E., Dludla, P. V., Hargreaves, I., Marcheggiani, F., Millichap, L. E., Orlando, P., Silvestri, S., & Tiano, L. (2021). Role of coenzyme Q10 in health and disease: An update on the last 10 years (2010–2020). *Antioxidants*, *10*(8), 1325. https://doi.org/10.3390/antiox10081325
16. Eckel, E. F., & Ametaj, B. N. (2016). Invited review: Role of bacterial endotoxins in the etiopathogenesis of periparturient diseases of transition dairy cows.

Journal of Dairy Science, *99*, 5967–5990. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10727

17. Elad, D., Friedgut, O., Alpert, N., Stram, Y., Lahav, D., Tiomkin, D., Avramson, M., Grinberg, K., & Bernstein, M. (2004). Bovine necrotic vulvovaginitis associated with *Porphyromonas levii*. *Emerging Infectious Diseases*, *10*(3), 505–507. https://doi.org/10.3201/eid1003.020592
18. Fu, Y., He, Y., Xiang, K., Zhao, C., He, Z., Qiu, M., Hu, X., & Zhang, N. (2022). The role of rumen microbiota and its metabolites in subacute ruminal acidosis (SARA)-induced inflammatory diseases of ruminants. *Microorganisms*, *10*, 1495. https://doi.org/10.3390/microorganisms10081495
19. Galvão, K. N., Bicalho, R. C., & Jeon, S. J. (2019). Symposium review: The uterine microbiome associated with the development of uterine disease in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *102*, 11786–11797. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16654
20. Gholiof, M., Adamson-De Luca, E., & Wessels, J. M. (2022). The female reproductive tract microbiotas, inflammation, and gynecological conditions. *Frontiers in Reproductive Health*, *4*, 963752. https://doi.org/10.3389/frph.2022.963752
21. Herath, S., Lilly, S. T., Fischer, D. P., Williams, E. J., Dobson, H., Bryant, C. E., & Sheldon, I. M. (2009). Bacterial lipopolysaccharide induces an endocrine switch from prostaglandin F2α to prostaglandin E2 in bovine endometrium. *Endocrinology*, *150*, 1912–1920. https://doi.org/10.1210/en.2008-1510
22. Khafipour, E., Krause, D., & Plaizier, J. (2009). A grain-based subacute ruminal acidosis challenge causes translocation of lipopolysaccharide and triggers inflammation. *Journal of Dairy Science*, *92*, 1060–1070. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1389
23. Khan, K. N., Fujishita, A., Kitajima, M., Hiraki, K., Nakashima, M., & Masuzaki, H. (2014). Intra-uterine microbial colonization and occurrence of endometritis in women with endometriosis. *Human Reproduction*, *29*(11), 2446–2456. https://doi.org/10.1093/humrep/deu222
24. Koedooder, R., Singer, M., Schoenmakers, S., Savelkoul, P. H. M., Morré, S. A., de Jonge, J. D., et al. (2019). The vaginal microbiome as a predictor for outcome of in vitro fertilization with or without intracytoplasmic sperm injection: A prospective study. *Human Reproduction*, *34*, 1042–1054. https://doi.org/10.1093/humrep/dez065
25. Łaniewski, P., Ilhan, Z. E., & Herbst-Kralovetz, M. M. (2020). The microbiome and gynaecological cancer development, prevention and therapy. *Nature Reviews Urology*, *17*(4), 232–250. https://doi.org/10.1038/s41585-020-0286-z
26. Miranda-CasoLuengo, R., Lu, J., Williams, E. J., Miranda-CasoLuengo, A. A., Carrington, S. D., Evans, A. C. O., & Meijer, W. G. (2019). Delayed differentiation of vaginal and uterine microbiomes in dairy cows developing postpartum endometritis. *PLoS ONE*, *14*, e0200974. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200974

27. Mirmonsef, P., Gilbert, D., Zariffard, M. R., Hamaker, B. R., Kaur, A., Landay, A. L., et al. (2011). The effects of commensal bacteria on innate immune responses in the female genital tract. *American Journal of Reproductive Immunology*, *65*(3), 190–195. https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.2010.00943.x
28. Mogheiseh, A., Ahmadi, M. R., Nazifi, S., Mirzaei, A., & Fallah, E. (2020). Destination of corpus luteum in postpartum clinical endometritis cows and factors affecting self-recovery. *Veterinary Animal Science*, *9*, 100067. https://doi.org/10.1016/j.vasci.2020.100067
29. Moorey, S. E., & Biase, F. H. (2020). Beef heifer fertility: Importance of management practices and technological advancements. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *11*, 97. https://doi.org/10.1186/s40104-020-00503-9
30. Plaizier, J. C., Li, S., Tun, H. M., & Khafipour, E. (2016). Nutritional models of experimentally-induced subacute ruminal acidosis (SARA) differ in their impact on rumen and hindgut bacterial communities in dairy cows. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 2128. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02128
31. Prunner, I., Wagener, K., Pothmann, H., Ehling-Schulz, M., & Drillich, M. (2014). Risk factors for uterine diseases on small- and medium-sized dairy farms determined by clinical, bacteriological, and cytological examinations. *Theriogenology*, *82*, 857–865. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.015
32. Schoenhofen, I. C., Vinogradov, E., Whitfield, D. M., Brisson, J. R., & Logan, S. M. (2009). The CMP-legionaminic acid pathway in Campylobacter: Biosynthesis involving novel GDP-linked precursors. *Glycobiology*, *19*(7), 715–725. https://doi.org/10.1093/glycob/cwp039
33. Sheldon, I. M., Lewis, G. S., LeBlanc, S., & Gilbert, R. O. (2006). Defining postpartum uterine disease in cattle. *Theriogenology*, *65*, 1516–1530. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.08.021
34. Sommer, F., & Bäckhed, F. (2013). The gut microbiota—masters of host development and physiology. *Nature Reviews Microbiology*, *11*(4), 227–238. https://doi.org/10.1038/nrmicro297
35. Swartz, J. D., Lachman, M., Westveer, K., O'Neill, T., Geary, T., Kott, R. W., Berardinelli, J. G., Hatfield, P. G., Thomson, J. M., Roberts, A., & Yeoman, C. J. (2014). Characterization of the vaginal microbiota of ewes and cows reveals a unique microbiota with low levels of lactobacilli and near-neutral pH. *Frontiers in Veterinary Science*, *1*, 19. https://doi.org/10.3389/fvets.2014.00019
36. Thomson, P., Pareja, J., Nuñez, A., Santibáñez, R., & Castro, R. (2022). Characterization of microbial communities and predicted metabolic pathways in the uterus of healthy mares. *Open Veterinary Journal*, *12*(6), 797–805. https://doi.org/10.5455/OVJ.2022.v12.i6.3

37. Williams, E. J., Fischer, D. P., Pfeiffer, D. U., England, G. C. W., Noakes, D. E., Dobson, H., et al. (2005). Clinical evaluation of postpartum vaginal mucus reflects uterine bacterial infection and the immune response in cattle. *Theriogenology*, *63*, 102–117. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.03.017
38. Zangl, I., Pap, I. J., Aspöck, C., & Schüller, C. (2019). The role of *Lactobacillus* species in the control of *Candida* via biotrophic interactions. *Microbial Cell*, *7*(1), 1–14. https://doi.org/10.15698/mic2020.01.702
39. Zeng, J., Lv, J., Duan, H., Yang, S., Wu, J., Yan, Z., Zhang, R., Hu, J., & Zhang, Y. (2023). Subacute ruminal acidosis as a potential factor that induces endometrium injury in sheep. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(2), 1192. https://doi.org/10.3390/ijms24021192

ВКЛАД АВТОРОВ

Йылдырым Е.А.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
Филиппова В.А.: лабораторные исследования и интерпретация результатов.
Ильина Л.А., Заикин В.А., Ключникова И.А., Калиткина К.А.: лабораторные исследования.
Лаптев Г.Ю.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.
Дубровин А.В., Корочкина Е.А.: отбор образцов, лабораторные исследования.
Пономарева Е.С., Бражник Е.А.: биоинформатические исследования.
Сметанникова Т.С.: постановка научно-хозяйственного эксперимента.
Тюрина Д.Г.: общее руководство направлением исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Elena A. Yildirim: general management of the research direction, interpretation of the results.
Valentina A. Filippova: laboratory studies, interpretation of results, preparation of the text of the article.
Larisa A. Ilina, Vasiliy A. Zaikin, Irina A. Klyuchnikova, Ksenia A. Kalitkina: laboratory studies.
Georgiy Yu. Laptev: general management of the research direction, interpretation of results.
Andrey V. Dubrovin, Elena A. Korochkina: sampling, laboratory studies.
Ekaterina S. Ponomareva, Evgeniy A. Brazhnik: bioinformatics research.
Tatyana S. Smetannikova: setting up a scientific and economic experiment.
Daria G. Tyurina: general management of the research direction.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Йылдырым Елена Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
deniz@biotrof.ru

Филиппова Валентина Анатольевна, заведующий лабораторией кафедры крупного животноводства
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
filippova@biotrof.ru

Ильина Лариса Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
ilina@biotrof.ru

Лаптев Георгий Юрьевич, доктор биологических наук; директор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
georg-laptev@rambler.ru

Дубровин Андрей Валерьевич, кандидат ветеринарных наук, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
dubrovin@biotrof.ru

Заикин Василий Александрович, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
dfcx@biotrof.ru

Калиткина Ксения Андреевна, аспирант факультета зооинженерии и биотехнологий
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
kalitkina.xeniya@gmail.com

Корочкина Елена Александровна, доцент кафедры акушерства и оперативной хирургии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»
ул. Черниговская, 5, г. Санкт-Петербург, 196084, Российская Федерация
e.kora@mail.ru

Ключникова Ирина Александровна, магистрант факультета зооинженерии и биотехнологий
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»

Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
klyuchnikova.irinaa@yandex.ru

Пономарева Екатерина Сергеевна, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
kate@biotrof.ru

Бражник Евгений Александрович, контролер по качеству
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
bea@biotrof.ru

Сметанникова Татьяна Сергеевна, главный зоотехник по племенной работе
Акционерное общество «Гатчинское»
ул. 30 лет Победы, 1, д. Большие Колпаны, р-н Гатчинский, Ленинградская область, 188349, Российская Федерация
gatchinskoe.zao@mail.ru

Тюрина Дарья Георгиевна, главный биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19/1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
tiurina2@biotrof.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Yildirim, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Livestock Husbandry
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

deniz@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5846-5105

Valentina A. Filippova, Head of the Laboratory of the Department of Large Animal Husbandry
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
filippova@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8789-9837

Larisa A. Ilina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
ilina@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2789-4844

Georgy Yu. Laptev, Doctor of Biological Sciences; Director
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
georg-laptev@rambler.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8795-6659

Andrey V. Dubrovin, Candidate of Veterinary Sciences, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ Ltd.
19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
dubrovin@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8424-4114

Vasily A. Zaikin, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ Ltd.

19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
dfcx@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8029-9955

Ksenia A. Kalitkina, Graduate Student of the Faculty of Animal Engineering and Biotechnology
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
kalitkina.xeniya@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9541-6839

Elena A. Korochkina, Associate Professor of Obstetrics and Operative Surgery
Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine
5, Chernihiv Str., St. Petersburg, 196084, Russian Federation
e.kora@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7011-4594

Irina A. Klyuchnikova, master's student at the Faculty of Animal Engineering and Biotechnology
St. Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ Ltd.
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
klyuchnikova.irinaa@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6484-1235

Ekaterina S. Ponomareva, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ Ltd.
19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
kate@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4336-8273

Evgeny A. Brazhnik, Quality Controller
BIOTROF+ Ltd.
19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
bea@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2178-9330

Tatyana S. Smetannikova, Head Animal Breeding Specialist
Incorporated society «Gatchinskoye»
1, 30 let Pobedy Str., Bolshye Kolpany, Gatchinsky district, 188349, Russian Federation
gatchinskoe.zao@mail.ru

Daria G. Tyurina, Head Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ Ltd.
19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
tiurina2@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9001-2432

Поступила 15.05.2024 Received 15.05.2024
После рецензирования 01.07.2024 Revised 01.07.2024
Принята 07.08.2024 Accepted 07.08.2024

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1091 **EDN: RMMLRB**
УДК 581.1:57.043

Научная статья

ГЕНЕРАЦИЯ СУПЕРОКСИД АНИОН-РАДИКАЛА В ЛИСТЬЯХ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

О.В. Бледных, Н.А. Роденко, В.А. Глущенков, Ю.В. Дегтева

Аннотация

Обоснование. В настоящее время научным сообществом накоплен большой объём данных освещающих действие на биологические объекты переменных, постоянных и импульсных магнитных полей (ИМП) низкой напряжённости и индукции порядка B=0,1 Тл как фактора, запускающего окислительный стресс и приводящего к развитию через ряд биохимических реакций ответа на их воздействие. Действие же импульсных магнитных полей высокой напряженности и индукции от 0,1 Тл и выше на биологические объекты на сегодняшний день практически не изучены.

Цель исследования – изучить влияние импульсных магнитных полей высокой напряженности индукцией от 0,1 Тл на генерацию супероксид анион-радикала в листьях пшеницы мягкой *Triticum avestivum* L. как ответной реакции на данное воздействие.

Материалы и методы. Объектами исследования служили девятисуточные зеленые и этиолированные ростки пшеницы мягкой *Triticum avestivum* L. выращенные на дистиллированной воде. Обработка импульсным магнитным полем проводилась на специально сконструированной экспериментальной установке МИУ-БИО-5 с использованием многовиткового индуктора для обработки биообъектов в пробирках объемом 25 мл. Генерацию супероксид

анион-радикала регистрировали спектрофотометрическим методом при длине волны 480 нм, на основании донорно-акцепторной реакции окисления адреналина до адренохрома.

Результаты. В исследовании показано, что в результате воздействия импульсного магнитного поля высокой напряжённости на зеленые ростки пшеницы мягкой Triticum avestivum L. после 60 минутной выдержки при искусственном освещении 1600 лк, генерация супероксид анион-радикала при действии ИМП индукцией В=0,53 Тл, В=3,71 Тл и В-5,21 Тл равнялась контрольному значению 2,17±0,14 μМ, а при воздействии ИМП индукцией В=2,21 Тл отмечено снижение генерации до 1,69±0,14 μМ/г, что ниже контрольного значения в 1,3 раза. Во втором эксперименте с этилированными ростками после 60 минутной выдержки в темноте, наблюдалось снижение генерации супероксид анион-радикала по отношению к контролю равного 1,53±0,21 μМ/г: при воздействии ИМП индукцией В=0,53 Тл генерация составила 1,21±0,14 μМ/г, что меньше контроля в 1,3 раза; при воздействии ИМП индукцией В=2,21 Тл генерация составила 1,12±0,16 μМ/г, что меньше контроля в 1,4 раза; при воздействии ИМП индукцией В=3,71 Тл генерация составила 1,21±0,24 μМ/г, что меньше контроля в 1,3 раза; при воздействии ИМП индукцией В=5,21 Тл генерация составила 1,13±0,08 μМ/г, что меньше контроля в 1,4 раза. Так же был проведен третий эксперимент с целью установить зависимость генерации супероксид анион-радикала зелеными ростками от времени после воздействия ИМП индукцией В=2,21 Тл при дневном освещении 800 лк. В ходе третьего эксперимента был получен следующий результат: до воздействия ИМП генерация супероксид анион-радикала составляла 1,69±0,24 μМ/г, через 15 минут после воздействия отмечено усиление генерации до 1,77±0,29 μМ/г, еще через 15 минут значение генерации оставалось высоким и равнялось 1,77±0,16 μМ/г но отмечалась тенденция к снижению, через 60 минут отмечено снижение генерации до значения 1,61±0,21 μМ/г, а через 24 часа значение генерации вернулось к контрольному 1,69±0,14 μМ/г. Результат третьего эксперимента показывает что ИМП индукцией В=2,21 Тл может выступать как фактор приводящий к развитию окислительного стресса у растений. Но за счёт запуска антиоксидантных механизмов через час после воздействия развившийся окислительный стресс нивелируется.

Заключение. Полученные в ходе трех экспериментов данные позволили выдвинуть гипотезу, что ИМП оказывает воздействие на растения как стресс-фактор провоцирующий усиление генерации супероксид анион-радикала, а также приводит к активации антиоксидантной системы защиты растений и к её усилению. Для подтверждения выдвинутой гипотезы предлагается

провести ряд дополнительных экспериментов с целью установить влияние ИМП на генерацию пероксида водорода, и активность фермента супероксиддисмутазы.

Ключевые слова: пшеница мягкая; Triticum avestivum L.; зеленые ростки; этиолированные ростки; растения; супероксид анион-радикал; импульсное магнитное поле высокой напряжённости; ИМП; индукция; индуктор; экспериментальная установка; генерация; гипотеза

Для цитирования. Бледных, О. В., Роденко, Н. А., Глущенков, В. А., & Дегтева, Ю. В. (2025). Генерация супероксид анион-радикала в листьях пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) под воздействием импульсного магнитного поля высокой напряженности. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 50-69. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1091

Original article

GENERATION OF SUPEROXIDE ANION-RADICAL IN LEAVES OF SOFT WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) UNDER THE ACTION OF A HIGH-INTENSITY PULSED MAGNETIC FIELD

O.V. Blednyh, N.A. Rodenko, V.A. Glushchenkov, Ju.V. Degteva

Background

Currently, the scientific community has accumulated a large amount of data covering the action on biological objects of alternating, constant and pulsed magnetic fields (PMF) of low intensity and induction of the order of B=0.1 Tl as a factor that triggers the oxidative stress and through a series of biochemical reactions leads to the development of a response to the effect of these fields. But the action of high-intensity pulsed magnetic fields with induction from 0.1Tl and higher on biological objects has not been studied to date.

The **purpose** of this study is to study the effect of high-intensity pulsed magnetic fields with induction from 0.1 Tl on the generation of superoxide anion-radicals in leaves of soft wheat Triticum avestivum L. as a response to this action.

Materials and methods. The objects of the study were nine-day-old green and etiolated wheat sprouts of soft wheat *Triticum avestivum* L., grown in distilled water. Processing by a pulsed magnetic field was carried out on a specially designed experimental installation MIU-BIO-5 using a multi-turn inductor for treatment of biological objects in 25 ml test-tubes. The generation of superoxide anion-radicals

was recorded spectrophotometrically at a wavelength of 480 nm, based on the donor-acceptor reaction of oxidation of adrenaline to adrenochrome.

Results. The study showed that as a result of exposure to a high-intensity pulsed magnetic field, hereinafter referred as PMF, on green sprouts of soft wheat *Triticum avestivum* L. after a 60-minute exposure under artificial lighting of 1600 lux, the generation of superoxide anion-radical under the action of the PMF with induction of B=0.53 Tl, B=3.71 Tl and B=5.21 Tl was equal to the control value of 2.17±0.14 μM/g, and under the action of the PMF with induction of B=2.21 Tl, a decrease in the generation to 1.69±0.14 μM/g was noted, which is 1.3 times lower than the control value. In the second experiment with etiolated sprouts, after exposure in the dark, the following decreases in the generation of superoxide anion-radical were observed in relation to the control value equal to 1.53±0.21 μM/g: when exposed to a PMF with induction of B=0.53 Tl, the generation was 1.21±0.14 μM/g, which is 1.3 times less than the control; when exposed to a PMF with induction of 2.21 Tl, the generation was 1.12±0.16 μM/g, which is 1.4 times less than the control; when exposed to a PMF with induction of B=3.71 Tl, the generation was 1.21±0.24 μM/g, which is 1.3 times less than the control; when exposed to a PMF with induction of B=5.21 Tl, the generation was 1.13±0.08 μM/g, which is 1.4 times less than the control. A third experiment was also conducted to establish the dependence of the value of generation of superoxide anion-radical by green sprouts on time after exposure to the pulsed magnetic field with induction of B=2.21 Tl under daylight of 800 lux. During the third experiment, the following result was obtained: before exposure to the PMF, generation of superoxide anion-radical was 1.69 ±0.24 μM/g; 15 minutes after exposure, an increase in generation was noted to 1.77±0.29 μM/g; after another 15 minutes the generation value remained high and equal to 1.77±0.16 μM/g but there was a tendency towards a decrease; after 60 minutes a decrease in generation to 1.61±0.21 μM/g; and after 24 hours the generation value returned to the control value of 1.69±0.14 μM/g. The result of the third experiment shows that the PMF with induction of B=2.21 Tl can act as a factor leading to development of oxidative stress in plants. But an hour after exposure, the developed oxidative stress is leveled out due by triggering of antioxidant mechanisms.

Conclusion. The data obtained in the course of three experiments allowed us to put forward the hypothesis that the PMF affects plants as a stress factor, provoking increased generation of superoxide anion-radical and also leads to the activation of the antioxidant system of defense of plants and its strengthening. To confirm the hypothesis put forward, it is proposed to conduct a number of additional experiments with the aim to establish the effect of a PMF on the generation of hydrogen peroxide and the activity of superoxide dismutase enzyme.

Key words: soft wheat; Triticum avestivum L.; green sprouts; etiolated sprouts; plants; superoxide anion-radical; high-intensity pulsed magnetic field; PMF; induction; inductor; experimental installation; generation; hypothesis

For citation. Blednyh, O. V., Rodenko, N. A., Glushchenkov, V. A., & Degteva, J. V. (2025). Generation of superoxide anion-radical in leaves of soft wheat (*Triticum aestivum* L.) under the action of a high-intensity pulsed magnetic field. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 50–69. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1042

Низкочастотное магнитное поле низкой напряжённости является проникающим агентом, оказывающее воздействие на системные механизмы, а также структурные и метаболические процессы на уровне клеток организма в целом [18]. Клеточных сенсоров, воспринимающих сигналы об изменении характеристик магнитного поля и преобразующих их в реакции клеток на организменном уровне, за редким исключением не выявлены [15].

В настоящие время широко обсуждается воздействие переменных, постоянных и импульсных магнитных полей (ИМП) индукции порядка B=0,1 Тл на биомембраны, в частности, на работу протонного насоса и липидный состав мембран [4; 12], а также их действие на свободнорадикальные процессы, проходящие в мембранах клеток и органелл, приводящих к развитию окислительного стресса через усиление генерации активных форм кислорода (АФК) [5; 11; 20; 21] и изменение активности некоторых ферментов: каталазы, супероксиддисмутазы (СОД), пероксидазы, глутатионредуктазы, глутатионтрансферазы [6; 10]. Также отмечалось, что активность клеток под действием магнитных полей изменяется вследствие резонансных явлений, происходящих в важных ионах таких как кальций, калий и другие [13; 22].

Исследования воздействия импульсных магнитных полей высокой напряжённости с временем воздействия порядка 2-5 мсек. при индукции B> 0,1 Тл на физическое и химическое состояние мембран и активность ферментов не проводились.

Цель настоящей работы является изучение влияние импульсных магнитных полей высокой напряженности индукцией от 0,1 Тл на генерацию АФК в частности супероксид анион-радикала в листьях пшеницы мягкой *Triticum avestivum* L. как ответной реакции на данное воздействие.

Материалы и методы

Исследования проводились лабораторией «Биоинженерии» СамНЦ РАН, во время которых изучалась ответная реакция растений на воздей-

ствие импульсного магнитного поля высокой напряжённости (индукции) в форме генерации супероксид анион-радикала.

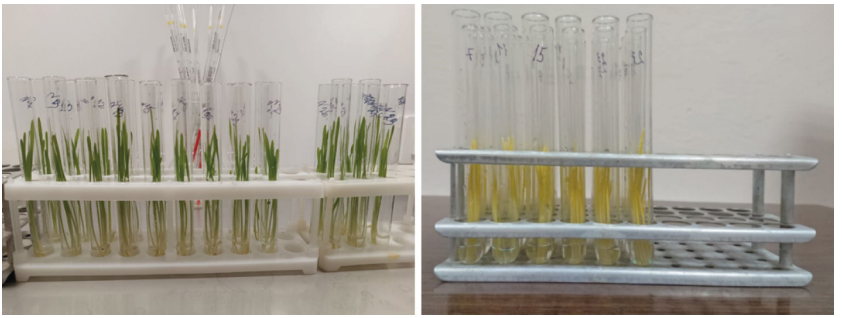
Для эксперимента в лабораторных условиях были выращены девятисуточные ростки пшеницы мягкой *Triticum aestivum* L., из заранее пророщенных в чашках Петри по стандартной методике с модификацией семян (4500 шт.) [2].

Модификация заключалась в предварительной промывке семян дистиллированной водой, с последующим замачиванием на 30 минут в 2 % растворе $KMnO_4$ для дезинфекции, затем семена высушивались при комнатной температуре (20 ºС) между листами фильтровальной бумаги в течении часа и переносились в заранее прогретые до температуры 30 ºС в термостате (ТВ – 20ПЗ «К», Россия) чашки Петри на смоченный дистиллированной водой слой (фильтровальная бумага – стерильная вата – фильтровальная бумага) в количестве 1500 шт./чашка, слой семян накрывался увлажнённым отрезком стерильной марли. Проращивание семян проводилось в течении суток в термостате при температуре 24 ºС с постоянной циркуляцией воздуха в нем.

Через сутки был произведен осмотр чашек Петри с отбором семян с раскрывшимся щитками и проростками корней длиной 1 мм в количестве 1000 шт. с каждой чашки. Отобранные семена переносились в пластиковые стаканы (250 мл) на слой «стерильная марля – вата – стерильная марля». Стаканы заполнялись дистиллированной водой до уровня семян, сверху накрытых тремя слоями влажной марли, закрывались стерильными крышками от чашек Петри

Стаканы с семенами помещались на трое суток в термостат при температуре 24 ºС для дальнейшего проращивания с целью получения ростков, на четвертые сутки стаканы с ростками извлекались из термостата и размещались под лампами дневного света (первый эксперимент). Дальнейшее выращивание растений в течении оставшихся 5 суток велось при 8 часовом фотопериоде при освещении в 1600 лк и при комнатной температуре (20 ºС). Стакан с ростками для проведения второго эксперимента оставался в термостате девять суток.

На девятые сутки был произведён отбор растений по следующим параметрам: длина стебля с листком от 75 до 85 мм, всего было отобрано 500 растений. Стебли с листьями отсекались ножницами от корней, взвешивались пучками по 10 шт. и помещались в стеклянные пробирки объемом 25 мл и размером 115×15 мм с 1 мл дистиллированной воды для проведения эксперимента по воздействию ИМП на зелёные и этиолированные ростки (рис. 1).



а б

Рис. 1. Растения пшеницы мягкой *Triticum aestivum* L. подготовленные для проведения эксперимента по воздействию ИМП.

Примечание: а – девятисуточные зеленые ростки; б – девятисуточные этиолированные ростки

Эксперимент по воздействию ИМП различной напряжённостью (индукцией) на растения проводили на экспериментальной установке МИУ-БИО-5 [19] с использованием специально сконструированного многовиткового индуктора для обработки биообъектов в пробирках (рис. 2).

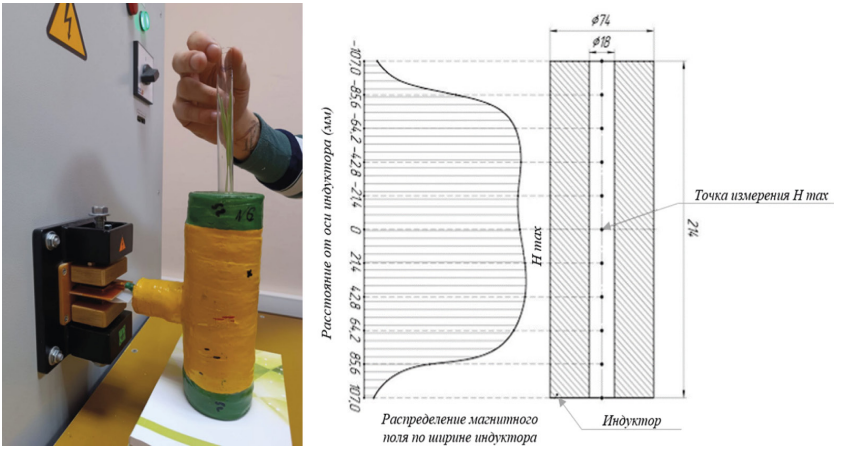


а б

Рис. 2. Экспериментальная установка МИУ-БИО-5.

Примечание: а – внешний вид экспериментальной установки МИУ-БИО-5; б – многовитковый индуктор для обработки биообъектов.

Образцы растений в пробирках помещались в центральную часть многовиткового индуктора, закреплённого в клеймах экспериментальной установки в зону действия максимальной напряженности магнитного поля (индукции) и временем импульса 2-5 мсек (рис. 3).



а б

Рис. 3. Постановка эксперимента по воздействию ИМП на растения.

Примечание: а – размещение пробирки с ростками в индукторе; б – распределение магнитного поля в индукторе.

Эксперименты по генерации супероксид анион-радикала зелёными и этиолированными ростками после воздействия ИМП, а также от времени после воздействия проводились согласно следующим параметрам (табл. 1).

После воздействия ИМП:

1. Пробирки с обработанными зелёными ростками, а также с контрольными ростками помещались под лампами дневного света (1600 лк) на один час для активации фотосистемы I (первый эксперимент).
2. Пробирки с обработанными этиолированными ростками, а также с контрольными ростками помещались в темную комнату (термостат) на один час (второй эксперимент).
3. Обработанные зелёные ростки были подвергнуты биохимическому анализу сразу же после воздействия ИМП через определённые промежутки времени (15, 30, 60 мин), а также через 24 часа (третий эксперимент). Работа проводилась при рассеянном освещении (800 лк).

Таблица 1.

Параметры воздействия ИМП высокой напряжённости (индукции) на растения

№ образца	Напряжённость ИМП (Н), А/м	Индукция ИМП (В), Тл	Частота разрядного контура (f), кГц	Количество импульсов (n), шт	Время импульса (τ), мсек	Время между импульсами – скважность (Δτ), сек
Эксперимент по генерации супероксид анион-радикала зелёными ростками						
Контроль (1-10)	-	-	-	-	-	-
11 - 20	$0{,}42 \cdot 10^6$	0,53	15,7	3	2	2
21 - 30	$1{,}77 \cdot 10^6$	2,21				
31 - 40	$2{,}97 \cdot 10^6$	3,71				
41 - 50	$4{,}17 \cdot 10^6$	5,21				
Эксперимент по генерации супероксид анион-радикала этиолированными ростками						
Контроль (1 -10)	-	-	-	-	-	-
11 - 20	$0{,}42 \cdot 10^6$	0,53	15,7	3	2	2
21 - 30	$1{,}77 \cdot 10^6$	2,21				
31 - 40	$2{,}97 \cdot 10^6$	3,71				
40 - 50	$4{,}17 \cdot 10^6$	5,21				
Эксперимент по генерации супероксид анион-радикала зелеными ростками в зависимости от времени после воздействия ИМП						
Контроль (1 - 10)	-	-	-	-	-	-
15 минут после воздействия (11 - 20)	$1{,}77 \cdot 10^6$	2,21	15,7	3	2	2
30 минут после воздействия (21 - 30)						
60 минут после воздействия (31 - 40)						
24 часа после воздействия (41 - 50)						

Для регистрации генерации супероксид анион-радикала применялся акцепторный метод, с последующим проведением фотометрического измерения при 480 нм [7; 9]. Суть данного метода заключается в способности адреналина в слабощелочной среде или в присутствии сильных окислителей окислятся до адренохрома, то есть быть донором электронов [16; 17].

Биохимический анализ выполнялся в соответствии с алгоритмом: 1) отрезки листьев (10 шт./вариант) переносились в стаканы и один час ин-

кубировались в 0,025 мМ (ммоль) растворе $CaCl_2$ (10 мл) при постоянном покачивании (120 об/мин) и температуре (30 ºС) в орбитальном шейкер-инкубаторе (Biosan ES-20/60, Латвия); 2) через час в экстракт вносили 1 мл 10^{-3} М (моль) адреналина (ФГУП «Московский эндокринный завод», Россия) и продолжали инкубацию при тех же значениях покачивания и температуры в течении 15 мин; 3) после 15 минутной инкубации с адреналином реакцию его окисления останавливали внесением 125 мкл 0,05 н раствора HCl; 4) полученные экстракты фильтровались через фильтровальную бумагу (синяя лента); 5) измерялась оптическая плотность экстрактов при 480 нм на спектрофотометре (Альтаир КФК-300УФ, Россия) с использованием стеклянной кюветы с длиной оптического пути равного 10 мм; 6) за ноль измерения бралась холостая проба состава: 10 мл 0,025 мМ $CaCl_2$ + 125 мкл 0,05 н HCl; 7) расчет концентрации супероксид анион-радикала производили по формуле:

$$C = \frac{D*V*k}{m*\varepsilon}, \quad (1)$$

где:

C – содержание супероксид анион-радикала, мкмоль (μМ);
D – оптическая плотность при A_{480};
V – объем экстракта в кювете, мл;
k – коэффициент цветности экстракта (0,1-0,5);
m – масса сырой навески, г;
ε – коэффициент молярной экстинкции адренохрома 4020 $М^{-1}/см^{-1}$.

Математическая и статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программ MS Excel 2016 и jamovi.

Результаты и обсуждение

При измерении оптической плотности экстрактов в эксперименте с зелеными ростками были получены следующие значения уровня супероксид анион-радикала, что соответствует его генерации после воздействия ИМП (рис. 4).

Анализируя экспериментальные данные представленные на рисунке 4, видно, что через 60 минут после воздействия ИМП на зелёные ростки при условии освещения в 1600 лк (активация фотосистемы I) фотоиндуцированная генерация супероксид анион-радикала существенно не различалась от контроля равного 2,17±0,14 μМ/г при значениях индукции магнитного поля B=0,53 Тл (2,09±0,08 μМ/г), B=3,71 Тл (2,17±0,14 μМ/г) и B=5,21 Тл (2,01±0,08 μМ/г). При воздействии ИМП индукцией B=2,21 Тл наблюдалось снижение уровня супероксид анион-радикала до 1,69±0,14 μМ/г, что ниже контроля в 1,3 раза.

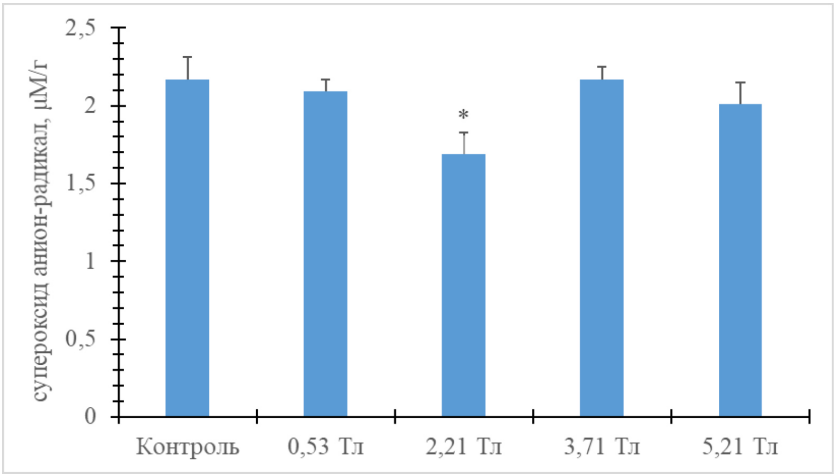


Рис. 4. Уровень супероксид анион-радикала в зелёных ростках *Triticum avestivum* L. после обработки ИМП.

Примечание: * – отличие уровня супероксид анион-радикала от контроля достоверны с уровнем значимости p <0,05.

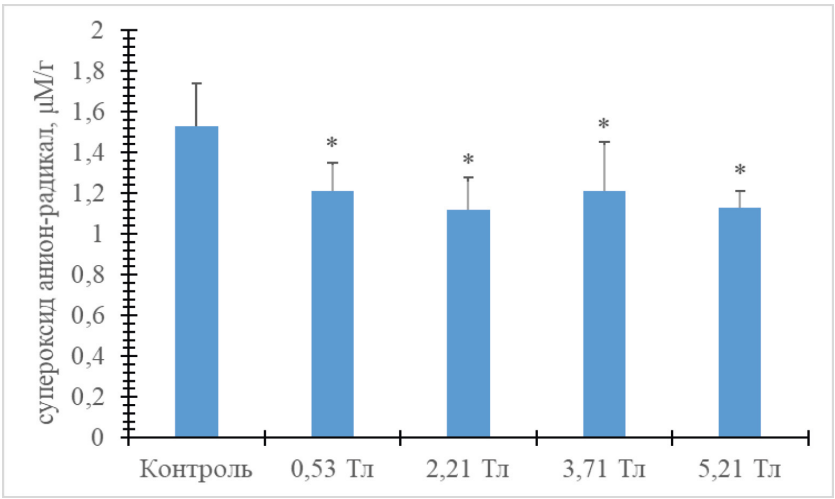


Рис. 5. Уровень супероксид анион-радикала в этиолированных ростках *Triticum avestivum* L. после обработки ИМП.

Примечание: * – отличие уровня супероксид анион-радикала от контроля достоверны с уровнем значимости p <0,05.

При измерении оптической плотности экстрактов в эксперименте с этиолированными ростками были получены следующие значения уровня супероксид анион-радикала, что соответствует его генерации после воздействия ИМП (рис. 5).

Анализируя экспериментальные данные представленные на рисунке 5 видно, что через 60 минут после воздействия ИМП на этиолированные ростки наблюдалось существенное снижение генерации супероксид анион-радикала по сравнению с контролем (1,53±0,21 μМ/г) в 1,3 раза при индукции В=0,53 Тл (1,21±0,14 μМ/г) и В=3,71 Тл (1,21±0,24 μМ/г) и в 1,4 раза при индукции В=2,21 Тл (1,12±0,16 μМ/г) и В=5,21 Тл (1,13±0,08 μМ/г).

Так же кроме экспериментов с зелёными и этиолированными ростками, был проведен еще один эксперимент с целью установить влияние ИМП на генерацию супероксид анион-радикала в зависимости от времени после воздействия.

В качестве целевого параметра воздействия была выбрана индукция ИМП В=2,21 Тл, так как в первом эксперименте наблюдалось существенное снижение уровня супероксид анион-радикала.

При измерении оптической плотности экстрактов в ходе третьего эксперимента были получены следующие значения уровня супероксид анион-радикала, что соответствует его генерации после воздействия ИМП (рис. 6).

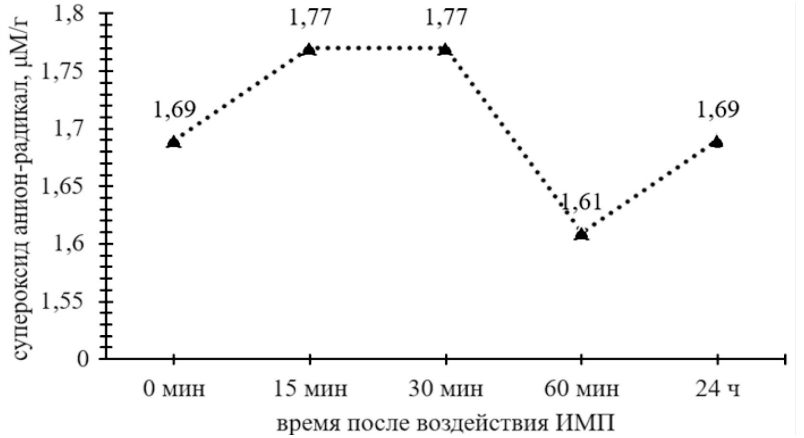


Рис. 6. Уровень супероксид анион-радикала в зелёных ростках *Triticum avestivum* L. в зависимости от времени после воздействия ИМП индукцией 2,21 Тл.

Анализируя экспериментальные данные представленные на рисунке 6 видно, что сразу после воздействия ИМП индукцией В=2,21 Тл повы-

шение уровня супероксид анион-радикала не наблюдалось и составляло 1,69±0,24 μM/г (контроль). Через 15 минут после воздействия отмечено повышение уровня до 1,77±0,29 μM/г, что выше контроля в 1,1 раз, через 30 минут уровень супероксид анион-радикала был равен 15 минутному отрезку. Через 60 минут отмечено снижение уровня супероксид анион-радикала до 1,61±0,21 μM/г, что ниже контроля в 1,1 раз и ниже значений 15 и 30 минутных отрезков в 1,2 раза. Через 24 часа уровень супероксид анион-радикала вернулся к контрольному значению равному 1,69±0,14μM/г.

Полученные результаты экспериментов сопоставимы с результатами экспериментов, отражённых в других работах, посвящённых действию постоянных и переменных магнитных полей, ультрафиолетового и ионизирующего излучения, высокой и низкой температуры как факторов физической природы, вызывающих окислительный стресс у растений [1, 3, 10].

На основании полученных результатов была выдвинута гипотеза о том, что ИМП высокой напряжённости через воздействие на электротранспортные цепи хлоропластов (эксперимент с зелёными ростками) и митохондрий (эксперимент с этиолированными ростками) как мишени, может выступать как физический фактор развития окислительного стресса у растений, а также через повышение активности супероксиддисмутазы (СОД) или через усиление спонтанного превращения супероксид анион-радикала в пероксид водорода будет снижать его уровень (рис. 7).

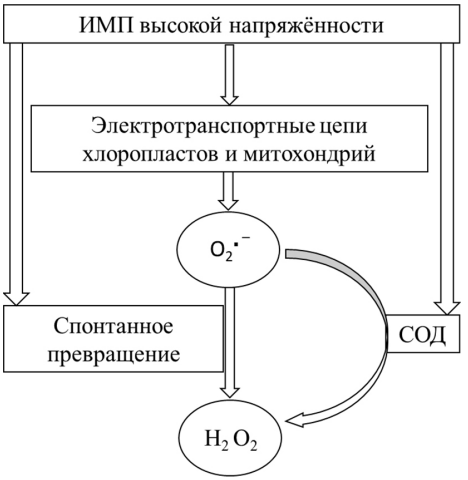


Рис. 7. Предполагаемый механизм воздействия ИМП высокой напряжённости на процесс генерации активных форм кислорода, у усиления активности СОД.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы, необходимо расширить исследования и провести эксперименты, показывающие повышение уровня пероксида водорода и увеличения активности СОД.

Резюмируя данные трех экспериментов видно, что воздействие ИМП высокой напряжённости может выступать как физический фактор развития кратковременного окислительного стресса у растений, а также может приводить к стимуляции механизмов антиоксидантной защиты при определённых значениях индукции магнитного поля [14].

Заключение

Видно, что при индукциях B=0,53 Тл, B=3,71 Тл и B=5,21 Тл уровень супероксид анион-радикала остается равным контролю в эксперименте с зелёными ростками и снижается в эксперименте с этиолированными ростками.

Хотелось бы отметить, что при действии ИМП индукцией B=2,21 Тл эффект снижения уровня супероксид анион-радикала в экспериментах как с зелёными, так и этиолированными ростками, что может говорить о более высоком биологическом эффекте.

Так же видно, что эффект повышения уровня супероксид анион-радикала после воздействия ИМП кратковременен и имеет продолжительность не более 30 минут.

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

Благодарности. Авторы благодарны исполняющему обязанности директору ГБУ СО НИИ «Жигулевские сады» Сергееву Максиму Сергеевичу за помощь и всестороннюю поддержку, а также заведующей лаборатории биохимии, биотехнологий и биоинженерии Самарского университета к.б.н., доценту Писаревой Елене Владимировне и к.б.н., доценту кафедры экологии, ботаники и охраны природы Самарского университета Корчикову Евгению Сергеевичу за консультационную помощь в планировании экспериментов.

Список литературы

1. Васильева, Е. А., Синицына, Ю. В., Половинкина, Е. О., Цыганкова, М. И., & Веселов, А. П. (2010). Изменение некоторых параметров перекисного гомеостаза хлоропластов гороха в ответ на действие физических факторов низкой интенсивности. *Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского*, 2(2), 498-503.

2. ГОСТ 12038-84. (2011). Межгосударственный стандарт. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Москва: Издательство стандартов.
3. Махдавиан, К., Горбанли, М., & Калантари, Х. М. (2008). Влияние салициловой кислоты на формирование окислительного стресса, индуцированного УФ-светом в листьях перца. *Физиология растений*, 55(4), 620-623.
4. Новицкая, Г. В., Церенова, О. А., Кочешкова, Т. К., & Новицкий, Ю. И. (2006). Влияние переменного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках редиса. *Физиология растений*, 53(1), 83-93.
5. Пономарев, В. О., & Новиков, В. В. (2009). Влияние низкочастотных переменных магнитных полей на скорость биохимических реакций, протекающих с образованием активных форм кислорода. *Биофизика*, 54(2), 235-241.
6. Половинкина, Е. О., Касьянова, Е. А., Синицына, Ю. В., & Веселов, А. П. (2011). Изменение уровня перекисного окисления липидов и активности компонентов антиоксидантного комплекса в хлоропластах гороха при воздействии слабых импульсных магнитных полей. *Физиология растений*, 58(6), 930-934.
7. Плотникова, Л. Я., Пожерукова, В. Е., Митрофанова, О. П., & Дегтярев, А. И. (2016). Влияние индукции или подавления окислительного взрыва на взаимодействие возбудителя бурой ржавчины с пшеницей Тимофеева. *Прикладная биохимия и микробиология*, 52(1), 74-84. https://doi.org/10.7868/S0555109916010098
8. Сердюков, Ю. А., & Новицкий, Ю. И. (2013). Действие слабого постоянного магнитного поля на активность антиоксидантных ферментов у проростков редиса. *Физиология растений*, 60(1), 66-74. https://doi.org/10.7868/S0015330313010065
9. Сахабутдинова, А. Р., Фатхудинова, Д. Р., & Шакирова, Ф. М. (2004). Влияние салициловой кислоты на активность антиоксидантных ферментов у пшеницы в условиях засоления. *Прикладная биохимия и микробиология*, 40(5), 579-583.
10. Сафонова, В.С. (2017). Влияние различных факторов на содержание активных форм кислорода в растениях семейства Яснотковые (на примере базилика различных сортов). *Международный школьный научный вестник*, 1, 37-44.
11. Текуцкая, Е.Е., Барышев, М.Г. (2020). Окислительные повреждения ДНК, ионизирующие излучения и магнитные поля. *Актуальная биотехнология*, 3, 518-521.
12. Шибарова, А.Н., Орлова, О.В., Лобкаева, Е.П. (2004). Влияние импульсного магнитного поля на некоторые биофизические показатели семян тыквы

(*Cucurbita pepo* L.). *Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. Серия Биология*, 1(7), 111-116.
13. Яблокова, Е.В., Кувичкин, В.В., Новиков, В.В. (2013). Действие слабых комбинированных постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей на активность пероксидазы в растворах хлорида кальция. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 12(3), 1-3.
14. Abe, K., Fujii, N., Motokawa, M., & Takahashi, H. (1997). Effect of a high magnetic field on plants. *Biological Sciences in Space*, 11, 240-247.
15. Massimo, E. M. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-15. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445
16. Mininbayeva, F. V., Gordon, L. K., Kolesnikov, O. P., & Chasov, A. V. (2001). Role of extracellular peroxidase in the superoxide production by wheat root cells. *Protoplasma*, 217, 125-128. https://doi.org/10.1007/BF01289421
17. Misra, H. P., & Fridovich, I. (1972). The univalent reduction of oxygen by reduced flavins and quinones. *The Journal of Biological Chemistry*, 247(1), 188-192. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45773-6
18. Panagopoulos, D. J., Karabarbounis, A., & Margatiris, L. H. (2002). Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 298, 95-102. https://doi.org/10.1016/S0006-291X(02)02393-8
19. RU Patent No. 213806 U1. (2011, June 21).
20. Shine, M. B., Gurupsasad, K. N., & Anjali, A. (2011). Superoxide radical production and performance index of photosystem II in leaves from magneto-primed soybean seeds. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1635-1637. https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17720
21. Shine, M. B., Guruprasad, K. N., & Anand, A. (2012). Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200 mT on reactive oxygen species production in soybean. *Bioelectromagnetics*, 33(5), 428-437. https://doi.org/10.1002/bem.21702
22. Walleczek, J., & Budinger, T. F. (1992). Pulsed magnetic field effects on calcium signaling in lymphocytes: Dependence on cell status and field intensity. *FEBS Letters*, 314(3), 351-355. https://doi.org/10.1016/0014-5793(92)81504-F

References

1. Vasilyeva, E. A., Sinitsyna, Y. V., Polovinkina, E. O., Tsygankova, M. I., & Veselov, A. P. (2010). Changes in some parameters of chloroplast peroxide homeostasis in peas under low-intensity physical factors. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N. I. Lobachevskogo*, 2(2), 498-503.

2. GOST 12038-84. (2011). Interstate standard. Methods for determining germination of agricultural crop seeds. Moscow: Standards Publishing House.
3. Mahdaviān, K., Gorbanli, M., & Kalantari, H. M. (2008). Effects of salicylic acid on oxidative stress induced by UV light in pepper leaves. *Fiziologiia rastenii*, 55(4), 620-623.
4. Novitskaya, G. V., Tserenova, O. A., Kocheshkova, T. K., & Novitskiy, Y. I. (2006). Influence of alternating magnetic field on lipid composition and content in radish seedlings. *Fiziologiia rastenii*, 53(1), 83-93.
5. Ponomarev, V. O., & Novikov, V. V. (2009). Low-frequency variable magnetic fields affect biochemical reactions involving active forms of oxygen. *Biophysics*, 54(2), 235-241.
6. Polovinkina, E. O., Kas'yanova, E. A., Sinitsyna, Y. V., & Veselov, A. P. (2011). Alterations in lipid peroxidation level and antioxidant complex activity in pea chloroplasts exposed to weak pulsed magnetic fields. *Fiziologiia rastenii*, 58(6), 930-934.
7. Plotnikova, L. Ya., Pozherukova, V. E., Mitrofanova, O. P., & Degtyarev, A. I. (2016). Induction or suppression of oxidative burst affects interaction between brown rust pathogen and Timofeev's wheat. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia*, 52(1), 74-84. https://doi.org/10.7868/S0555109916010098
8. Serdyukov, Yu. A., & Novitskiy, Yu. I. (2013). Weak constant magnetic field influences antioxidant enzyme activity in radish sprouts. *Fiziologiia rastenii*, 60(1), 66-74. https://doi.org/10.7868/S0015330313010065
9. Sakhabutdinova, A. R., Fatkhudinova, D. R., & Shakirova, F. M. (2004). Salicylic acid influence on antioxidant enzymes activity in wheat under salt conditions. *Prikladnaia biokhimiia i mikrobiologiia*, 40(5), 579-583.
10. Safonova, V. S. (2017). Impact of various factors on active oxygen forms content in plants of Lamiaceae family (using different basil varieties as an example). *Mezhdunarodnyi shkol'nyi nauchnyi vestnik*, 1, 37-44.
11. Tekutskaya, E. E., & Baryshev, M. G. (2020). Oxidative DNA damage, ionizing radiation, and magnetic fields. *Aktual'naya biotekhnologiya*, 3, 518-521.
12. Shibarova, A. N., Orlova, O. V., & Lobkaeva, E. P. (2004). Impulse magnetic field effect on certain biophysical indicators of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* L.). *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N. I. Lobachevskogo. Seriya Biologia*, 1(7), 111-116.
13. Yablochkova, E. V., Kuvechkin, V. V., & Novikov, V. V. (2013). Action of combined weak static and low-frequency alternating magnetic fields on peroxidase activity in solutions of calcium chloride. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*, 12(3), 1-3.

14. Abe, K., Fujii, N., Motokawa, M., & Takahashi, H. (1997). Effect of a high magnetic field on plants. *Biological Sciences in Space*, 11, 240-247.
15. Massimo, E. M. (2014). Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1-15. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00445
16. Mininbayeva, F. V., Gordon, L. K., Kolesnikov, O. P., & Chasov, A. V. (2001). Role of extracellular peroxidase in the superoxide production by wheat root cells. *Protoplasma*, 217, 125-128. https://doi.org/10.1007/BF01289421
17. Misra, H. P., & Fridovich, I. (1972). The univalent reduction of oxygen by reduced flavins and quinones. *The Journal of Biological Chemistry*, 247(1), 188-192. https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)45773-6
18. Panagopoulos, D. J., Karabarbounis, A., & Margatiris, L. H. (2002). Mechanism for action of electromagnetic fields on cells. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 298, 95-102. https://doi.org/10.1016/S0006-291X(02)02393-8
19. RU Patent No. 213806 U1. (2011, June 21).
20. Shine, M. B., Gurupsasad, K. N., & Anjali, A. (2011). Superoxide radical production and performance index of photosystem II in leaves from magneto-primed soybean seeds. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1635-1637. https://doi.org/10.4161/psb.6.11.17720
21. Shine, M. B., Guruprasad, K. N., & Anand, A. (2012). Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200 mT on reactive oxygen species production in soybean. *Bioelectromagnetics*, 33(5), 428-437. https://doi.org/10.1002/bem.21702
22. Walleczek, J., & Budinger, T. F. (1992). Pulsed magnetic field effects on calcium signaling in lymphocytes: Dependence on cell status and field intensity. *FEBS Letters*, 314(3), 351-355. https://doi.org/10.1016/0014-5793(92)81504-F

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бледных Олег Владимирович, научный сотрудник лаборатории «Биоинженерия»
Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Студенческий переулок, 3А, г. Самара, 443001, Российская Федерации
helgv@blednykh.ru

Роденко Наталья Алексеевна, аспирант, научный сотрудник лаборатории «Биоинженерия»
Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук

Студенческий переулок, 3А, г. Самара, 443001, Российская Федерации
t.rodenko@mail.ru

Глущенков Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории «Биоинженерия»
Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Студенческий переулок, 3А, г. Самара, 443001, Российская Федерации
vgl@ssau.ru

Дегтева Юлия Вячеславовна, студент, лаборант лаборатории «Биоинженерия»
Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук
Студенческий переулок, 3А, г. Самара, 443001, Российская Федерации
deswelta@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. Blednykh, Researcher of the Bioengineering Laboratory
Samara Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
3A, Studenchesky pereulok, Samara, 443001, Russian Federation
helgv@blednykh.ru
SPIN-code: 7698-8840
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9365-6783

Natalia A. Rodenko, Postgraduate Student, Researcher of the Bioengineering Laboratory
Samara Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
3A, Studenchesky pereulok, Samara, 443001, Russian Federation
t.rodenko@mail.ru
SPIN-code: 2531-1408
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0623-7207
ResearcherID: GRF-4177-2022
Scopus Author ID: 57209502549

Vladimir A. Glushchenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Bioengineering Laboratory

Samara Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
3A, Studenchesky pereulok, Samara, 443001, Russian Federation
vgl@ssau.ru
SPIN-code:5304-6865
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8368-2905
ResearcherID: AAO-1356-2020
Scopus Author ID: 55060425900

Yulia V. Degteva, Student, Laboratory Assistant of the Bioengineering Laboratory
Samara Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
3A, Studenchesky pereulok, Samara, 443001, Russian Federation
deswelta@gmail.com
SPIN-code: 2531-1408
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0623-7207
ResearcherID: GRF-4177-2022
Scopus Author ID: 57209502549

Поступила 05.07.2024
После рецензирования 20.07.2024
Принята 10.08.2024

Received 05.07.2024
Revised 20.07.2024
Accepted 10.08.2024

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1030 **EDN: UKIMHN**
УДК 631.618 (292.471)

CC BY NC ND

Научная статья

ДИГРЕССИОННО-ДЕМУТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИРУСЛОВЫХ ЛЕСОВ ВДОЛЬ РЕКИ КАЧА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ

В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, В.Л. Апостолов

Аннотация

Изложены материалы изучения современного состояния прирусловых лесов и почв реки Кача в Крыму.

Целью работы было исследование дигрессионно-демутационных процессов растительности и почв прирусловых лесов с учетом антропогеного воздействия на них.

Материалы и методы. Были заложены 8 пробных площадей в прирусловых лесах от истоков до нижнего течения реки. Изучался их видовой состав и структура, физико-химических показатели почв с оценкой стадий дигрессии сообществ при хозяйственной деятельности.

Результаты. В исследовании экосистем верховьев, среднего и нижнего течений реки Кача нами были выделены три основных типа лесных сообществ: свежая черноольхово-грабовая бучина, свежая дубрава с буком и черной ольхой, а также влажный груд из тополя и ивы. Указанные сообщества характеризуют зрелые фитоценозы в прирусловых лесах Горного Крыма, показывая динамические изменения в их развитии. Так, в среднем течении реки преобладают вторичные дубравы с разнообразными древесными видами, находящиеся на различных стадиях сукцессий. В нижнем течении реки наблюдаются сообщества с низкой

сомкнутостью и значительным кустарниковым ярусом. Проведенное исследование подчеркивает разнообразие и сложность экосистем реки Кача.

Выводы. Прирусловые леса крайне уязвимы с учетом многовекового воздействия на них человеческой деятельности. Их можно рассматривать как биоиндикаторы, которые могут выявлять своей структурой и составом растительности интенсивность антропогенного воздействия на эти экосистемы с учетом временнного фактора.

Ключевые слова: прирусловые леса; почвы; р. Кача; антропогенное воздействие; структура сообществ; Крым

Для цитирования. Кобечинская, В. Г., Ярош, О. Б., Апостолов, В. Л. (2025). Дигрессионно-демутационные процессы прирусловых лесов вдоль реки Кача в Республике Крым. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 70-92. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1030

Original article

DIGRESSION-DEMUTATION PROCESSES OF RIPARIAN FORESTS ALONG THE KACHA RIVER IN THE REPUBLIC OF CRIMEA

V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, V.L. Apostolov

Abstract

The materials of the study on the current state of the riparian forests and soils of the Kacha River in Crimea are presented.

The **aim** of the work was to investigate the digression-demutation processes of vegetation and soils in the riparian forests, taking into account anthropogenic impacts on them.

Materials and methods. Eight sample plots were established in the riparian forests from the source to the lower reaches of the river. Their species composition and structure, as well as the physicochemical indicators of the soils, were studied, with an assessment of the stages of community digression under economic activities.

Results. In the study of the ecosystems of the upper, middle, and lower reaches of the Kacha River, three main types of forest communities were identified: fresh black alder-hornbeam thickets, fresh oak forests with beech and black alder, and wet groves of poplar and willow. These communities characterize mature phytocenoses in the riparian forests of the Mountain Crimea, demonstrating dynamic changes in their development. In the middle reaches of the river, secondary oak forests with

diverse tree species, which are at various stages of succession, predominate. In the lower reaches of the river, communities with low canopy closure and significant shrub layers are observed. The conducted research emphasizes the diversity and complexity of the ecosystems of the Kacha River.

Conclusions. The riparian forests are extremely vulnerable due to centuries of human activity impacting them. They can be regarded as bioindicators that can reveal, through their structure and composition of vegetation, the intensity of anthropogenic impact on these ecosystems, considering the temporal factor.

Keywords: riparian forests; soils; Kacha River; anthropogenic impact; community structure; Crimea

For citation. Kobechinskaya, V. G., Yarosh, O. B., & Apostolov, V. L. (2025). Digression-demutation processes of riparian forests along the Kacha River in the Republic of Crimea. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 70-92. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1030

Введение

Прирусловые леса в Крыму сохранились только в заповедниках, за пределами этих территорий они преобразованы человеком. Во многом, это связано с массовыми рубками в прошлом, активным развитием сельскохозяйственных угодий, осуществлением выпаса животных, что привело к изменению их структуры и сложения [10-11]. Пойменные леса защищают русла рек от заиливания, выполняя берегово-защитную функцию. Они определяют экотопические условия биогеоценозов, произрастающих в пойме. На склонах гор в течении года отмечаются контрастные объемы выпадающих осадков (они особенно обильны в весенний период), что приводит к частой смене уровня воды в русле. В результате формируются фитоценозы, адаптированные к этим специфическим условиям [15; 17; 23-25].

Сведения о лесах и почвах в бассейне реки Кача, начиная от ее верховий, которые находятся на территории Национального парка «Крымский» и до среднего и нижнего течения этой реки, являются фрагментарными и устаревшими. «Река Кача, принадлежащая к малым рекам Северо-западного склона Главной гряды Крымских гор, сохраняет постоянный водоток круглый год благодаря своей высокой водоёмности. Её протяжённость составляет 64 км, а площадь водосборного бассейна - 573 км^2, что делает её крупнейшей в этом районе. Река формируется от слияния двух притоков - рек Биюк-Узень и Писары, расположенных на северном склоне Бабуган-яйлы неподалеку от города Роман-Кош на высоте около 600 м в зоне высокоствольных буковых лесов» [4; 11-12]. Ниже истоков в неё впадают

еще два притока - Донга и Каспана, в последнюю поступают также воды от многочисленных балок, образовавшихся на склонах горы. Все притоки (за исключением р. Чурук-Су) впадают в её верхнем течении на заповедной территории. За пределами национального парка эта река во Внутренней горной гряде пропилила ущелье – «Качинские ворота» с отвесными стенами. Пересекая Вторую и третью Внешнюю горные гряды, р. Кача течет по равнинной местности и впадает в Черное море (рис 1.) южнее устья река Альмы [12;16].

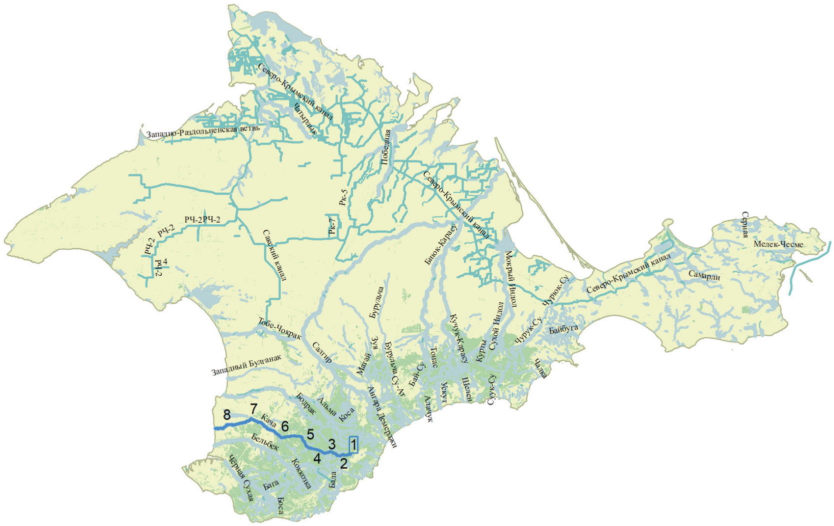


Рис. 1. Размещение пробных площадей вдоль русла р. Кача

В верховьях и среднем течении это горная река, имеет ряд особенностей в части растительности, проoизрастающей на ее берегах. В ней четко выражена вертикальная зональность или поясность [11-12]. Поэтому представляет значительный интрес проведение оценки современного состояния биогеоценозов на пробных площадях, заложенных вдоль всего русла, которые отражают многообразие как в прошлом, так и в настоящем воздействия человека на этот район, что и послужило целью нашей работы.

Материалы и методы исследований

Первый участок расположен в 1 км от истоков реки Кача по её правому берегу. Здесь сформировалась свежая черноольхово-грабовая бучина на высоте 580 м н. у. м.

Вторая пробная площадь, представленная свежей черноольховой бучиной, расположена на высоте 430 м н. у. м. в 2 км ниже от первого участка вдоль русла.

На третей пробной площади тип леса - влажный черноольхово-грабовый груд, который сохранился благодаря тому, что он находится близко к внешней границе старейшего заповедника Крыма, учрежденного ещё в 1923 г.

Эти три пробные площади взяты нами как эталонные для прирусловых горных лесов, сохранивших свою структуру и сложение из-за малой доступности (только узкие тропинки, ведущие к ним) и значительной крутизны склонов. Наши наблюдения выявили [11] «их благополучное состояние (усохшие или погибшие деревья составляют всего 3,9 – 5,5%), что указывает на благоприятные условия для развития данных растительных сообществ. Три исследовательские площади (№4-6) были выбраны в среднем течении реки. Участок №4 расположен на правом берегу в трёх километрах от бывшего села Шелковичного. Все жилые постройки (село, фермы, туберкулезный санаторий, гаражи и прочие) были снесены в 70-е годы в связи со строительством Загорского водохранилища питьевого назначения (27,8 млн. м^3)», а проживавшее здесь население было переселено в другие села Бахчисарайского района. Здесь выявлена свежая черноольхово-буково-ореховая дубрава. Этот фитоценоз вторичен по происхождению, многоствольность лесообразующих пород, включение в его состав культурной растительности (орех грецкий, вишня, черешня). Под пологом древостоя из-за низкой сомкнутости хорошо развит кустарниковый ярус. На территории снесенного в прошлом веке села до сих пор обилие полян, где выпасается небольшое количество животных и осуществляется сенокос.

Исследовательская площадь № 5 расположена ниже по течению реки на расстоянии 5,5 километров от участка № 4, находящегося на правом берегу. Это типичное редколесье с явными признаками нарушения древостоя, изменением флористического состава, высокой освещенностью и низким бонитетом. Из-за частых вырубок деревьев первого яруса на этой площади хорошо развит кустарниковый ярус. Здесь можно наблюдать свежую дубраву с преобладанием ясеня, лещины и груши.

Участок № 6 представляет собой пойму левого притока реки Стиля, расположенную в среднем течении на расстоянии 0,5 километра выше Загорского водохранилища. При подготовке его ложа древостой был полностью вырублен, но из-за снижения уровня водоема, часть территории не была затоплена и здесь начал активно восстанавливаться лес. Возраст его 40-50 лет и также обильна многоствольность, т.к. раскорчевка не была

проведена, шло активное развитие пазушных почек корней в сочетании с семенными экземплярами деревьев тополя серебристого (*Populus alba*) и т. черного (*P.nigra*), ивы козьей (*Salix caprea*), единичными экземплярами ольхи черной *(Alnus glutinosa*). Здесь развита свежая ясенево-тополево-грабинниково-ивововая дубрава.

Участок № 7 расположен в нижнем течении реки в 1,8 км от с. Вишнёвое. Прирусловая часть в весенний период часто подвергается затоплению. Древостой по главному ярусу близкий по своему составу участку № 6, но во втором ярусе встречается и культурная растительность – вишня и слива в сочетании с шиповником (*Rosa canina*), боярышником *(Crataegus ceratocarpa*) и свидиной (*Swida australis*). Здесь выросла свежая дубрава из тополя и ивы. Наблюдается интенсивное выпасание домашних животных и осуществление сельскохозяйственной деятельности. Обнаружено, что состояние основного древостоя находится в крайне неудовлетворительном состоянии, смертность и засыхание деревьев достигает на данном участке достигает 23,3%.

Участок № 8 расположен ниже по течению реки на 1,5 километра от № 7. Весь лес на этом участке вторичный. В его составе преобладают серебристый тополь, высокий ясень, черная ольха, практически все деревья имеют несколько стволов. Санитарное состояние неудовлетворительное, засыхание деревьев составляет 21,5%, рядом находятся сельскохозяйственные угодья, где пасётся скот местных жителей. Здесь сформировался сильно разрушенный тип леса - влажная дубрава из тополя, черной ольхи, ясени и ивы. Ниже по течению древостой полностью разрушен из-за того, что функционирует рекреационная инфраструктура (дачные домики, беседки, площадки для отдыха и пр.).

Исследование флористического состава, пространственного размещения древесно-кустарникового яруса и видового состава травостоя, формирующегося под пологом, проводилось по общепринятым лесотаксационным и геоботаническим методикам [3; 8; 11-15]. Площадь учетных площадей составила от 500 м^2 до 1 га. При этом, учитывался полный флористический состав лесов по ярусам, высота древостоя, бонитет, сомкнутость насаждений, его санитарное состояние, динамика хода естественного возобновления. При изучении травостоя определялись: общеее проективное покрытие, видовая насыщенность на 1 м^2 учетных площадках, биологическая продуктивность с разбором на хозяйственно-ботанические группы в фитомассе и выявления значимости каждой из выделенных групп в сложении этого яруса с учетом разнообразия экотопов вдоль русла. Для лесов Крыма была разработана типологическая классификация П.П. Посоховым [19], дополненная

и детализированная в работах А.Ф. Полякова, Ю.В. Плуготаря [18], которой мы руководствовались, выделяя типы пойменных лесов.

В процессе нашей работы также были выполнены почвенные разрезы с отбором образцов и последующим их физико-химическим анализом. Были определены в лаборатории ведущие характеристики почв по общепринятым методикам [2; 13].

С целью оценки интенсивности рекреацииоой нагрузки на данные сообщества в верхнем слое почв учитывали её физические показатели - плотность и пористость, а также запасы подстилки и уровень её разрушенности, площадь тропинок по пятибальной шкале [7; 9; 20]. Все полученные данные были обработаны статистическими методами с оценкой ошибки среднего значения [1]. Номенклатура таксонов растений Крыма приведена по сводке С.К. Черепанова [21].

Результаты исследований и их обсуждение

Основные лесотаксационные параметры древостоя пробных площадей пойменных лесов вдоль русла от истоков до нижнего течения реки Кача приведены в таблице № 1. Здесь наблюдается широкое разнообразие типов леса и переходных группировок, которые отражают различную степень воздействия человеческой деятельности на экосистемы. На оцениваемом участке происходят активные сукцессионные процессы, которые приводят к замене одних видов деревьев другими, что ведёт к значительным изменениям в возрастном составе лесов. На участках № 1-3 обнаружены пойменные леса, находящиеся в неприкосновенном состоянии 80-100 лет, встречаются отдельные экземпляры бука возрастом до 140-150 лет. Они сохранились на заповедных территориях. Сомкнутость главного яруса высокая – 0,7-0,8. При этом, средняя высота деревьев составляет от 18,7 до 20,4 м.

«В среднем течении реки Кача на равнинных участках (№ 4-6) формируются вторичные по происхождению леса возрастом 40-60 лет. По мере снижения сомкнутости главного яруса, отмеченного на участке № 5 – 0,2 и роста освещенности происходит формирование устойчивого кустарникового яруса, сомкнутость которого достигает 0,4-0,6. Анализ показывает, что присутствуют следующие виды растений: кизил обыкновенный (*Cornus mas*), боярышник рогоплодный (*Crataegus ceratocarpa*), шиповник собачий (*Rosa canina*), свидина южная (*Swida australis*) с высотой до 3-5м» [11; 12]. Они слабо выполняют свои водозащитные и противоэрозионные функции, так как высок уровень засохших деревьев - 20,4%, что обусловлено периодическим подтоплением и выпасом.

В нижнем течении доля коренной растительности резко снижается, прирусловые леса сохранились фрагментарно (участки № 6-8). Уменьшается общий возраст этих фитоценозов (40-60 л.) и сомкнутость древостоя (0,3-0,5), хорошо выражен кустарниковый ярус, в состав которого входят кизил обыкновенный, лещина обыкновенная (*Corydalus avellana*), бересклет европейский (*Euonymus europaea*), бирючина обыкновенная (*Ligustrum vulgare)*, Ежевика таврическая (*Rubus tauricus*) и др.

Таблица 1.

Лесотаксационная характеристика древостоя пробных площадей пойменных фитоценозов вдоль русла реки Кача

№ уч.	Тип леса	Формула древостоя	Возраст леса, лет	Средние		Сомкнутость	Бонитет	Санитарное сост,%.
				высота, м	диаметр,см			
1.	свежая черноольхово-грабовая бучина	6Б2О2Г	90-100	20,4	36,8	0,8	III	4,9
2	свежая черно-ольховая бучина	6Б4Оед.Я	70-80	18,7	28,9	0,8	III	6,5
3.	влажный черноольхово-грабовый груд	7О3Гед-Кл.	80-90	18,9	32,7	0,7	III	5,5
4.	свежая буково-черноольхово-ореховая дубрава	5Б3О2Ореед.Г.$Д_{ск.}$	50-60	16,2	19,7	0,6	IV	6,7
5.	Свежая ясенево-лещиново-грушевая дубрава	6Я2Гр-2Лед.Ор.	40-50	7,4	14,6	0,2	IV-Va	20,4
6.	свежая ясенево-тополево-грабинниково-ивовая дубрава	4Я2Грб-2Т2Иед.Д.ск.	50-60	7,2	15,1	0,4	IV	12,3
7.	свежая тополево-ивовая дубрава	6Т4Иед.О	40-50	16,1	23,3	0,5	IV	12,2
8.	влажный тополево-черноольхово-ясенево-ивовый груд	4Т3О2ЯИ	40-50	15,2	27,5	0,3	IV-Va	23,3

Источник: результаты собственных исследований

Наблюдается снижение диаметра деревьев, их бонитета, высоты первого яруса и уровня повреждения деревьев (облом веток более, чем 1/3 части кроны, повреждение стволов, комлевой части и корней, слом вер-

шины дерева и пр.), поэтому идет ухудшение санитарного состояния фитоценозов 12,2- 20,4%.

В нижнем течении доля коренной растительности резко снижается, прирусловые леса сохранились фрагментарно, имеют ленточную форму вдоль русла реки.

Важным показателем, оценивающим состояние древостоя, является интенсивность естественного возобновления их подроста на пробных площадях с учетом его возрастного спектра (таблица 2). Он также раскрывает тенденцию замещения одних видов на другие вдоль русла реки. Так, бук восточный (*Fagus orientalis)* выпадает на участках при усилении нагрузки, а на участке № 5 встречается единично и на равнинной части участках № 6-8) вдоль русла вообще не отмечен.

Дуб черешчатый (*Quercus robur*) сохранился только на участках №1-3, на остальных территориях он давно вырублен и выпал из древостоя. Ольха черная (*Alnus glutinosa*) – характерная порода пойменных лесов, встречается на всех участках, но устойчивое возобновление дает только в заповеднике и на участках со слабой антропогенной нагрузкой. На пробных площадях (участок №6-8) возобновление неудовлетворительное, связанное с усилением хозяйственного влияния на эти экосистемы.

В верховьях реки отсутствует возобновление тополя серебристого (*Populus alba*) и тополя черного (*P.nigra*) и не встречаются ивы (*Salix caprea, S.alba, S.cinerea, S.triandra,S. purpurea)*- это не их область распространения. В среднем течении вдоль русла появляются ивы, но возобновления тополя нет. Эти виды наиболее обильны в нижнем течении на участках №6-8. Клен полевой *(Acer campestre*) не характерен для пойменных лесов и поэтому отмечен только на одном участке №3. Ясень высокий (*Fraxinus excelsior*) постепенно вытесняет бук и граб из первого яруса, полностью их замещая на уч. №6-8, т.к. эти виды также уязвимы к периодическому подтоплению.

В целом, можно сделать обобщение, что по мере увеличения возраста подроста с 1 года до 10 лет численность его резко снижается, что закономерно присходит при усилении конкуренции за свет и элементы питания, четко прослеживается высокая динамичность горизонтальной и вертикальной структуры растительности. Отсутствие возобновления определенных возрастных групп по видам можно также связать с длительными периодами подтопления прирусловой зоны в отдельные годы, особенно на равнинных участках.

Таблица 2.

Возобновление основных лесообразующих пород на пробных площадях прирусловой растительности вдоль реки Кача (тыс. шт./га)

Вид	Под-рост, лет	Номера пробных площадей							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ольха черная	1-3	15750	11250	500	1500	4250	250	250	750
	4-5	5000	3250	1000	2250	2500	1250	125	1250
	6-8	1500	750	3000	3250	5500	500	250	750
	9-10	750	750	750	1750	1000	250	125	1000
ясень высокий	1-3	1000	0	0	2250	4000	1250	0	1750
	4-5	750	0	2000	4250	9750	2500	125	1000
	6-8	2500	250	250	11250	10750	1000	50	250
	9-10	1000	0	500	4250	2250	500	0	250
дуб черешчатый	1-3	5500	1000	0	0	0	0	0	0
	4-5	6500	250	250	0	0	0	0	0
	6-8	1000	250	250	0	0	0	0	0
	9-10	1000	250	0	0	0	0	0	0
бук восточный	1-3	3000	2750	0	1000	250	0	0	0
	4-5	2500	750	125	1250	0	0	0	0
	6-8	1000	100	0	100	0	0	0	0
	9-10	1000	750	0	750	125	0	0	0
граб обыкновен-ный	1-3	1000	0	2000	125	250	0	0	0
	4-5	750	0	1750	50	500	0	0	0
	6-8	250	0	500	0	250	0	0	0
	9-10	250	0	250	0	100	0	0	0
клен полевой	1-3	0	0	250	0	0	0	0	0
	4-5	0	0	1000	0	0	0	0	0
	6-8	0	0	250	0	0	0	0	0
	9-10	0	0	250	0	0	0	0	0
тополь серебри-стый, т.черный	1-3	0	0	0	0	0	0	2250	3500
	4-5	0	0	0	0	0	250	1500	1500
	6-8	0	0	0	0	0	0	1250	250
	9-10	0	0	0	0	0	125	2750	500
ива белая, ива козья, ива пур-пурная, ива трехтычин-ковая	1-3	0	0	0	0	0	250	750	500
	4-5	0	0	0	0	0	1000	4500	750
	6-8	0	0	0	0	0	750	750	500
	9-10	0	0	0	0	0	250	750	250

Источник: результаты собственных исследований

Флористическое разнообразие травостоя приведено в таблице 3, оно тесно связано с сомкнутостью древостоя, указанным в таблице 1 и сложившимся режимом освещенности под пологом пойменного леса.

Таблица 3.

Геоботаническая характеристика и общая средняя фитомасса (ц/га) за 2 года травостоя пробных площадей прирусловых лесов вдоль русла р. Кача

№ уч.	Общее кол-во видов	Общее проект. покрытие,%	Видовая насыщенность на 1 м^2	Высота травостоя, см	Общая фитомасса ср. за 2 года	Наименование выявленных ассоциаций
1.	36	30-40	3,2±0,4	25-30	14,23±1,9	буково-черноольхово-грабово-пролесковая
2.	43	40-50	5,2±0,7	30,5	10,52±1,4	буково-черноольхово-кизилово-пролесково-лютиковая
3.	44	50-60	7,1±0,3	20-25	2,97±0,2	черноольхово-грабово-кленово-кизилово-гравилатово-пролесково-лютиковая
4.	37	80-85	14,3±1,2	40-45	15,84±1,4	буково-черноольхово-орехово-свидово-смирниевая
5.	73	80-85	17,1±0,9	10-15	37,66±3,9	ясенево-лещиново-грушево-шиповниково-подмаренниковая
6.	36	70-80	11,1±0,9	30-35	18,12±1,8	ясенево-тополево-грабинниково-ивово-ежевиково-клеверо-яснотковая
7.	33	60-70	10,8±0,8	20-25	15,93±0,9	тополево-ивово-вишнево-ежевиково-пролесково-лютиковая
8.	28	60-65	12,2±0,7	20-25	27,57±2,9	тополево-черноольхово-ясенево-ивово-шиповниково-подмаренниковая

Источник: результаты собственных исследований

На участках № 1-3 при высокой сомкнутости лесных фитоценозов число видов травянистого яруса незначительно (36-44 в), в том числе здесь и самая низкая их видовая насыщенность (3,2-7,1в/1м^2). Доминантами выступают: пролесник многолетний (*Mercurialis perennis*), купена кавказская (*Polygonatum polyanthemum*), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris*), лютик ползучий (*Ranunculus repens),* гравилат городской (*Geum urbanum*). В составе травостоя в среднем и нижнем течении реки Кача доминантами являются следующие виды: «смирния пронзеннолистная (*Smyrnium*

perfoliatum), бекманния обыкновенная (*Beckmania eruciformis*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), фиалка пахучая (*Viola odorata*), тростник обыкновенный (*Phragmites communis*), подмаренник членистый (*Galium articulatum*), пролесник многолетний (*Mercurialis perennis)*, клевер пренебреженный (*Trifolium neglectum*)» [11; 12].

По мере снижения проективного покрытия древостоя увеличивается видовая насыщенность травянистого яруса на учетных площадках. В среднем течении реки эти показатели достигают до 11,1-17,1/1м^2 с незначительным уменьшением в нижнем течении вдоль русла – 10,8-12,2/1м^2. Снижение сомкнутости древесного яруса по мере его разрушения активизирует условия для развития травостоя и общее проективное покрытие растет. Если на участках №1-3 оно колеблется от 30 до 60%, то в среднем и особенно в нижнем течении эти параметры достигают от 60 до 85%. Существенно снижение флористического разнообразия травостоя в нижнем течении на участках №7 и №8 от 33 до 28 видов, соответственно. Следует отметить еще один важный процесс - рост рудеральных видов с широкой экологической амплитудой в видовом спектре травостоя, адаптированных к переменному увлажнению по сезонам.

Хорошими маркерами при изучении биологической продуктивности травостоя выступают общая фитомасса и значимость хозяйственно-ботанических групп растений в её составе. Так, при изучении биологической продуктивности травостоя проведена оценка как запаса фитомассы (таблица 3), которая формируется под пологом этих сообществ, так и участие хозяйственно-ботанических групп в её составе. На участках №1 и №2 с преобладанием в древостое бука, граба, ольхи черной в травостое полностью выпадают биогруппы: злаков, бобовых, осок. На участке №3 в крайне малых объемах в составе фитомассы присутствуют злаки, роль которых резко возрастает особенно на участках № 5 и № 6 до 48,8-64,4% от общего объема травостоя. На участках № 7 и № 8 их значимость снижается до 28,4%, при главенстве биогруппы разнотравье – 51,8-67,3%. Группа бобовых играет крайне незначимую роль в составе травостоя на всех учетных площадях (2,8-5,6%). Еще более низко участие группы осок, отмеченных только на участке № 6-8. Эти показатели колеблются от 1,5 до 4,6%. Наиболее устойчива биогруппа разнотравья. В верховьях реки её участие в фитомассе составляет от 48,8% (участке № 3) до 100% (участке № 1 и № 2), в среднем течении – от 31,5% (участке № 5) до 95,8% (участке № 4). В нижнем течении от 50,8% (участке № 7) до 67,3% (участке № 8). Следовательно, именно биогруппа разнотравья является ядром травостоя пойменных лесов, давая устойчивую продуктивность этим сообществам, что активно использовалось населением многие столетия.

Для почв речных долин Крыма характерна большая пестрота сложения. Большинство из них развиты на смешанном аллювии и делювии известняков, глинистых сланцев и конгломератов. Здесь сочетаются пойменные и аллювиальные процессы – периодическое резкое повышение уровня воды, перенос и отложение размыва твердых масс с прилегающих территорий, поэтому общим признаком для них является их сравнительная молодость [6; 10-11].

Для почв верховья реки Кача (пробные площади № 1-3) характерно формирование аллювиально-делювиальных отложений, из-за сильной каменистости они водопроницаемы. Подстилающиие породы преимущественно глинистые и тяжело-суглинистые сланцы с конгломератами (таблица 4).

Таблица 4.

Физико-химические свойства почв на учетных участках вдоль русла реки Кача

№ уч.	Гумус,%	pH водной вытяжки	Валовый, %			Ca^{++} и Mg^{++} мг-экв. на 100 г почвы	Физические свойства почв
			азот	фосфор	калий		
1.	5,14	6,1	1,3	5,2	8,3	2,1	суглинисто-щебенчатые на делювии глинистых сланцев
2	5,08	6,3	1,4	5,4	5,9	2,2	глинисто-щебенчатые каменистые тяжело-глинистые сланцы
3	3,17	6,2	1,9	6,5	6,3	2,5	щебенчатые тяжело-суглинистые на конгломератах
4.	3,24	6,8	1,1	7,5	6,4	3,6	хрящевато-щебенчатые тяжело-глинистые на конгломератах
5.	2,63	7,0	0,9	8,0	7,1	2,3	каменисто-щебенчатые карбонатно-суглинистые и выщелоченные разновидности
6.	1,94	6,8	1,4	8,6	7,3	7,3	средне-щебенчатые суглинистые на глинистых сланцах
7.	1,48	7,1	1,0	8,7	6,5	4,7	Слабооподзоленные легко-суглинистые сланцы
8.	1,35	7,9	1,3	8,9	6,4	3,4	легко-суглинистые сланцы и супесчаные

Источник: результаты собственных исследований

В среднем течении р. Кача на учетных площадях развиты щебенчатые тяжело-глинистые, карбонатно-суглинистые и суглинистые почвы на

конгломератах и глинистых сланцах (пробные площади № 4-6). В нижнем течении реки легко-суглинистые и глинистые почвы имеют более дифференцированный профиль (участки № 7-8) в сравнении с верховьями. Скелетность этих почв разнообразна (от сильной до слабой).

В этой зоне встречаются карбонатные и выщелоченные разновидности почвообразующих пород. По всему профилю в незначительном количестве встречаются их мелкие и крупные обломки [13].

Основным источником калия, поступающего в почву, являются вторичные глинистые материалы, из которых он высвобождается в процессе почвообразовния [2; 13]. Поэтому содержание этого элемента в почвах достаточно высокое вдоль всего русла реки (5,9-8,3%), несмотря на большие различия в составе древостоя на учетных площадях (таблица 1). Вверховьях реки Кача наблюдается реакция почвенного раствора слабокислая (pH – 6,1-6,3), а в среднем и нижнем течении она близка к нейтральной (pH – 6,8-7,0), но на участке №8 показана слабощелочная реакция (pH - 7,9), т.к. встречается карбонатный мелкозем.

Распределение кальция и магния в ландшафтах обусловлено в значительной мере характером их водного режима [5; 22]. По величине pH и сумме поглощенных оснований видно, что повышается содержание магния и кальция от верховья реки Кача составляло 2,1 до 2,5 мг-экв. на100 г почвы до нижнего течения изменилось до 3,4-7,3 мг-экв. на100 г почвы. Произошла нейтрализация реакции почвенного раствора и увеличение суммы обменных оснований за счет этих элементов. Насыщенность почв кальцием и магнием способствует более интенсивной гумификации. При интенсивном промывном режиме почв в нижнем течении р. Кача содержание гумуса резко снижается (1,35-1,48% - преобладают низкогумусные) по сравнению с этим показателем в верховьях реки (5,08-5,14%) на участках №1 и №2, развиты среднегумусовые почвы. По мощности гумусового горизонта они все маломощные (менее 15 см).

Наиболее высока минерализация органических веществ в нижнем течении реки, т.к. благодаря древесной растительности накапливаются значительные запасы подстилки и при высокой влажности она быстро разрушается, оказывая существенное влияние на почвенный профиль.

Для валовых показателей основных питательных веществ характерны значительные колебания, но они в целом удовлетворительные вдоль всего русла.

Низкое содержание азота в пойменных почвах (0,9-1,9%) обусловлено, в первую очередь, периодическим подтоплением древостоя, что приволит

к активизации процессов денитрофикации, с которыми связаны основные потери азота из почвы. Также слабая аэрация почв по этой причине подавляет нитрификацию и идет образование нитритов, что также снижает эти величины.

Показатели фосфора в почвах обусловлено, в первую очередь, реакцией почвенного раствора pH и содержанием гумуса. На эти процессы оказывают влияние соотношения закисных и окисных форм соединений железа [13]. Чередование анаэробных процессов с аэробными (подсыхание почвы при снижения уровня воды в русле и переменном увлажнении) ведет к уменьшению растворимости фосфатов. Содержание его в почвах вдоль русла реки возрастает от верховья (участок №1) к участкам № 7 и №8 в нижнем течении до 8,9%, которые в большей степени подвержены подтоплению из-за равнинной местности. Также свой вклад вносит и смыв фосфорных удобрений в прилегающих сельхозугодий.

Следовательно, аллювиально-делювиальные почвы речных долин формируются под воздействием переменных потоков воды в русле с учетом влияния и форм рельефа, но на них также оказывают существенное воздействие растительные формации, в сильной степени изменяя их в результате своей жизнедеятельности, и значительную роль играет интенсивность хозяйственной деятельности человека.

Используя полученные материалы по составу древесного и кустарникового ярусов, состояния подроста основных лесообразующих пород, степени разрушенности подстилки, расширения площади тропиночной сети, а также изменениям в физико-химических свойствах почвенного покрова, структуре и урожайности травянистого яруса пойменных лесов, можно выявить стадии рекреационной дигрессии этих растительных формаций на учетных площадях с учетом их санитарного состояния по 5-ти балльной классификации в этих экосистемах [7; 9; 17].

Пробные площади № 1-3, заложенные в заповеднике, где рекреационного влияния практически нет, поскольку единичные проходы занимают <1%, подстилка не нарушена, возобновление подроста древостоя не повреждено и не угнетено, санитарное состояние фитоценозов в пределах 4,9-6,5% (за счет подмыва берега и падения отдельных деревьев в половодье), поэтому эти сообщества можно отнести к I стадии рекреационной дигрессии.

На участке № 4 имеются одиночные проходы, подстилка распушена, вытоптанная площадь занимает 1-5%. Травяной покров нарушен слабо, лесовосстановление нормальное, в древостое сохраняется ярусное сло-

жение, но усиливается роль кустарникового яруса и более светолюбивых растений. выделена II стадия дигрессии сообщества.

Участок № 5 характеризуется хорошо выраженой тропиночной сетью, вытоптанная площадь составляет до 5,1-10%, подстилка на тропе полностью разрушена. Здесь самое высокое флористическое разнообразие сообщества, составляюшее 73 вида. Нарушенные участки занимают от 10 до 30% общей площади, вне тропинок возобновление подроста удовлетворительное, но вдоль тропинок он полностью выпадает. Здесь определена III стадия дигрессии.

На участке № 6 из-за высокой влажности биотопа тропиночная сеть развита слабо, идет активное лесовосстановление, подстилка на тропах слабо распушена. Вытоптанная площадь составляет около 5%. Хорошо развит кустарниковый ярус, древостой вторичный, многоствольный, невысокий, хорошее световое довольствие под пологом леса, поэтому высоко проективное покрытие травостоя. В целом, здесь определена II стадия дигрессии фитоценоза.

Участки № 7 и № 8 в нижнем течении – здесь резко сокращается численность видов, их покрытие, фитомасса травостоя состоит из лесных и лесо-луговых растений, резко возрастает значимость сорных видов в укосах. Угнетение древесного яруса и фрагментировании кустаникового с самым высоким уплотнением почвы. Тропинки густой сетью опутывают участки, подрост угнетен и вдоль их полностью выпадает, подстилка встречается только отдельными пятнами около ствола деревьев, образуются промоины на тропах, активизируется поверхностная эрозия, наносы из мелкозема и камней. Вытоптанная площадь составляет до 25-30%. (в том числе за счет выпаса животных местным населением). Здесь степень рекреационной дигрессии достигла IV стадии, переходящей в V стадию. Ближе к устью реки лес сведен полностью и идет активное строительство рекреационных объектов.

Прирусловые леса в связи с их высокой уязвимостью к человеческому воздействию могут использоваться в качестве биоиндикаторов для оценки степени антропогенного воздействия.

Выводы

1. На описанных пробных участках была проведена лесотаксация и определены характерные типы растительности и почв. В верховьях это: свежая черноольхово-грабовая бучина, свежая черно-ольховая бучина и влажный черноольхово-грабовый груд, которые являются характерными

для прирусловых лесов в Горном Крыму. Данные экосистемы характеризуются как зрелые высокополнотные сообщества с хорошим санитарным состоянием. Выявлены динамические флюктуации этих лесов с сохранением их относительной устойчивости по составу и структуре. В травянистом ярусе наблюдается тенденция повышение общего проективного покрытия и флористического богатства сообщества с уменьшением высоты над уровнем моря.

2. В среднем течении преобладают следующие типы леса: свежая буково- черноольхово-ореховая дубрава, свежая ясенево-лещиново-грушевая дубрава и свежая ясенево-тополево-грабинниково-ивововая дубрава. Они хотя и включают в свою структуру элементы естественных прирусловых лесов, но по происхождению уже являются вторичными сообществами. Значительную роль в дальнейшем развитии этих фитоценозов уже играет внедряющаяся культурная растительность. Они характеризуются упрощенной структурой, снижается сомкнутость древостоя, его продуктивность, они становятчя низкобонитетными. Выпас скота привел к уплотнению почвы, увеличению процента сорных видов в травостое и снижению возобновления древесных пород. Видовая насыщенность возрастает за счет внедрения лугово-степных растений с широкой экологической амплитудой и замещения ими лесных видов. Следовательно, данные фитоценозы находятся на разных стадиях дигрессионных сукцессий вплоть до их полного разрушения при усилении нагрузки (II-III стадия дигрессии).

3. В нижнем течении реки Кача наиболее характерны свежая тополево-ивовая дубрава и влажный тополево-черноольхово-ясенево-ивовый груд. Они иллюстрируют деградированные лесные сообщества, занимающие небольшие площади вдоль русла. На их существование влияют близость сельхозугодий и осуществляемая на этих территориях сельскохозяйственная деятельность. Они характеризуются расстроенной структурой, низкими сомкнутостью и бонитетом, слабым возобновлением подроста, обилием кустарникового яруса с включением культурной растительности. Здесь отмечена наибольшая численность рудеральных видов в составе травостоя и его низкая продуктивность. Дигрессионные сукцессии, происходящие в этих фитоценозах, ведут к их разрушению и замене на крайне неустойчивые растительные группировки.

4. С учетом выявленных тенденций деградации пойменных лесов в среднем и нижнем течении вдоль русла реки Кача следует снизить антропогенную нагрузку на них путем: запрета на распашку пойменных земель в полосе береговой санитарной зоны, проведения заготовки кормов только сенокошением,

не допуская здесь выпаса скота местным населением, в притеррасной пойме на сельхозугодьях необходимо жестко контролировать используемые виды химических средств защиты растений и внесение удобрений.

Список литературы

1. Бушов, А. В., Гавриленко, В. П., & Катмаков, П. С. (2020). *Биометрия*. Москва: ООО Юрайт.
2. Воробьева, Л. А. (1998). *Химический анализ почв.* Москва: МГУ.
3. Глушко, С. Г., Галиулин, И. Р., & Шайхразиев, Ш. Ш. (2022). *Лесные экосистемы и оценка их состояния.* Казань: Казанский государственный аграрный университет.
4. Дидух, Я. П. (1992). *Растительный покров Горного Крыма* (*Структура, динамика, эволюция и охрана*). Киев: Наукова думка.
5. Добровольский, Г. В., Балабко, П. Н., Стасюк, Н. В., & Быкова, Е. П. (2011). Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия. *Аридные экосистемы*, *17*(3), 5-13.
6. Драган, Н. А. (2015). Деградационные процессы в почвах Крыма. В *Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах*: материалы VI международной научной конференции (Белгород, 12-16 октября 2015 г.). Белгород: Политерра, стр. 215-220.
7. Ивонин, В. М. (2019). *Использование лесов для осуществления рекреационной деятельности. Рекреационное лесопользование.* Новочеркасск: ООО «Лик».
8. Исиков, В. И., Плуготарь, Ю. В., & Коба, В. П. (2014). *Методы исследования лесных экосистем Крыма.* Симферополь: ИТ «АРИАЛ».
9. Захаров, С. Г. (2022). Особенности изучения рекреационной нагрузки в городских парках и лесах рекреационного назначения по состоянию троп. *Астраханский вестник экологического образования*, (*71*), 150-157. https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-5-150-157
10. Котов, М. И. (1926). Ботанико-географические исследования в бассейне реки Кача и окрестностях города Бахчисарай. *Журнал русского ботанического общества*, *XI*(1-2), 14-56.
11. Кобечинская, В. Г. (2016). Динамика горизонтальной структуры пойменной растительности на заповедных территориях Крыма. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, *2*(68)(1), 63-78.
12. Кобечинская, В. Г., Пышкин, В. Б., & Ончуров, В. М. (2019). Оценка состояния почв прирусловых лесов вдоль реки Кача на заповедной и антропо-

генно-преобразованной территориях. В *Заповедники - 2019: биологическое и ландшафтное разнообразие, охрана и управление:* материалы IX всероссийской научно-практической конференции (Симферополь, 9-11 октября 2019 г.). Симферополь: ООО «Типография «Ариал», стр. 173-177.

13. Мамонтов, В. Г. (2023). *Химия почв.* Москва: Научно-издательский центр ИНФРА-М. https://doi.org/10.12737/1079438
14. Мартынов, А. Н., Мельников, Е. С., Ковязин, В. Ф., Аникин, А. С., Минаев, В. Н., & Беляева, Н. В. (2008). *Основы лесного хозяйства и таксация леса.* Санкт-Петербург: ООО «Лань».
15. Миркин, Б. М. (2010). *Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки.* Москва: Товарищество научных изданий КМК.
16. Олиферов, А. Н., & Тимченко, З. В. (2005). *Реки и озера Крыма.* Симферополь: Доля.
17. Поляков, А. Ф. (2003). *Водорегулирующая роль горных лесов Карпат и Крыма и пути оптимизации при антропогенном воздействии.* Симферополь: Доля.
18. Поляков, А. Ф., & Плуготарь, Ю. В. (2009). Лесные формации Крыма и их экологическая роль. *Сборник материалов Харьковского научного форума,* сс. 220-269.
19. Посохов, П. П. (1969). Лесорастительное районирование горного Крыма. *Лесоводство и агролесомелиорация*, *16*, 105-119.
20. Приказ Рослесхоза № 62 от 21 февраля 2012 г. «Об утверждении правил использования лесов для осуществления рекреационной деятельности». Получено с http://legalacts.ru/doc/prikaz-rosleskhoza-ot-21022012-n-62-ob/. Дата обращения: 5 апреля 2024 г.
21. Черепанов, С. К. (1995). *Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР).* Санкт-Петербург: Мир и семья.
22. Шилов, Л. Л., Тонконогов, В. Д., Лебедева, И. И., & Герасимова, М. И. (2004). *Классификация и диагностика почв России.* Смоленск: Ойкумена.
23. Mattson, W. Y. (1995). Escalating Anthropogenic Stresses on Forest Ecosystems. *TUFRO World Forest Congress*, 91-97.
24. Mansourian, S., & Vallauri, D. (2014). Restoring Forest Landscapes: Important Lessons Learnt. *Environmental Management*, *53*(2), 241-251. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0213-7
25. Ulanova, S. S., & Lidzhieva, N. C. (2015). Environmental Monitoring of the Deed-Hulsun Reservoir and Its Adjacent Territories. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *12*(1), 11-15. https://doi.org/10.13005/bbra/1753

References

1. Bushov, A. V., Gavrilenko, V. P., & Katmakov, P. S. (2020). *Biometry*. Moscow: Yurait LLC.
2. Vorobyova, L. A. (1998). *Chemical analysis of soils.* Moscow: MSU Press.
3. Glushko, S. G., Galiyullin, I. R., & Shaykhraziev, Sh. Sh. (2022). *Forest ecosystems and their condition assessment.* Kazan: Kazan State Agrarian University.
4. Didukh, Ya. P. (1992). Vegetation cover of the mountainous Crimea (structure, dynamics, evolution, and conservation). Kyiv: Naukova Dumka.
5. Dobrovolskii, G. V., Balabko, P. N., Stasyuk, N. V., & Bykova, E. P. (2011). Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Arid Ecosystems*, *17*(3), 5-13.
6. Dragan, N. A. (2015). Soil degradation processes in Crimea. In *Problems of Natural Resources Use and Ecological Situation in European Russia and Neighboring Countries*: Proceedings of the VI International Scientific Conference (Belgorod, October 12-16, 2015). Belgorod: Polyterra, pp. 215-220.
7. Ivonyn, V. M. (2019). *Use of Forests for Recreational Activities. Recreational Forestry.* Novocherkassk: Lik Ltd.
8. Isikov, V. I., Plugotar', Yu. V., & Koba, V. P. (2014). *Methods for Studying Forest Ecosystems of Crimea.* Simferopol: IT ARIAL.
9. Zakharov, S. G. (2022). Features of studying recreational load in urban parks and recreation-oriented forests based on trail conditions. *Astrakhan Bulletin of Ecological Education*, *5*(71), 150-157. https://doi.org/10.36698/2304-5957-2022-5-150-157
10. Kotov, M. I. (1926). Botanicogeographical studies in the basin of the Kacha River and surroundings of Bahchisarai. *Journal of Russian Botanical Society*, *XI*(1-2), 14-56.
11. Kobechinskaya, V. G. (2016). Dynamics of horizontal structure of riparian vegetation at protected areas in Crimea. *Scientific Notes of Vernadsky CFU. Biology. Chemistry*, *2*(68)(1), 63-78.
12. Kobechinskaya, V. G., Pyshkin, V. B., & Onchurov, V. M. (2019). Assessment of soil state of riverside forests along the Kacha River in protected and anthropogenically transformed areas. In *Nature Reserves - 2019: Biological and Landscape Diversity, Conservation and Management*: Materials of the IX All-Russia Scientific-Practical Conference (Simferopol, October 9-11, 2019). Simferopol: ARIAL Printing House, pp. 173-177.
13. Mamantov, V. G. (2023). *Soil chemistry.* Moscow: INFRA-M Publishing Center. https://doi.org/10.12737/1079438

14. Martynov, A. N., Mel'nikov, E. S., Kovyazin, V. F., Anikin, A. S., Minaev, V. N., & Belyaeva, N. V. (2008). *Fundamentals of forestry and forest surveying.* Saint Petersburg: Lan Publishers.
15. Mirkin, B. M. (2010). Methodological approaches to ecological evaluation of forest cover in small river basins. Moscow: Scientific Publications Association KMK.
16. Oliferov, A. N., & Timchenko, Z. V. (2005). *Rivers and Lakes of Crimea.* Simferopol: Dolya.
17. Polyakov, A. F. (2003). Water-regulating role of Carpathian and Crimean mountain forests and optimization ways under anthropogenic impact. Simferopol: Dolya.
18. Polyakov, A. F., & Plugotar', Yu. V. (2009). Forest formations of Crimea and their ecological roles. Kharkiv: New Word Publishing House, pp. 220-269.
19. Posokhov, P. P. (1969). Forest-growing regionalization of the Mountainous Crimea. *Forestry and Agroforestry*, *16*, 105-119.
20. Order of Federal Agency of Forestry (Rosleshoz) dated February 21, 2012, No. 62 "On Approval of Rules for Using Forests for Recreational Purposes." Retrieved April 5, 2024, from http://legalacts.ru/doc/prikaz-rosleskhoza-ot-21022012-n-62-ob/.
21. Cherepanov, S. K. (1995). *Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR boundaries).* Saint Petersburg: Mir i Sem'ya.
22. Shilov, L. L., Tonkonogov, V. D., Lebedeva, I. I., & Gerasimova, M. I. (2004). *Classification and Diagnosis of Soils of Russia.* Smolensk: Oykumen.
23. Mattson, W. Y. (1995). Escalating anthropogenic stresses on forest ecosystems. *TUFRO World Forest Congress*, 91-97.
24. Mansourian, S., & Vallauri, D. (2014). Restoring forest landscapes: important lessons learned. *Environmental Management*, *53*(2), 241-251. https://doi.org/10.1007/s00267-013-0213-7
25. Ulanova, S. S., & Lidzhieva, N. C. (2015). Environmental monitoring of the Deed-Hulsun reservoir and its adjacent territories. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *12*(1), 11-15. https://doi.org/10.13005/bbra/1753

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кобечинская Валентина Григорьевна, к.б.н, доцент кафедры экологии и зоологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»
просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015, Российская Федерация
valekohome@mail.ru

Ярош Ольга Борисовна, д.э.н., профессор кафедры маркетинга, торгового и таможенного дела
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»
просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015, Российская Федерация
Iarosh.olga.cfu@gmail.com

Апостолов Валерий Леонидович, к.б.н, доцент кафедры экологии и зоологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского»
просп. Вернадского, 4. г. Симферополь, Республика Крым, 295015, Российская Федерация
valeraapostolov@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina G. Kobechinskaya, PhD, Docent of the Ecology and Zoology Department
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
valekohome@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9467-9533
Scopus Author ID: 57210976735

Olga B. Yarosh, Doctor of Economics, Professor of the Department of Marketing, Trade and Customs
V.I. Vernadsky Crimean Federal University

4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
iarosh.olga@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9663-2528
SPIN-code: 7140-3642

Valery L. Apostolov, Ph.D., Docent of the Ecology and Zoology Department
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Prospekt Vernadskogo, Simferopol, Republic of Crimea, 295007, Russian Federation
valeraapostolov@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4591-1006
Scopus Author ID: 57211965865

Поступила 05.08.2024 Received 05.08.2024
После рецензирования 20.08.2024 Revised 20.08.2024
Принята 02.09.2024 Accepted 02.09.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1029 **EDN: UYKVCV**
УДК 504.1

Обзорная статья

ВЛИЯНИЕ РУБОК НА ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ В РАЙОНАХ С МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

А.В. Шемякина

Аннотация

Обоснование. На общем фоне потепления климата освоение лесов при заготовке древесины в лесах на многолетней мерзлоте последствия могут нести глобальные масштабы. Сплошная вырубка леса изменяет микрорельеф, физические свойства почвы, повышается температура оттаивания деятельного слоя.

Цель. Обзор и анализ научной литературы по лесовосстановлению на вырубках и экологическим последствия на почвах с многолетней мерзлотой.

Материалы и методы. В ходе исследований выполнен поиск и анализ научной литературы по теме исследований с 1940 по 2022 гг. используя ресурсы поисковых систем eLIBRARY, Академии Google и фондовых библиотечных материалов.

Результаты. Леса на многолетней мерзлоте чрезвычайно уязвимы, при нарушении лесного покрова изменяются вплоть до превращения в пустыри. При заготовке древесины происходит нарушение природного хода возобновления древесной растительности на почвах с многолетней мерзлотой. При рубке лесных насаждений изменяется температура воздуха в сторону повышения градуса, меняется состав почв, их влажность. Вследствие чего льды под почвой тают – развивается карстовые процессы.

Наибольшие изменения в условиях многолетней мерзлоты наблюдались после сплошной рубки в лиственничных насаждениях. Сплошная рубка резко смещает баланс углерода лесной экосистемы в сторону выделения углекислого газа в атмосферу.

Заключение. Леса в лесных районах с распространением многолетней мерзлоты нуждаются в сохранении и восстановлении вырубленных территорий. Накоплен большой опыт исследователей по оценке состояния лесовосстановления и путей содействия ему. Сплошная рубка леса вносит значительные изменения в лесорастительную среду. Антропогенные изменения проявляются по-разному: от смены главной породы до появления термокарстов, солифлюкации.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота; мерзлотные условия; глубина оттаивания; рубка леса; лесовосстановление; экологические последствия

Для цитирования. Шемякина, А.В. (2025). Влияние рубок на лесовосстановление в районах с многолетней мерзлотой и экологические последствия. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 93-112. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1029

Scientific Review

THE IMPACT OF LOGGING ON REFORESTATION IN AREAS WITH PERMAFROST AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES

A.V. Shemyakina

Abstract

Background. Against the general background of climate warming, the development of forests during logging in forests on permafrost can have global consequences. Continuous deforestation changes the microrelief, the physical properties of the soil, and the thawing temperature of the active layer increases.

Purpose. Review and analysis of scientific literature on deforestation and ecological consequences on soils with permafrost.

Materials and methods. In the course of the research, a search and analysis of scientific literature on the topic of research from 1940 to 2022 was carried out using the resources of the eLibrary search engines, the Google Academy and stock library materials.

Results. Forests on permafrost are extremely vulnerable, and when the forest cover is disturbed, they change until they turn into wastelands. When harvesting wood, there is a violation of the natural course of the renewal of woody vegetation on soils with permafrost. When cutting down forest plantations, the air temperature changes in the direction of an increase in degree, the composition of soils and their humidity change. As a result, the ice under the soil is melting - karst processes are developing.

The greatest changes in permafrost conditions were observed after continuous logging in larch plantations. Continuous logging dramatically shifts the carbon balance of the forest ecosystem towards the release of carbon dioxide into the atmosphere.

Conclusion. Forests in forested areas with the spread of permafrost need to preserve and restore felled areas. Researchers have accumulated extensive experience in assessing the state of reforestation and ways to promote it. Continuous logging

makes significant changes to the forest environment. Anthropogenic changes manifest themselves in different ways: from the change of the main rock to the manifestation of thermokarst, solifluction.

Keywords: permafrost; permafrost conditions; thawing depth; logging; reforestation; environmental consequences

For citation. Shemyakina, A.V. (2025). The impact of logging on reforestation in permafrost areas and environmental consequences. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 93-112. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1029

Введение

Мерзлотно-таёжные лесные районы Дальневосточного федерального округа включают в себя Восточно-Сибирский таёжно-мерзлотный и Забайкальский горно-мерзлотный лесные районы. Леса на многолетней мерзлоте нуждаются в обоснованных бережных подходах при лесопользовании, конкретно подходящих для условий изучаемых лесов, так как лес, кроме водорегулирующих, почвозащитных, водоохранных функций, выполняет мерзлотно-защитную функцию [24]. В настоящее время на изучаемых территориях наблюдается интенсивное освоение лесных ресурсов, в том числе и заготовка древесины. В лесных районах, в основном, проводятся, сплошнолесосечные рубки.

На общем фоне потепления климата, последствия вырубок несут колоссальные мировые масштабы отрицательного воздействия. Вырубка леса и экология – тесно связаны между собой взаимодействия. Вырубка леса может вызвать термопросадки, оползни, термоэрозии. Актуальность проблемы подчеркивается тем, что при освоении лесов на многолетней мерзлоте, необходима разработка технологий и рекомендаций, направленная на восстановление и сохранение лесов криолитозоны.

Цель исследования

Обзор и анализ научной литературы по лесовосстановлению на вырубках и экологическим последствия на почвах с многолетней мерзлотой.

Материалы и методы

В ходе исследований выполнен поиск и анализ научной литературы по теме исследований с 1940 по 2022 гг. используя ресурсы поисковых систем *eLIBRARY*, *Академии Google* и фондовых библиотечных материалов. Исследование по изучаемой теме рассматривалось по вопросам: лесовосстановление на вырубках и экологическим последствия.

Результаты

Влияние рубок по тематике лесовосстановительных процессов при сплошных вырубках на почвах с многолетней мерзлотой исследователи изучали в разные времена [3; 5; 8-9; 17; 19; 21; 23; 25-26; 34; 38; 42; 60; 63].

Процессу лесовосстановления в лесах многолетней мерзлоты в различных условиях уделяется достаточное внимание. Начиная с работ Р. И. Аболина и В. Н. Сукачева, а также в монографиях, сборниках и статьях рассматривается объем и полнота данных о состоянии лесного процесса [1; 57]. О более подробном лесовосстановлении в условиях вечной мерзлоты свидетельствует лесовосстановление сосны и ограниченные работы по лесовозобновлению ели *(Picea*), кедра (*Pinus*) и березы (*Betula*). Особое внимание авторы обращают на плодоношение лиственничных культур [29; 43-47; 62]. Исследования направлены на тонкости лесообсеменения лиственницы (*Larix*) в мерзлотных лесных районах и примыкающих территорий. Авторы приводят данные натурных обследований лесосек, отмечая периоды, когда лиственница практически не плодоносила. Однако, в целом, лиственница распространяла семена на приемлемом уровне, что обеспечивало возобновление подроста. Для наглядности исследователи по годам представлены в табл.

Таблица.

Обзор литературных источников

Года	Исследователи
Естественное возобновление и лесовосстановление после вырубок на мерзлотных почвах	
1912-1929	Сукачев В.Н. (1912); Аболин Р.И. (1929); Ткаченко М.Е. (1931)
1940-1969	Молчанов А.А. (1940);Черников В.А. (1951); Дадыкин В.Н. (1952); Львов А.Н. и др (1954);Поздняков Л.К. (1958; 1961; 1963; 1975); Тюлин Л.Н. (1959);Уткин А.И. (1960); Щербаков И.П. (1965); Виппер В.Н. (1964-1965); Мелехов И.С. (1965; 1966); Токарев И.Д. (1969)
1970-1995	Андриянов Н.Г. (1970); Михалева (1971); Чугунова Р.В. (1971); Котляров И.И. и др. (1971);Вершняк В.М. и др (1972);Медведева Н.С. (1972); Калиниченко Н.П. и др. (1973); Рылков В.Ф. (1973; 1986); Виппер В.Н. (1975); Бойченко А.М. (1987);Щурдук И.Ф. (1987);Бобринцев В.П. и др (1988); Бизюкин В.В. и др. (1989); Казымов С.А. (1989); Побединский А.В. (1989); Исаев А.П. (1993)
1996 – по настоящее время	Бойченко А.М. (2000); Тимофеев П.А. (2000); Лыткина Л.П.(2005);Исаев А.П. (2011);Антропова В.Ф. (2013); Бобринцев В.П. (2015);Зленко Л.В. И др. (2015); Габышева Л.П. (2018); Григорьева О.И. (2018); Григорьев И.В. (2019); Николаев В.В. (2020); Никитина Н.В. (2020);Федоров А.Я. (2020); Шпагин Д.Е. и др. (2021); Петров О.Г. (2022)

Возобновление лиственницы и сосны в лесах Республики Саха (Якутия) изучалось А.А. Молчановым (1940); В.А. Черниковым (1951); А.И. Уткиным (1960); Л.К. Поздняковым (1963); И.П. Щербаковым (1965); В.Н Виппер (1965; 1973); А.П. Исаевым (1993; 2011); Никитиной Н.В. (2005); Л.П. Лыткиной (2005), Ю.В. Рубцовым (2010); В. П. Бобриневым (2015); Л.П. Габышевой (2018); О.И. Григорьевой (2018); О.Г. Петровым (2022) [4; 10; 13; 15; 21-22; 31; 35; 37; 41; 45; 50; 61; 64]. Естественное восстановление леса при вырубке зависит от численности, частоты плодоношения, качества и степени распространения семян. Ареал распространения лиственницы отличается тем, что эта порода обладает высокой репродуктивной способностью. Плодоношение и интенсивность могут значительно различаться географически и со временем, но в самых неблагоприятных условиях лиственница возобновляется семенами на вырубленных участках и близлежащих территориях [46]. А.П. Исаев (2000) отмечает, что условия для посева лиственницы благоприятны: урожай и качество посева семян удовлетворяет условиям при небольших размерах лесосеки [22].

Авторы, в целом отмечают, что процесс лесовосстановления является удовлетворительным, и его изменение обусловлено временным фактором. Конечно, в некоторых случаях по определенным причинам вышеупомянутый процесс был необратимо нарушен. Однако следует отметить, что подавляющее большинство работ характеризует условно-естественный и закономерный процесс лесовосстановления, который изначально характерен для конкретного лесного биогеценоза. В то же время было изучено возобновление вырубок в районах, где рубки велись без применения тяжелой современной техники, сильно изменяющей экологическую обстановку. Современные технологии внедряются в практику лесного хозяйства Республики Саха (Якутия), но исследований последствий их использования не проводилось.

Переходя к вопросу о экологическом влиянии рубок, в статье необходимо охарактеризовать естественные мерзлотные условия. Мощность активного мерзлотного слоя в Якутии изменяется от 0,5 м до 3,5 м и зависит от климатических условий: чем дальше на юг, тем выше мощность активного слоя. 40 % всей площади Якутии (Северное побережье) мощность слоя варьирует от 0,5 до 1 м. Зона с наибольшим показателем деятельного слоя расположена в Южной Якутии, толщина находится в диапазоне 3-3,5 м (всего 3 % территории Якутии). Для условий Якутии первое обобщение данных о межгодовой изменчивости глубины таяния принадлежит Л.К. Позднякову [46]. В различных регионах глубина оттаивания на суглини-

стых, суглинисто-песчаных и супесчаных почвах многолетней мерзлоты, в среднем, составляет 1,3-1,8 м [46] (рис.).

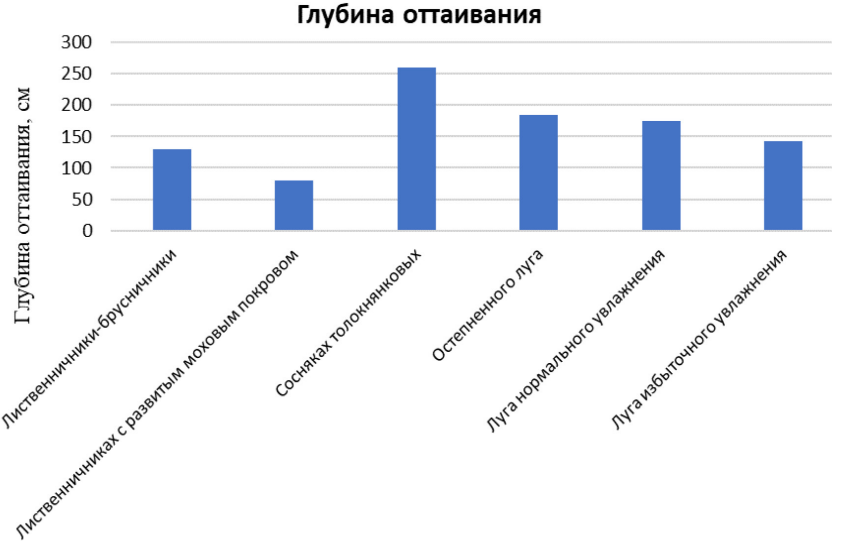


Рис. Глубина оттаивания на почвах с многолетней мерзлотой в зависимости от типа местности и типа леса

Обобщение информации о межгодовой вариабельности глубины оттаивания также принадлежит М.К. Гавриловой (1966), А.В. Павлову [14; 39-40].

А.Л. Аре и Р. Я. Демченко (1972) указывают на главную роль показателей активной суммы температур воздуха (в летние время) в межгодовом изменении глубины оттаивания в регионе Якутска [2]. Сотрудники Института мерзлотоведения (ИМЗ) СО АН СССР П.Н. Скрябиным, С.П. Варламовым и Ю.Б. Скачковым с 1982 г. проводятся исследования параметров температурного режима грунтов на стационаре Чабада, а с 1990-х гг. и на правобережье р. Лены [7; 5; 24; 27; 49; 56].

Влияние рубок на лесовосстановительные процессы на мерзлотных почвах

Растительный покров имеет значительное влияние на плотность и толщину активного слоя. После вырубки леса или уничтожения древостоя пожаром глубина летнего таяния возрастает почти в 1,5-2 раза. В сосняках на песчаных почвах глубина оттаивания повышается до 2,4-2,8 м, иногда

несколько более. В Верхоянске, мощность деятельного слоя, в среднем, в 1,5-2 раза меньше, чем в Центральной Якутии.

По данным исследователей А.И. Уткина (1965) и Л.П. Лыткиной (2010), на выгоревших площадях и вырубках в Центральной Якутии почва оттаивает на 0,3 (0,4)-0,6 (0,8) м глубже, чем в лесу, [31; 61]. Открытая поверхность создает условия для прогревания солнечной энергии площадей [28; 30; 53].

Повышение температуры грунтов и увеличение мощности сезонно-талого слоя приводит к изменению мерзлотных грунтов, сопровождаемое развитием термопросадок, солифлюкции, термоэрозии и оползней.

Л.К. Поздняков наблюдал процесс в 1936 в Якутии по дороге от с. Покровска на юг зарождение озера на месте выгоревшего лиственничного леса [47].

Трещины, образовавшие характерное расчленение поверхности, имели по верху ширину около одного метра и глубину более 1,5 м. В 1950 г. на месте этого участка уже наблюдалось озеро округлой формы в поперечнике около 100 м с не заросшими пологими берегами. В 1980 г. озеро полностью сформировалось, а от его западной оконечности отходил участок с полигональным рельефом и заполненными водой трещинами, такого же вида, как это было в 1936 г.

Пласт сезонного протаивания достигает слоя сильнольдистых горизонтов и лед начинает таить, что вызывает нарушение склоновых процессов с уничтожением грунта и широкого слоя отложений. Поверхность плодородной почвы вымывается в реки и занижается вероятность восстановления лесного участка. Без восстановления растительности территории становятся источником денудации и эрозии поверхностных отложений. Примером послужил массовый сход грунтовой массы в виде селевых потоков и оползней на реке Амги в Амгинском районе Республики Саха (Якутия) в 2013 г. В тот момент было зафиксировано 14 больших и малых оползней до 100 м шириной [16].

Лесохозяйственная деятельность в древостоях сопровождается развитием водной эрозии. Чем больше осадков, тем сильнее проявление эрозии. А в условиях наблюдавшегося потепления климата многолетняя мерзлота становится все более чувствительной к негативным внешним факторам [6].

При сплошнолесосечной вырубке леса, а именно в сосновых насаждениях авторы отмечают повышение температуры грунтов на 0,3 °С на глубине 10 метров [56; 65]. По наблюдениям В.В. Николаевой (2020) сезонная лесная дорога, проходящая по склону хребта, за 6-7 лет превратилась в овраг в Центральной Эвенки глубиной до 5 м [38]. Ежегодные весенние размывы дна ущелья приводят к интенсивному таянию ледяных масс и развитию термоабразии.

Коллективом Национального научно-исследовательского центра (ННИИЦ) Франции, Университета Аляски и Институтом мерзлотоведения СО РАН им. академика Мельникова, зафиксировано, что ход процесса таяния многолетней мерзлоты повышает температуру воздуха, почвы и воды [18; 48].

Влияние рубок на эмиссию парниковых газов в мерзлотных экосистемах

Анализ исследований многолетних серий наблюдений выявил, что природные не вырубленные древостои поглощают CO_2 в атмосфере в интервале средних сезонных годовых характеристик 80-230 г С/(м^2 год) в разнообразных биогеоценозах [36]. Для естественных лесных систем Восточной и Средней Сибири наблюдается небольшая неустойчивая изменчивость сумм равновесия CO_2 с атмосферой в лесах. Изменение данного показателя в насаждениях северной тайги - 100 г С/м^2 в год.

Межгодовое изменение в лиственных лесах Якутии было взаимосвязано с колебаниями погодных условий. Изменения баланса климата, нарушения естественных ландшафтов приводят к видоизменению углеродного показателя экосистем, являются причиной увеличения межгодовой сезонной изменчивости. Сплошная вырубка древостоев резко передвигает равновесие углерода лесной системы в направление выделения CO_2 в атмосферу. Рубка служит сильным источником CO_2 для атмосферы, от 192 до 560 г С/м^2 за вегетационный период [36].

Д.В. Карелин и др. (2017) в своей работе оценивает влияние антропогенного вмешательства на выбросы основных парниковых выхлопов в зоне многолетней мерзлоты [12]. Мерзлотные биогеоценозы выступают не только как источник, но и как выброс метана в атмосферу.

Потепление климата, повышение сезонных температур за последние 150 лет приводит к разрушению многолетней мерзлоты. Таяние льда в многолетних мерзлых почвах затрудняет строительство и эксплуатацию различных сооружений, вызывает их деформацию [5].

Заключение

В статье освещены такие вопросы, как лесовосстановление лесных насаждений на вырубках в зоне распространения многолетней мерзлоты, в лесах которых абсолютно преобладает лиственница даурская, Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Исследователями разных времен накоплен и обобщён опыт оценки состояния лесовосстановления в мерзлотно-таёжных лесных районах. В настоящее время в лесах Республики Саха (Якутия) действует но-

вая тяжёлая техника, оказывающая негативное воздействие на почву, микрорельеф, на лесовозобновление. Способы рубок определяют ход и развитие лесовосстановительного процесса. Отмечено, что чем «моложе» рубка, тем более наглядно происходят антропогенные факторы. Проанализированы риски проведения лесосечных работ на территориях с многолетней мерзлотой, которые потенциально могут усилить процессы деградации многолетней мерзлоты и привести к существенному увеличению выбросов парниковых газов.

Список литературы

1. Аболин, Р. И. (1929). *Геоботаническое и почвенное описание Лено-Вилюйской равнины*. В книге: Труды Комиссии по изучению ЯАССР. Том X. Ленинград: Издательство Академии наук СССР.
2. Арэ, А. Л., & Демченко, Р. Я. (1972). Некоторые результаты многолетних наблюдений за протаиванием грунта в окрестностях Якутска. В сборнике: *Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах* (стр. 91–97). Москва: Наука.
3. Бизюкин, В. В., Данилова, В. Ф., & Бакунова, О. А. (1989). Естественное возобновление на вырубках в мерзлотных лиственничниках Икатского хребта. В материалах региональной научно-практической конференции «Итоги изучения лесов Дальнего Востока и задачи интенсификации многоцелевого лесопользования», Хабаровск, сентябрь 26–29, 1989 (стр. 105–107). Хабаровск: ДальНИИЛХ.
4. Бобринев, В. П., Пак, Е. Н., & Филиппова, Е. В. (2015). Лесопользование и лесовосстановление в районе Амазарского ЦБК. *Вестник Забайкальского государственного университета*, 12(127), 11–18.
5. Бойченко, А. М. (2000). Искусственное лесовосстановление. В книге: *Лес и вечная мерзлота: Особенности состава и структуры лесов мерзлотного региона, проблемы рационального ведения хозяйства и охраны* (стр. 141–143). Якутск: Издательство Якутского университета.
6. Бурцева, Е. И., & Петрова, А. Н. (2017). Экологические проблемы северных территорий Якутии в условиях промышленного освоения и глобального потепления. *Успехи современного естествознания*, 5, 83–88.
7. Варламов, С. П., Скачков, Ю. Б., & Скрябин, П. Н. (2002). *Температурный режим грунтов мерзлотных ландшафтов Центральной Якутии*. Якутск: Институт мерзлотоведения СО РАН.
8. Вершняк, В. М., Протопопов, В. В., & Поздняков, Л. К. (1972). *Рекомендации по проведению мер содействия естественному возобновлению и лесным культурам в лиственничных и сосновых лесах Якутии*. Красноярск.

9. Виппер, В. Н. (1964). Влияние травяно-кустарничкового покрова на возобновление лиственницы даурской в Центральной Якутии. В серии: *Возобновление и улучшение лесов* (Выпуск 8).
10. Виппер, В. Н. (1965). Эколого-фитоценотические факторы, определяющие жизнеспособность соснового подроста. В книге: *Физиологическая характеристика древесных пород Средней Сибири* (стр. 141–150). Красноярск: Красноярское книжное издательство.
11. Виппер, В. Н. (1973). *Влияние подлеска и травяно-кустарничкового покрова на возобновление лиственничных лесов Центральной Якутии*. Москва: Наука.
12. Карелин, Д. В., Горячкин, С. В., Замолодчиков, Д. Г., Долгих, А. В., Зазовская, Э. П., Шишков, В. А., & Краев, Г. Н. (2017). Влияние различных видов антропогенного воздействия на эмиссию парниковых газов в мерзлотных экосистемах. *Доклады Академии наук*, *477*(5), 610–612. https://doi.org/10.7868/S0869565217350225
13. Габышева, Л. П. (2018). Лесовосстановление на гарях Юго-Западной Якутии (на примере Олекминского района). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, *20*(5-3)(85), 335–340.
14. Гаврилова, М. К. (1966). Пространственная и временная изменчивость сезонного протаивания в Якутии. В сборнике: *Сезонное протаивание и промерзание грунтов на территории Северо-Востока СССР* (стр. 7–13). Москва: Наука.
15. Григорьева, О. И. (2018). Особенности естественного лесовосстановления в условиях криолитозоны. *Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика*, *6*(4)(40), 25–29.
16. Готовцев, С. П. (2016). Деградация вечной мерзлоты — серьезная опасность. *Наука и техника в Якутии*, *(1)(30), 45–49.*
17. Дадыкин, В. Н. (1952). *Особенности поведения растений на холодных почвах.* Москва: Издательство Академии наук СССР.
18. Джамалов, Р. Г., & Сафронова, Т. И. (2018). Влияние многолетнемерзлых пород на формирование водных ресурсов Восточной Сибири на примере отдельных рек Восточной Сибири. *Водные ресурсы*, *45*(4), 341–352. https://doi.org/10.1134/S0321059618040090
19. Зленко, Л. В., Кошурникова, Н. Н., & Жуйков, А. В. (2015). Лесовосстановительные процессы на вырубках и гарях. *Современные проблемы науки и образования*, *(5), 681*.
20. Исаев, А. П. (2011). *Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии)* (докторская диссертация). Якутск.

21. Исаев, А. П. (1993). *Лиственничные леса среднетаежной подзоны Якутии и лесовозобновление на вырубках* (автореферат кандидатской диссертации). Красноярск.
22. Исаев, А. П. (2000). Естественное возобновление на вырубках и гарях. В книге: *Лес и вечная мерзлота: Особенности состава и структуры лесов мерзлотного региона, проблемы рационального ведения хозяйства и охраны* (редакторы А. П. Исаев, Л. Г. Михалёва), стр. 96–104. Якутск: Издательство Якутского университета.
23. Исаев, А. П. (2011). *Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии)* (докторская диссертация). Якутск.
24. Константинов, П. Я., Фёдоров, А. Н., Угаров, И. С., & Аргунов, Р. Н. (2012). Использование площадок с густой сетью трубчатых измерителей глубины протаивания для мониторинга мощности сезонноталого слоя в Центральной Якутии. В материалах Международной конференции по мерзлотоведению (Том 3, стр. 245–249). Тюмень: Печатник.
25. Казымов, С. А. (1989). Состояние и пути интенсификации лесовосстановления на вырубках прошлых лет в Центральной Якутии. В сб. материалов региональной научно-практической конференции «Итоги изучения лесов Дальнего Востока и задачи интенсификации многоцелевого лесопользования» (сентябрь 26–29, 1989, Хабаровск), стр. 84–86. Хабаровск: ДальНИИЛХ.
26. Калиниченко, Н. П., Писаренко, А. И., & Смирнов, Н. А. (1973). *Лесовосстановление на вырубках.* Москва: Лесная промышленность.
27. Константинов, П. Я., Аргунов, Р. Н., Герасимов, Е. Ю., & Угаров, И. С. (2006). О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов. *Криосфера Земли*, *X*(3), 15–22.
28. Короходкина, В. Г. (1975). Влияние пожаров на температурный режим лесных почв. В трудах научной сессии «Биология проблем Севера» (стр. 26–28). Якутск: ЯФ СО АН СССР.
29. Кречетова, Н. В. (1971). Современное состояние лесного семеноводства в условиях севера Дальнего Востока. В книге: *Биологические ресурсы суши севера Дальнего Востока* (том II, стр. 59–70). Владивосток: Книга.
30. Лыткина, Л. П. (2005). *Динамика растительного покрова на гарях лиственничных лесов Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия)* (автореферат кандидатской диссертации). Якутск.
31. Лыткина, Л. П. (2010). *Лесовосстановление на гарях Лено-Амгинского междуречья: Центральная Якутия.* Новосибирск: Наука.

32. Константинов, П. Я., Фёдоров, А. Н., Угаров, И. С., & Аргунов, Р. Н. (2014). Результаты исследований межгодовой изменчивости глубины сезонного протаивания около Якутска. *Криосфера Земли*, *18*(4), 23–32.
33. Медведева, Н. С. (1972). О формировании генеративных почек у лиственницы даурской на севере Якутии. В книге: *Почвенные и ботанические исследования в Якутии* (стр. 70–74). Якутск: Книжное издательство.
34. Михалева, В. М. (1971). Зарастание разнорежимных вырубок в лиственничнике ольховниково-брусничном на юго-западе Якутии. В сборнике: *Исследования растительности и почв в лесах Северо-востока СССР* (стр. 34–52). Якутск: Книжное издательство.
35. Молчанов, А. А. (1940). Естественное возобновление лиственницы даурской и сосны обыкновенной. *Лесное хозяйство*, *(9), 21–27.*
36. Куричева, О. А., Авилов, В. К., Варлагин, А. В., Гитарский, М. Л., Дмитриченко, А. А., Дюкарев, Е. А., Шилкин, А. В. (2023). Мониторинг экосистемных потоков парниковых газов на территории России: сеть Ruflux. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, *87*(4), 512–535. https://doi.org/10.31857/S2587556623040052
37. Никитина, Н. В. (2005). *Возобновление Pinus sibirica Du Tour на северо-восточной границе ареала (Юго-Западная Якутия)* (кандидатская диссертация). Якутск.
38. Николаев, В. В. (2020). Влияние вырубки леса на образование болот в условиях многолетней мерзлоты. *Академический вестник Якутской государственной сельскохозяйственной академии*, *(11)(16), 9–16.*
39. Павлов, А. В. (1975). *Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР.* Якутск: Книжное издательство.
40. Павлов, А. В. (1980). *Расчёт и регулирование мерзлотного режима почвы.* Новосибирск: Наука.
41. Петров, О. Г. (2022). Анализ естественного постпирогенного лесовозобновления в Центральной Якутии по высокодетальным данным ДЗЗ. В материалах XX Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Москва, ноябрь 14–18, 2022), стр. 327. Москва: Институт космических исследований Российской академии наук. https://doi.org/10.21046/20DZZconf-2022a
42. Побединский, А. В. (1964). *Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья и их возобновление* (автореферат докторской диссертации). Красноярск.
43. Поздняков, Л. К. (1961). *Лиственничные и сосновые леса Верхнего Алдана.* Москва: Издательство Академии наук СССР.

44. Поздняков, Л. К. (1961). Естественное возобновление даурской лиственницы в бассейне реки Яны. В сборнике: *Материалы о лесах Якутии* (выпуск VII, стр. 162–242). Москва.
45. Поздняков, Л. К. (1963). *Лиственничные леса Якутии. Эколого-лесоводственная характеристика и научное обоснование некоторых лесохозяйственных мероприятий* (докторская диссертация). Красноярск.
46. Поздняков, Л. К. (1975). *Даурская лиственница.* Москва: Наука.
47. Поздняков, Л. К. (1986). *Мерзлотное лесоведение.* Новосибирск: Наука.
48. Григорьев, Г. В., Дмитриева, И. Н., Григорьев, И. В., Каляшов, В. А., Рудов, С. Е., & Иванов, В. А. (2021). Проблемы и перспективы лесозаготовительного производства в условиях районов распространения вечной мерзлоты. *Системы. Методы. Технологии*, *(3)(51), 59–67.* https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-3-59-67
49. Константинов, П. Я., Фёдоров, А. Н., Угаров, И. С., Аргунов, Р. Н., Суздалов, Д. А., & Йижима, Й. (2014). Результаты исследований межгодовой изменчивости глубины сезонного протаивания около Якутска. *Криосфера Земли*, *18*(4), 23–32.
50. Рубцов, Ю. В., & Рудько, С. В. (2010). Освоение лесов Республики Саха (Якутия). *Актуальные проблемы лесного комплекса*, *(26), 39–41.*
51. Современная Россия: географическое описание нашего Отечества. Сибирь. (2020). Москва: Паулсен.
52. Саввинов, Д. Д. (1976). *Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты.* Новосибирск: Наука. Сибирское отделение.
53. Саввинов, Д. Д. (1989). *Почвы Якутии.* Якутск: Книжное издательство.
54. Скачков, Ю. Б. (2001). *Термическая устойчивость верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии при современном потеплении климата* (кандидатская диссертация). Якутск.
55. Скрябин, П. Н., Варламов, С. П., & Скачков, Ю. Б. (1998). *Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска.* Новосибирск: Издательство СО РАН.
56. Скрябин, П. Н., & Варламов, С. П. (2013). Термический режим грунтов нарушенных ландшафтов Центральной Якутии. *Криосфера Земли*, *17*(3), 44–49.
57. Сукачев, В. Н. (1912). *Растительность верхней части бассейна р. Тунгир Олекминского округа Якутской области (фитосоциологический очерк).* СПб.: Трудов Амурской экспедиции. Ботанические исследования. Том 18.
58. Уткин, А. И. (1960). О естественном возобновлении лиственницы даурской в Центральной Якутии. В сообщении лаборатории Лесоведения АН СССР (выпуск 2, стр. 44–68).

59. Уткин, А. И. (1965). *Леса центральной Якутии.* Москва: Наука.
60. Федоров, А. Я. (2020). Краткая характеристика способов лесовосстановления в Ленском районе. *Академический вестник Якутской государственной сельскохозяйственной академии*, *(11)(16), 23–29.*
61. Черников, В. А. (1951). Влияние лесных палов на возобновление лиственницы. *Лесное хозяйство*, *(12), 74–79.*
62. Чугунова, Р. В. (1971). Возобновление лиственницы даурской в Жиганском районе ЯАССР. В сборнике: *Исследование растительности и почв в лесах Северо-Востока СССР* (стр. 76–82). Якутск: Книжное издательство.
63. Шпагин, Д. Е., & Коршун, В. Н. (2021). Лесовосстановление на переувлажнённых почвах мерзлотной зоны Сибири. В сборнике статей Всероссийской научно-практической конференции «Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины» (Красноярск, 10 марта 2021), стр. 291–294. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева.
64. Щербаков, И. П. (1965). О восстановлении лесной растительности на крайнем северном пределе в Евразии. *Известия СО АН СССР*, *(8)(2), 53–61.*
65. Ivanov, V. A., Grigorev, I. V., Gasparyan, G. D., Manukovsky, A. Y., Zhuk, A. Y., Kunitskaya, O. A., & Grigoreva, O. I. (2018). Environment-friendly logging in the context of waterlogged soil and knob-and-ridge terrain. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, *41*(2), 22–27. https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2018.22.27
66. Rudov, S. E., Voronova, A. M., Chemshikova, J. M., Teterevleva, E. V., Kruchinin, I. N., Dondokov, Y. Z., ..., Danilov, V. V., & Grigorev, I. V. (2019). Theoretical approaches to logging trail network planning: Increasing efficiency of forest machines and reducing their negative impact on soil and terrain. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, *16*(4), 61–75. https://doi.org/10.3233/AJW190049

References

1. Abolin, R. I. (1929). Geobotanical and soil description of the Lena-Vilyuy Plain. In Proceedings of the Commission for the Study of YAASSR (Vol. X, pp. 1-378). Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences.
2. Aré, A. L., & Demchenko, R. Ya. (1972). Some results of long-term observations on ground thawing near Yakutsk. In Experimental Studies of Heat Exchange Processes in Frozen Rocks (pp. 91-97). Moscow: Nauka.
3. Bizyukin, V. V., Danilova, V. F., & Bakunova, O. A. (1989). Natural regeneration on cuttings in permafrost larch forests of Ikatsky Ridge. In Results of Forest

Studies in the Far East and Tasks to Intensify Multifunctional Forestry Use (pp. 105-107). Khabarovsk: Dal'NIILKh.

4. Bobrin, V. P., Pak, E. N., & Filippova, E. V. (2015). Forest management and reforestation in the area of Amazar pulp and paper mill. *Bulletin of Transbaikal State University*, *12*(127), 11-18.
5. Boychenko, A. M. (2000). Artificial afforestation. In Forest and Permafrost: Specific Composition and Structure of Forests in a Permafrost Region, Problems of Rational Management and Conservation (pp. 141-143). Yakutsk: Yakutskiy Universitet Press.
6. Burceva, E.I., & Petrova, A.N. (2017). Environmental problems of the northern territories of Yakutia under conditions of industrial development and global warming. *Advances in Modern Natural Sciences*, *(5)*, 83–88.
7. Varlamov, S.P., Skachkov, Y.B., & Skryabin, P.N. (2002). *Temperature regime of soils in permafrost landscapes of Central Yakutia*. Yakutsk: Institute for Permafrost Studies SB RAS. 218 p.
8. Vershnyak, V.M., Protopopov, V.V., & Pozdnyakov, L.K. (1972). *Recommendations on measures to promote natural regeneration and forestry cultures in larch and pine forests of Yakutia.* Krasnoyarsk. 22 p.
9. Vipper, V.N. (1964). The influence of grass-shrub cover on the renewal of Dahurian larch in Central Yakutia. In *Renewal and Improvement of Forests* (*Vol. 8*).
10. Vipper, V.N. (1965). Ecological and phytocenotic factors determining the viability of pine seedlings. In *Physiological Characteristics of Tree Species of Middle Siberia* (pp. 141–150). Krasnoyarsk: Book Publishing House.
11. Vipper, V.N. (1973). *Influence of shrub layer and herbaceous vegetation on reforestation of larch forests in Central Yakutia.* Moscow: Nauka. 64 p.
12. Karelin, D.V., Goryachkin, S.V., Zamolodchikov, D.G., Dolgikh, A.V., Zazovskaya, E.P., Shishkov, V.A., & Kraev, G.N. (2017). Impact of various types of anthropogenic impacts on greenhouse gas emissions in permafrost ecosystems. *Doklady Akademii nauk*, *477*(5), 610–612. https://doi.org/10.7868/S0869565217350225
13. Gabysheva, L.P. (2018). Forest restoration on burned areas in Southwestern Yakutia (on the example of Olyokminsky district). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, *20*(5-3), 335–340.
14. Gavrilova, M.K. (1966). Spatial and temporal variability of seasonal thawing in Yakutia. In *Seasonal Thawing and Freezing of Soils in Northeastern USSR*. Moscow: Nauka, pp. 7–13.
15. Grigorieva, O.I. (2018). Features of natural forest regeneration in cryolithozone conditions. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*, *6*(4), 25–29.

16. Gotovtsov, S.P. (2016). Degradation of permafrost as a serious danger. *Nauka i tekhnika v Yakutii*, *(1)*, 45–49.
17. Dadykin, V.N. (1952). *Behavior characteristics of plants on cold soils.* Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR. 279 p.
18. Dzhamalov, R.G., & Safronova, T.I. (2018). Influence of perennially frozen rocks on water resources formation in Eastern Siberia (based on examples of individual rivers in Eastern Siberia). *Vodnye resursy*, *(4)(45)*, 341–352. https://doi.org/10.1134/S0321059618040090
19. Zlenko, L.V., Koshurnikova, N.N., & Zhuykov, A.V. (2015). Reforestation processes on clear-cuts and burn sites. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, *(5)*, 681.
20. Isaev, A.P. (2011). *Natural and anthropogenic dynamics of larch forests in cryolithozone* (*Example of Yakutia*) [*Dissertation*, Doctor of Biological Sciences]. Yakutsk. 374 p.
21. Isaev, A.P. (1993). *Larch forests of medium taiga subzone in Yakutia and forest regeneration on cutover lands* [*Abstract of dissertation*, Candidate of Agricultural Sciences]. Krasnoyarsk. 23 p.
22. Isaev, A.P. (2000). Natural regeneration on clearcuts and burns. In A.P. Isaev & L.G. Mikhaleva (Eds.), *Forest and permafrost: Specifics of composition and structure of forests in permafrost region, issues of rational management and conservation.* Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo un-ta, pp. 96–104.
23. Isaev, A.P. (2011). *Natural and anthropogenic dynamics of larch forests in cryolithozone* (*Example of Yakutia*) [*Dissertation*, Doctor of Biological Sciences]. Yakutsk. 374 p.
24. Konstantinov, P.Ya., Fyodorov, A.N., Ugarov, I.S., & Argunov, R.N. (2012). Use of platforms with dense network of tubular depth-of-thaw gauges for monitoring active-layer thickness in Central Yakutia. In Proceedings of X International Conference on Cryopedology (Tumen', Pechatnik), Vol. 3, pp. 245–249.
25. Kazymov, S.A. (1989). State and ways of intensification of forest regeneration on old logging sites in central Yakutia. In *Proceedings of Regional Scientific-Practical Conference "Results of Far East Forests Study and Tasks of Intensifying Multifunctional Forest Management"* (Habarovsk, September 26–29, 1989). Dal'niy NIILKh, pp. 84–86.
26. Kalinichenko, N.P., Pisarenko, A.I., & Smirnov, N.A. (1973). *Reforestation on Cutovers.* Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 325 p.
27. Konstantinov, P.Ya., Argunov, R.N., Gerasimov, E.Yu., & Ugarov, I.S. (2006). Relationship between annual variations in ground temperature and seasonal thaw depth. *Kriosfera Zemli*, *X*(3), 15–22.

28. Korokhodkina, V.G. (1975). Effect of fires on soil temperatures in forested regions. In *Biological Problems of North* (Yakutsk: YaF SO AN SSSR), pp. 26–28.
29. Krechetova, N.V. (1971). Current state of forest seed production in the north of the Russian Far East. In *Biological Resources of Land in the North of the Russian Far East* (Vol. II), Vladivostok: Knizhnoye izdatel'stvo, pp. 59–70.
30. Lytkina, L.P. (2005). Dynamics of plant cover on fire-damaged areas of larch forests in Len-Angara interfluve (Central Yakutia). *Abstract of Dissertation*, Candidate of Biological Sciences. Yakutsk. 17 p.
31. Lytkina, L.P. (2010). *Forest Restoration on Burn Areas in Len-Angara Interfluve Region: Central Yakutia.* Novosibirsk: Nauka. 118 p.
32. Konstantinov, P.Ya., Fyodorov, A.N., Ugarov, I.S., et al. (2014). Results of research into annual variability of seasonal thaw depths near Yakutsk. *Kriosfera Zemli*, *18*(4), 23–32.
33. Medvedeva, N.S. (1972). Formation of generative buds in Dahurian larch at the northern boundary of its range in Yakutia. In *Soil and Botanical Research in Yakutia*, Yakutsk: Knizhnoye izdatel'stvo, pp. 70–74.
34. Mikhaleva, V.M. (1971). Regrowth patterns on differently managed cutover areas in Alta-Larix-Betula ericacea forest stands in south-western Yakutia. In *Research on Vegetation and Soil in Forests of North-Eastern USSR*, Yakutsk: Knizhnoye izdatel'stvo, pp. 34–52.
35. Molchanov, A.A. (1940). Natural regeneration of Dahurian larch and common pine. *Lesnoe khozyaistvo*, *(9)*, 21–27.
36. Kuricheva, O.A., Avilov, V.K., Varlagin, A.V., Gitarsky, M.L., Dmitrichenko, A.A., Dyukarev, E.A., Zagirova, S.V., Zamolodchikov, D.G., Zyryanov, V.I., Karelin, D.V., Karssanaev, S.V., Kurganova, I.N., Lapshina, E.D., Maksimov, A.P., Maksimov, T.H., Mamkin, V.V., Marunich, A.S., Miglovets, M.N., Mikhaylov, O.A., Panov, A.V., Prokushkin, A.S., Sidenko, N.V., Shilkin, A.V., Kurtbatova, Yu.A. (2023). Monitoring ecosystem fluxes of greenhouse gases across Russia: Ruflux Network. *Iznvestiya Rossiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, *87*(4), 512–535. https://doi.org/10.31857/S2587556623040052
37. Nikitina, N.V. (2005). Renewal of Pinus sibirica Du Tour at the northeastern edge of its distribution area (Southwest Yakutia). *Dissertation*, Candidate of Biological Sciences. Yakutsk. 160 p.
38. Nikolaev, V.V. (2020). Effects of deforestation on wetland formation in permafrost regions. *Akademicheskiy vestnik Yakutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaistvennoy akademii*, *(11)(16)*, 9–16.
39. Pavlov, A.V. (1975). Heat exchange between soil and atmosphere in Northern and temperate latitudes of the Soviet Union. Yakutsk: Knizhnoye izdatel'stvo. 302 p.

40. Pavlov, A.V. (1980). Calculation and regulation of permafrost soil regimes. Novosibirsk: Nauka. 240 p.
41. Petrov, O.G. (2022). Analysis of post-fire natural forest regeneration in Central Yakutia using high-resolution remote sensing data. In *Materials of XX International Conference "Current Issues of Remote Sensing from Space"* (November 14–18, 2022, Moscow). Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. p. 327. https://doi.org/10.21046/20DZZconf-2022a
42. Pobedinskiy, A.V. (1964). Pine forests of middle Siberia and Transbaikalia and their regeneration. *Abstract of Dissertation*, Doctor of Agricultural Sciences. Krasnoyarsk. 36 p.
43. Pozdnyakov, L.K. (1961). *Larches and pine forests of Upper Aldan River Basin.* Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR. 176 p.
44. Pozdnyakov, L.K. (1961). Natural regeneration of Dahurian larches in Yana river basin. In *Materials about Forests of Yakutia* (Issue VII), Moscow, pp. 162–242.
45. Pozdnyakov, L.K. (1963). *Larch forests of Yakutia: Ecological and silvicultural characteristics and scientific justification of some forestry activities*. Abstract of Dissertation, Doctor of Agricultural Sciences. Krasnoyarsk. 46 p.
46. Pozdnyakov, L.K. (1975). *Dahurian Larches*. Moscow: Nauka. 310 p.
47. Pozdnyakov, L.K. (1986). *Permafrost Silviculture.* Novosibirsk: Nauka. 192 p.
48. Grigoriev, G.V., Dmitrieva, I.N., Grigoriev, I.V., Kalyashov, V.A., Rudov, S.E., Ivanov, V.A. (2021). Challenges and prospects of timber industry in permafrost zones. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, *(3)(51)*, 59–67. https://doi.org/10.18324/2077-5415-2021-3-59-67
49. Konstantinov, P.Ya., Fyodorov, A.N., Ugarov, I.S., Argunov, R.N., Suzdalov, D.A., Yižima, J. (2014). Annual variability study of seasonal thaw depth near Yakutsk. *Kriosfera Zemli*, *18*(4), 23–32.
50. Rubtsov, Yu.V., & Rud'ko, S.V. (2010). Development of forests in Sakha Republic (Yakutia). *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, *(26)*, 39–41.
51. *Modern Russia: a geographical description of our Fatherland. Siberia*. Moscow: Paulsen, 2020. 512 p.
52. Savvinov, D.D. (1976). *Hydrothermal Regime of Soils in Permafrost Zone.* Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie. 254 p.
53. Savvinov, D.D. (1989). *Soils of Yakutia.* Yakutsk: Knizhnoye izdatel'stvo. 152 p.
54. Skachkov, Yu.B. (2001). Thermal stability of upper horizons of Central Yakutia cryolithosphere during current climate warming. *Abstract of Dissertation*, Candidate of Geographical Sciences. Yakutsk. 25 p.
55. Skryabin, P.N., Varlamov, S.P., & Skachkov, Yu.B. (1998). Year-to-year variation of thermal soil regime in Yakutsk area. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN. 144 p.

56. Skryabin, P.N., & Varlamov, S.P. (2013). Thermal regime of disturbed landscape soils in Central Yakutia. *Kriosfera Zemli*, *17*(3), 44–49.
57. Sukachev, V.N. (1912). Vegetation of the upper part of the Tungir River basin in Olekminskiy okrug of Yakutiya province (phytosociological sketch). *Trudy Amurskoy ekspeditsii. Botanicheskie issledovaniya*, *18*, 286 p.
58. Utkin, A.I. (1960). On natural regeneration of Dahurian larch in Central Yakutia. *Soobshcheniya Laboratorii Lesovedeniya AN SSSR*, *(2)*, 44–68.
59. Utkin, A.I. (1965). *Forests of Central Yakutia.* Moscow: Nauka. 208 p.
60. Fyodorov, A.Ya. (2020). Brief description of methods used for forest regeneration in Lena district. *Akademicheskiy vestnik Yakutskoy gosudarstvennoy selskokhozyaistvennoy akademii*, *(11)(16)*, 23–29.
61. Chernikov, V.A. (1951). Impact of wildfires on larch regeneration. *Lesnoe khozyaistvo*, *(12)*, 74–79.
62. Chugunova, R.V. (1971). Regeneration of Dahurian larch in Zhigansk District of Yakut ASSR. In *Studies of Vegetation and Soils in Forests of North-Eastern USSR*, Yakutsk: Knizhnoye izdatel'stvo, pp. 76–82.
63. Shpagin, D.E., & Korshun, V.N. (2021). Afforestation on overmoistened soils in permafrost zone of Siberia. In *Collection of Articles of All-Russia Scientific-Practical Conference "Wood Exploitation and Comprehensive Utilization of Wood"* (March 10, 2021, Krasnoyarsk), Krasnoyarsk: Reshetnev University Press, pp. 291–294.
64. Shcherbakov, I.P. (1965). Recovery of forest vegetation at extreme northern limit in Eurasia. *Izvestiya SO AN SSSR*, Biologiya-Medicinskie Nauki, *(8)*(2), 53–61.
65. Ivanov, V.A., Grigorev, I.V., Gasparyan, G.D., Manukovskij, A.Ju., Žuk, A.Ju., Kunitskaya, O.A., Grigoreva, O.I. (2018). Eco-friendly Logging Practices in Wetlands and Knob-and-Knoll Terrain. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, *41*(2), 22–27. https://doi.org/10.26480/jmerd.02.2018.22.27
66. Rudov, S.E., Voronova, A.M., Chemshikova, J.M., Teterevleva, E.V., Kruchinin, I.N., Dondokov, Ju.Z., Khaleeva, M.N., Burtseva, I.A., Danilov, V.V., Grigorev, I.V. (2019). Theoretical Approaches to Planning Logging Trail Networks: Improving Timber Machine Efficiency and Reducing Negative Impacts on Soil and Terrain. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, *16*(4), 61–75. https://doi.org/10.3233/AJW190049

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Шемякина Анна Викторовна, ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук

ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация
Ashem777@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Anna V. Shemyakina, Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences
Far Eastern Scientific Research Institute of Forestry
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
Ashem777@mail.ru
SPIN-code: 1993-4077
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-9776-3842
ResearcherID: KHC-8317-2024

Поступила 15.04.2024
После рецензирования 07.06.2024
Принята 14.08.2024

Received 15.04.2024
Revised 07.06.2024
Accepted 14.08.2024

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1164 **EDN: VPCOZS**
UDC 616.5-056.5:615.32

Original article

EVALUATION OF VITAMINS (A, C, D, E) LEVELS IN PSORIASIS PATIENTS IN BASRAH, IRAQ

A.A. Hassan, S.G. Sayyah

Abstract

Background. Psoriasis is a persistent inflammation that leads to an excessive growth of cells. Vitamins are crucial for maintaining the health of the skin.

Purpose. Study the relationship between vitamins and psoriasis.

Methods. A randomized clinical trial was carried out in Basrah , Iraq. Specimens were obtained from the Al-Faihaa Hospital and the Basrah Teaching Hospital. The analytical sample consisted of 45 individuals diagnosed with psoriasis and 45 persons who were in good condition. Their data were collected based on age, gender, disease severity, treatment, and geographical area, we conducted an analysis of the samples using several ELISA device measurements.

Results. The study revealed notable disparities in the levels of vitamin C and vitamin D, with statistically significant differences at a significance level of $p<0.001$. Additionally, there was a significant difference in the levels of vitamin E, with a significance level of $p<0.01$. The data did not indicate any variations in vitamin A levels, save for a discrepancy based on geographical location. The findings indicated a decline in vitamin E levels among male patients and a reduction in vitamin D levels among female patients. There is a positive relationship between the variables C, E and C, D. The results did not indicate any impact on the concentration of vitamins based on the severity of the condition and the method of treatment.

Conclusions. It is imperative to administer vitamins (C, D, and E) to individuals with psoriasis, in order to prevent the exacerbation of symptoms and the development of other ailments.

Keywords: Psoriasis; Retinol; Ascorbic Acid; Calciferol Alphatocopherol

For citation. Hassan, A. A., & Sayyah, S. G. (2025). Evaluation of Vitamins (A, C, D, E) Levels in Psoriasis Patients in Basrah, Iraq. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 113–129. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1164

1. Introduction

Psoriasis is an inflammatory skin disease classified as a genetic disease [1; 2]. This disease is characterized by the appearance of red, inflamed areas with white scales of dead cells floating on them. The observer perceives it as if the skin, which covers the body to protect it from external conditions, has disintegrated and is unable to perform its function. It has been exposed to deterioration in its physiological, formal, and functional characteristics.

Since the skin is the largest organ in the body, its functions are necessary for internal balance. It is concerning that the incidence of psoriasis worldwide is 1–2% [3]. The number of people affected is estimated at about 60 million worldwide [4]. What is even more concerning is the incapacity of doctors and scientists to effectively treat this disease and understand its underlying causes, given the multitude of potential causes [5].

Psoriasis has been associated with cardiovascular disease and a network of interrelated diseases [6]. It is believed that physical activity, nutritional management, and reducing smoking and alcohol can improve the condition [7]. The World Health Organization estimates that more than 2 billion people worldwide suffer from a deficiency in essential vitamins and minerals [8], highlighting the importance of vitamins in skin health and repair and their antioxidant role in combating oxidative stress [9].

We decided to estimate the level of vitamins (A, C, D, and E) in the serum of psoriasis patients and compare them with the control group. As research and studies have shown, fat-soluble vitamin A (retinol) is essential for human immune function and is used as a treatment for some skin diseases. Its deficiency leads to a variety of symptoms.

A Far Eastern study revealed that a vitamin A deficiency causes hyperkeratosis in the skin [10]. Researchers conducted a study on mice, depriving them of vitamin A, but their findings revealed that the mitochondrial system remained unaffected. Individual cell studies indicated that the first morphological evi-

dence of vitamin deficiency would be in the nucleus [11], but what interests us among the symptoms is that its deficiency leads to dryness and poor wound healing [12].

On the other hand, the study included an assessment of vitamin C (ascorbic acid), which has an effect on repairing and improving skin elasticity [13]. Heart failure and pulmonary hypertension have been associated with unintentional vitamin C deficiency in humans [14]. It also maintains collagen levels and skin cohesion [15]. Some researchers have claimed that it is one of the antioxidants that strengthens immunity and protects it from cancer cell formation [16; 17].

Regarding the evaluation of vitamin E (tocopherol), it is soluble in fat, reduces the risk of certain heart diseases, and aids in the strength and vitality of T-cell membranes and their proper reproduction [18]. Additionally, it enhances the health of blood vessels [19] and collaborates with vitamin C through a known mechanism to combat free radicals in the body [20].

As for our choice of vitamin D (calciferol), this vitamin is important for skin health and hydration and protects it from the sun's heat, as it plays a pivotal role in skin balance by activating the vitamin D nuclear receptor, contributes to its function as a barrier, and is considered an essential part of the immune system [21]. It has the ability to control infection and reduce inflammation [22].

A study compared the antioxidant capacity of vitamin D with that of the anti-cancer drug tamoxifen and its receptor 4-hydroxy (structural mimics of cholesterol) and discussed it in relation to the anti-cancer action [23] of this vitamin. The study aims to estimate the levels of the aforementioned vitamins in order to determine whether patients with psoriasis have a deficiency and whether it is considered one of the causes of the disease's exacerbation.

2. Materials and Methods

1.2. Study sample

The College of Education for Pure Sciences, Department of Biochemistry, Basrah, Iraq, conducted this study from March 2024 to July 2024. In order to accomplish this goal, we selected a sample of 90 participants, consisting of 45 psoriasis patients as cases and 45 healthy individuals as controls, ensuring that the two groups were age and gender matched. Psoriasis patients frequently visit the dermatology clinic in both Al-Faihaa Teaching Hospital and Basra Teaching Hospital for consultations or routine check-ups.

2.2. Exclusion criteria

Patients with hypertension, diabetes, liver, kidney, tumor, heart disease, and thyroid diseases were excluded. Patients younger than 13 and older than 70 years

were excluded. In the morning at the hospital, patients and controls were asked to fill out a questionnaire containing their demographic data, i.e., age, gender, dermatologist-determined severity, treatment type, and geographical location.

2.3. Sample collection

After drawing three milliliters of venous blood by syringe, the blood sample was placed in tubes containing a clotting-inducing gel. After leaving the tubes for half an hour, we transferred them to a centrifuge running at 3000 rpm for 10 minutes. We divided the serum into five groups, placed each in a Bendorf tube, and frozen the tubes at -20°C pending analysis to prevent the serum from thawing again.

2.4. Laboratory tests

We measured the concentrations of retinol (vitamin A), ascorbic acid (vitamin C), calciferol (vitamin D), and alpha-tocopherol (vitamin E) using a human-adaptable ELISA kit provided by Shanghai Ideal Medical Technology [24]. Furthermore, we measured the absorbance at 450 nm and constructed a standard curve of optical density (OD) versus concentration using the dilutions specified in each kit's vial. We then measured the concentrations of the obtained samples against the standard curve, which has an assay-specific detection range.

2.5. Statistical analysis

The present study used SPSS version 25 for statistical analysis. We followed descriptive statistics such as mean, standard deviation (SD), and percentages. We used Pearson's correlation coefficient to evaluate the correlation coefficient (r value), and thus a significance of less than 0.05 was considered as the significance threshold.

3. Results

Table 1 presents the demographic results and chemical variables for both patients and healthy individuals. It indicates that there are no significant differences in the average ages and gender distribution between the two groups. Additionally, there are no significant differences in the levels of vitamin A. Nevertheless, the findings demonstrated remarkably substantial disparities between them, with a significance level of $p<0.001$ observed in both vitamin C and D. However, the disparity dropped to $p<0.01$ in the case of vitamin E.

Upon analyzing the data in Table 2, it is evident that there is no statistically significant relationship between vitamin A and the magnitude of change across different age groups. The results indicate that the level of vitamin C varies with increasing age, as seen by variations at significance levels of $p<0.001$ and $p<0.01$. However, there were no significant differences in the levels of vitamin D and E, except for individuals under the age of 20. The findings indicate a pro-

nounced and statistically significant decline in vitamin D levels among patients, with a significance level of $p<0.001$. Additionally, there is a fall in vitamin E levels among individuals aged 21-30 years, with a significance level of $p<0.01$.

Table 1.

Demographic data and biochemical variables under study for study participants

Variables		Mean±Std.Deviation		*p*-value*
		N=45 controls	N=45 patients	
Age (years)		32.910±12.236	33.710±13.507	NS
Gender	Male	19(42.2%)	24(53.3%)	NS
	Female	26(57.7%)	21(46.6%)	NS
Vit A (100-1600nmol/L)		179.503±905.691	174.509±969.539	NS
80 -5)µmol/l		3.657±24.964	3.443±164.891	0.000
VitD (75-1200) µg/L		94.729±250.446	36.057±164.891	0.000
VitE (50-800) nmol/L		136.126±585.224	137.155±449.119	0.003

Table 2.

Level of variables in the subjects according to age

Variables		Mean±Std.Deviation		*p*-value*
		Patients N=45	Controls N=45	
Vit A (100-1600nmol/L)	<20	28.393±794.121	106.479±971.986	NS
	21-30	877.624±184.953	225.113±943.335	NS
	31-40	219.133±923.988	154.258±950.791	NS
	41-50	80.731±959.855	138.408±1004.935	NS
	>50	80.731±915.037	242.315±1013.783	NS
Vit C (5-80) µmol/l	<20	5.088±28.242	2.936±16.895	0.000
	21-30	4.176±23.685	3.132±15.703	0.000
	31-40	2.410±25.651	3.776±18.919	0.000
	41-50	1.995±23.947	3.137±17.118	0.005
	>50	3.502±24.200	3.793±15.296	0.002
VitD (75-1200) µg/L	<20	28.461±367.259	36.543±167.696	0.000
	21-30	18.210±206.430	92.231±165.626	NS
	31-40	111.629±248.229	35.812±164.973	NS
	41-50	1.156±154.656	33.549±155.383	NS
	>50	1.168±183.171	35.351±170.987	NS
VitE (50-800) nmol/L	<20	123.416±576.281	156.084±371.259	NS
	21-30	140.738±729.106	162.934±412.584	0.01
	31-40	77.059±565.292	66.260±484.953	NS
	41-50	4.329±724.780	85.919±556.365	NS
	>50	156.554	88.316±409.623	NS

Upon examining (Table 3), it is evident that when the groups are divided by gender in all participants, there is no discernible disparity between males and females in terms of vitamin A. However, there are notable and highly significant variations in favor of healthy individuals in the level of vitamin C, with a statistical significance level of *P<0.001*. Vitamin D levels increase significantly in healthy females at a level of *P<0.01,* while vitamin E levels increase significantly in healthy males at a level of *P<0.05*.

Table 3.

Level of variables in the study community according to gander

Variables		Mean±Std.Deviation		*p*-value*
		Controls N=45	Patients N=45	
Vit A (100-1600) nmol/L)	Male	160.012±972.716	163.387±977.640	NS
	Female	178.475±847.806	191.925±958.739	NS
Vit C (5-80) µmol/l	Male	3.032±23.141	3.679±16.458	0.000
	Female	3.541±26.297	3.112±17.372	0.000
Vit D (75-1200) µg/L	Male	140.737±249.835	37.907±170.483	NS
	Female	82.811±250.708	32.848±156.505	0.007
VitE (50-800) nmol/L	Male	160.098±641.385	143.459±454.796	0.022
	Female	166.353±545.578	130.273±439.893	NS

(Table 4) displays the patient groups separated by gender, and the findings indicate that there are no notable disparities in any of the factors.

Table 4.

Level of variables in the study population by gender in the patient group

Variables	Mean±Std.Deviation		*p*-value*
	Female (21)	Male (24)	
Vit A (100-1600) nmol/L)	163.387±977.640	191.925±958.739	NS
5-80) µmol/l) Vit C	3.679±16.458	3.112±17.372	NS
Vit D (75-1200) µg/L	37.907±170.483	140.737±156.505	NS
VitE (50-800) nmol/L	143.459±454.796	130.273±439.893	NS

The findings shown in Table 5 indicate that there were no statistically significant variations in any of the variables when examining the disease severity among patients categorized into three groups: mild, moderate, and severe. 8 individuals exhibited mild psoriasis, whereas 15 individuals had moderate psoriasis, and 22 individuals experienced severe psoriasis.

Table 5.

Level of study variables according to disease severity

Variables		Mean ± SD	*p*-value*
Vit A	Mild	87.447±967.169	NS
	Moderate	235.013±991.864	
	Severe	148.998±954.517	
Vit C	Mild	3.327±15.737	NS
	Moderate	3.276±16.632	
	Severe	3.470±17.799	
Vit D	Mild	32.341±144.981	NS
	Moderate	40.175±156.557	
	Severe	31.721±177.685	
Vit E	Mild	22.335±499.148	NS
	Moderate	146.107±418.339	
	Severe	148.231±456.810	

Based on the treatment outcomes, it was observed that 23 patients were administered topical therapies, whereas 22 patients were given biological treatments. No substantial disparities were observed between patients utilizing topical therapies and patients utilizing biological treatment, as evidenced in Table 6.

Table 6.

Level of studied variables by location

Variables	Mean±Std.Deviation		*p*-value*
	City center (24)	City outskirts (21)	
Vit A (100-1600) nmol/L)	150.121±1026.432	177.820±887.046	0.005
5-80) µmol/l) Vit C	3.685±16.111	2.810±17.920	NS
Vit D (75-1200) µg/L	35.389±172.433	35.488±153.579	NS
VitE (50-800) nmol/L	151.241±437.648	120.499±463.004	NS

According to Table 7, the study found that there were 20 participants from the countryside and 25 participants from the center when comparing the geographical location of the patients' residents. The rural population had significantly greater levels of vitamin A, with a significance level of $P<0.01$. No significant differences were observed in the other variables analyzed.

Table 7.

Level of studied variables according to treatment type

Variables	Mean±Std.Deviation		*p*-value*
	Topical treatment	Biological treatment	
Vit A (100-1600) nmol/L)	200.479±957.929	146.003±981.634	NS
Vit C (5-80) µmol/l	3.899±17.295	2.904±16.386	NS
Vit D (75-1200) µg/L	127.209±439.376	137.155±449.119	NS
VitE (50-800) nmol/L	37.389±154.628	33.432±173.872	NS

The statistical study examined the correlation coefficient between the variables A, C, D, and E, and the influencing factors listed in Table 8. The results indicated a significant positive relationship between vitamins C, D, and E, and the gender and age factors, with significance levels of *P<0.001* and *P<0.01*, respectively. No other correlations were found among the remaining factors, except for a negative correlation between vitamin A and geographical location, with a significance level of *P<0.01*.

Table 8.

Pearson correlation coefficient for biochemical variables and other relevant variables

Variables	Age		Gender		Severe		Type of treatment		Location	
	r-value	*p*-value*	r-value	*p*-value*	r-value	*p*-value*	r-value	*p*-value*	r-value	p-value*
Vit A	0.140-	NS	0.243-	0.02	0.055-	NS	0.069	NS	0.397-	0.005
Vit C	0.652	0.000	0.763	0.000	0.257	NS	0.133-	NS	0.261	NS
Vit D	0.391	0.013	0.473	0.002	0.356	NS	0.271	NS	0.261-	NS
Vit E	0.375	0.002	0.301	0.017	0.034-	NS	0.079	NS	0.164	NS

Table 9.

Pearson's correlation coefficient for vitamins

Variables	Vit A		Vit C		Vit D		Vit E	
	Correlation coefficient	*p*-value*	Correlation coefficient	*p*-value*	Correlation coefficient	*p*-value*	Correlation coefficient	*p*-value*
Vit A	1	-	0.136-	NS	0.029-	NS	0.028	NS
Vit C	0.136-	NS	1	-	0.489	0.001	0.292	0.02
Vit D	0.29-	NS	0.489	0.001	1	-	0.214	NS
Vit E	0.028	NS	0.292	0.02	0.214	NS	1	-

(Table 9) displays the correlation coefficient results, indicating a positive relationship between vitamin C and vitamin D at a significance level of $P<0.001$, as well as between Vitamin C and vitamin E at a significance level of $p<0.05$. However, there is no relationship observed between vitamin A and the other variables.

4. Discussion

Psoriasis is a chronic inflammatory skin disease with autoimmune features. The development of this disease has been linked to dysfunction in cell functions and balance, which causes a pro-inflammatory systemic environment and the emergence of many disorders. This study evaluated the levels of vitamins (A, C, D, and E) and found no significant differences in vitamin A levels between patients and healthy individuals. However, a previous study suggested that the concentration of vitamin A in psoriasis patients could predict the development of fungal infections [25].

Many studies report that psoriasis patients have vitamin A deficiency. For instance, a 1985 study examined the vitamin A status of 107 psoriasis patients and 37 healthy individuals. Psoriasis patients used retinol to improve their skin [26]. Many researchers proposed that psoriasis-affected skin may alter retinol metabolism [27].

All age groups and genders had very low vitamin C levels compared to healthy people, which aligns with a study that found psoriasis patients consume vitamin C rapidly [28]. Another study reported that psoriasis patients suffer from a deficiency in vitamin C [29]. A study in Najaf Governorate, Iraq, showed that there is a positive relationship between vitamin C and a decrease in the level of malondialdehyde in psoriasis patients [30]. This suggests that psoriasis patients face a threat from a deficiency in vitamin C, an antioxidant that safeguards the heart, blood vessels, and skin collagen.

Psoriasis patients face severe threats from a range of diseases, including cancer, oxidative stress, and programmed cell death. The results also show significant differences in vitamin D between patients and healthy people, and the difference increases between age groups under twenty years. Our study agreed with many studies, whether on psoriasis or on autoimmune diseases, which are within the context of our study, that vitamin D is low in psoriasis patients [31; 32]. Studies have demonstrated that a deficiency in this vitamin can potentially lead to other bone-related diseases. The causes of vitamin D deficiency in these individuals may include inadequate sun exposure and drug therapy that interferes with its absorption. In fact, the main sources of vitamin D are the sun

and food; therefore, a decrease or absence of one of them may have an effect on its deficiency [33].

Inactive forms of vitamin D, such as ergocalciferol, known as vitamin D2, and cholecalciferol, or vitamin D3, come from plants or vegetables and animal species [34; 36]. As for the lack of a difference in age groups older than 20 years, it comes with the increasing interest of patients in taking nutritional supplements at this age. We found that there are significant differences between female patients and healthy females in vitamin D deficiency, and there are no differences between males. Another study, which evaluated vitamin D levels, found a significant decrease in female psoriasis patients compared to healthy ones, but no significant difference in males [37,38]. Given the prominent role of vitamin D in regulating calcium and phosphate levels, its deficiency means that female psoriasis patients are more susceptible to osteoporosis [39]. The effect of vitamin D on hormones may explain this deficiency. According to one study, the active form of vitamin D stimulates the production of progesterone by 13%, estrogen by 21%, and estradiol by 9% in cultured human ovarian cells [40]. A recent study revealed that vitamin D deficiency is one of the causes of exposure to Alzheimer's disease [41].

Our results showed significant differences in vitamin E between patients and healthy subjects and that there were fluctuations in the concentration level between age groups, with the most significant differences appearing at the age of (21-30). Our results were consistent with a study that showed vitamin E deficiency in patients suffering from psoriasis and vitiligo [42]. Another study on the nutrition of psoriasis patients recommended taking vitamins because they have a deficiency in their concentration levels [43]. Researchers treated psoriasis patients with selenium and vitamin E, revealing that antioxidants alone cannot significantly alter clinical conditions, except in mild cases, and it's better to combine them with drug treatments for improved outcomes [44]. Our apparent results indicated that vitamin E levels are higher in healthy males than in sick males, and there are no differences between females, indicating that sexual efficiency is somewhat weak in sick males [45]. This is based on a study and information indicating that vitamin E enhances sexual efficiency in men [46].

The study showed no significant differences in all concentrations of the studied variables of vitamins according to the geographical location factor, except for vitamin A, which was higher in patients living in the countryside than in patients living in the center. We discovered that they eat leafy vegetables such as basil, mint, and radish, as well as dairy products on a daily and continuous basis, after communicating with them. This type of nutrition differs from that of residents in the center, as they tend to eat more processed products [47].

Studies have demonstrated that vegetables and dairy products contain vitamin A [48]. Studies and international opinion indicate the maximum permissible level of vitamin A [49]. As for the type of treatment and severity of the disease, the results showed no significant differences in vitamin levels. These results agreed with another study [50]. This result provides important evidence that vitamin deficiency is not affected by treatment and disease severity, but rather means that the imbalance in vitamin levels in psoriasis patients is inherent in the mechanism of cell and system function in their body.

Our results also showed a positive association between vitamin C and vitamin D. Studies have shown this relationship in which vitamin C and vitamin D deficiency together lead to decreased bone mineral density and increased risk of osteoporosis. They believed that deficiency in both vitamins may have a synergistic effect. Therefore, the study recommended routine measurement of vitamin C and vitamin D in clinical practice [51]. The results also revealed a positive association between vitamin C and vitamin E. This association between vitamins is clear, as vitamin C is the main supplement to vitamin E and works synergistically with vitamin E in protecting against oxidative damage [52]. A previous study in Basra Governorate indicated that lymphocytic leukemia patients are exposed to severe deficiency in vitamins A, E, and C [53], which means that neglecting vitamins in psoriasis patients is a not-so-distant danger.

Finally, we suggest that dermatologists treating psoriasis patients pay great attention to adding vitamins C, E, and D to the treatment prescription and to follow up on the evaluation of the levels of these variables, as a link was found between them. In other words, an aspect cannot be concerned with the other. Also, our findings suggest that the only concern for the appearance of the skin leaves the patient vulnerable to other diseases.

5. Conclusion

We can conclude that vitamins C, D, and E play an effective role in exposing psoriasis patients to other diseases, and that the concentration imbalance in these vitamins does not depend on the severity of the disease, the type of treatment, or the geographical location. This means these factors are imbalanced in the body. This study also finds that psoriasis patients need to intensify vitamin treatment because the deficiency is clear even for those under 20 years of age. This study also found that vitamin A, known as an antioxidant, is higher in rural patients than in urban patients. Additionally, vitamin D has been shown to rise more in females than males, while vitamin E increases more in males than females. Moreover, this study demonstrated that vitamin C is instrumental in

controlling the vitamins under study. A positive correlation has been noticed between vitamin C and D on the one hand and vitamin C and E on the other. Therefore, the importance of psoriasis patients' intake of vitamin C across age groups of the disease is highlighted.

Ethical Approval and Consent to Participate. The approval and consent to participate in this study has been granted by the Ethical and Research Committee of the Basrah Health Department, Training and Human Development Center.

Data Availability and Materials. The corresponding author has made the datasets used and analyzed in this study available upon reasonable request.

Conflict of Interest. The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments. The authors are grateful to the Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, The University of Basrah, Basrah, Iraq, for funding this research, which is a requirement for PhD completion.

Abbreviation

Vit A= Retinol
Vit C= Ascorbic Acid
Vit D= Calciferol
Vit E= Alphatocopherol

References

1. Capon, F. (2017). The genetic basis of psoriasis. *International Journal of Molecular Sciences*, *18*(12), 1–9. https://doi.org/10.3390/ijms18122526
2. Ran, D., Cai, M., & Zhang, X. (2019). Genetics of psoriasis: A basis for precision medicine. *Precision Clinical Medicine*, *2*(2), 120–130. https://doi.org/10.1093/pcmedi/pbz011
3. Damiani, G., Bragazzi, N. L., Karimkhani Aksut, C., Wu, D., Alicandro, G., McGonagle, D., … Naghavi, M. (2021). The global, regional, and national burden of psoriasis: Results and insights from the Global Burden of Disease Study. *Frontiers in Medicine*, *8*, 1–12. https://doi.org/10.3389/fmed.2021.743180
4. Griffiths, C. E. M., Armstrong, A. W., Gudjonsson, J. E., & Barker, J. N. W. N. (2021). Psoriasis. *The Lancet*, *397*(10281), 1301–1315. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)32549-6
5. Potestio, L., Lauletta, G., Tommasino, N., Portarapillo, A., Salsano, A., Battista, T., … Megna, M. (2024). Risk factors for psoriasis flares: A narrative review.

Psoriasis (Auckland), *14*, 39–50. https://doi.org/10.2147/PTT.S323281
6. Osigwe, P. C., Agomoh, C. E., Osigwe, I. S., & Akumiah, F. K. (2024). The association between psoriasis and atherosclerotic cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Cureus*, *16*(6), 1–29. https://doi.org/10.7759/cureus.63379
7. Bellinato, F., Maurelli, M., Geat, D., Girolomoni, G., & Gisondi, P. (2024). Managing the patient with psoriasis and metabolic comorbidities. *American Journal of Clinical Dermatology*, *25*(4), 527–540.
8. Dattola, A., Silvestri, M., Bennardo, L., Passante, M., Scali, E., Patruno, C., & Nisticò, S. P. (2020). Role of vitamins in skin health: A systematic review. *Current Nutrition Reports*, *9*(3), 226–235. https://doi.org/10.1007/s13668-020-00322-4
9. Sahawneh, P. (2024). Factors influencing skin health from within. *Journal of Integrated Health*, *3*(1), 156–163. https://doi.org/10.51219/jih/pamela-sahawneh/26
10. Ragunatha, S., Kumar, V. J., & Murugesh, S. B. (2011). A clinical study of 125 patients with phrynoderma. *Indian Journal of Dermatology*, *56*(4), 389–389.
11. Wolbach, S. B. (1925). Tissue changes following deprivation of fat-soluble A vitamin. *Journal of Experimental Medicine*, *42*(6), 753–777. https://doi.org/10.1084/jem.42.6.753
12. Polcz, M. E., & Barbul, A. (2019). The role of vitamin A in wound healing. *Nutrition in Clinical Practice*, *34*(5), 695–700. https://doi.org/10.1002/ncp.10376
13. Jaros-Sajda, A., Budzisz, E., & Erkiert-Polguj, A. (2024). Ascorbic acid treatments as effective and safe anti-aging therapies for sensitive skin. *Antioxidants*, *13*(2), 1–10. https://doi.org/10.3390/antiox13020174
14. Hemilä, H., & A., M. E. (2024). Vitamin C deficiency can lead to pulmonary hypertension: A systematic review of case reports. *BMC Pulmonary Medicine*, *24*(1), 1–17.
15. Boo, Y. C. (2022). Ascorbic acid (vitamin C) as a cosmeceutical to increase dermal collagen for skin antiaging purposes: Emerging combination therapies. *Antioxidants*, *11*(9), 1–18. https://doi.org/10.3390/antiox11091663
16. Mastrangelo, D., Massai, L., Coco, G. F., & Coco, F. L. (2017). Vitamin C against cancer. *Vitamin C*, *1*, 63–90.
17. Gann, P. H. (2009). Randomized trials of antioxidant supplementation for cancer prevention. *JAMA*, *301*(1), 102. https://doi.org/10.1001/jama.2008.863
18. Brigelius-Flohé, R. (2021). Vitamin E research: Past, now and future. *Free Radical Biology and Medicine*, *177*, 381–390. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2021.10.029

19. Saito, K., Yokoyama, T., Okaniwa, M., & Kamoshita, S. (1982). Neuropathology of chronic vitamin E deficiency in fatal familial intrahepatic cholestasis. *Acta Neuropathologica*, *58*(3), 187–192. https://doi.org/10.1007/BF00690800
20. Traber, M. G., & Stevens, J. F. (2011). Vitamins C and E: Beneficial effects from a mechanistic perspective. *Free Radical Biology and Medicine*, *51*(5), 1000–1013. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.05.017
21. Mostafa, W. Z., & Hegazy, R. A. (2015). Vitamin D and the skin: Focus on a complex relationship: A review. *Journal of Advanced Research*, *6*(6), 793–804. https://doi.org/10.1016/j.jare.2014.01.011
22. AlGhamdi, S. A., Enaibsi, N. N., Alsufiani, H. M., Alshaibi, H. F., Khoja, S. O., & Carlberg, C. (2022). A single oral vitamin D_3 bolus reduces inflammatory markers in healthy Saudi males. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(19), 11992–11992. https://doi.org/10.3390/ijms231911992
23. Wiseman, H. (1993). Vitamin D is a membrane antioxidant. Ability to inhibit iron-dependent lipid peroxidation in liposomes compared to cholesterol, ergosterol and tamoxifen and relevance to anticancer action. *FEBS Letters*, *326*(1–3), 285–288. https://doi.org/10.1016/0014-5793(93)81809-E
24. shanghai Ideal Medical Technology Co., Ltd. (n.d.). Retrieved from www.shidealtech.com.
25. Campione, E., Cosio, T., Lanna, C., Mazzilli, S., Ventura, A., Dika, E., … Bianchi, L. (2020). Predictive role of vitamin A serum concentration in psoriatic patients treated with IL-17 inhibitors to prevent skin and systemic fungal infections. *Journal of Pharmacological Sciences*, *144*(1), 52–56. https://doi.org/10.1016/j.jphs.2020.06.003
26. Rollman, O., & Vahlquist, A. (1985). Psoriasis and vitamin A. *Archives of Dermatological Research*, *278*(1), 17–24. https://doi.org/10.1007/BF00412490
27. Rendon, A., & Schäkel, K. (2019). Psoriasis pathogenesis and treatment. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(6), 1–28. https://doi.org/10.3390/ijms20061475
28. Tampa, M., Nicolae, I., Ene, C. D., Sarbu, I., Matei, C., & Georgescu, S. R. (2017). Vitamin C and TBARS in psoriasis vulgaris related to PASI. *Revista de Chimie*, *68*(1), 43–47. https://doi.org/10.37358/RC.17.1.5385
29. Ghafel, B. N. Y. (2021). The relationship between the level of vitamin C and psoriasis. *Al-Kufa University Journal for Biology*, *13*(2), 8–21.
30. Al-Katib, S. R., Al-Wakeel, H. A., & Al-Rawaf, R. F. (2018). Role of vitamin C as antioxidant in psoriasis patients treated with NB-UVB phototherapy. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, *9*(10), 408–413. https://doi.org/10.5958/0976-5506.2018.01372.4

31. Formisano, E., Proietti, E., Borgarelli, C., & Bertolini, S. (2023). Psoriasis and vitamin D: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, *15*(15), 3387–3387. https://doi.org/10.3390/nu15153387
32. Aranow, C. (2011). Vitamin D and the immune system. *Journal of Investigative Medicine*, *59*(6), 881–886. https://doi.org/10.2310/JIM.0b013e31821b8755
33. Raymond-Lezman, J. R., & Riskin, S. I. (2023). Benefits and risks of sun exposure to maintain adequate vitamin D levels. *Cureus*, *15*(5), 1–11. https://doi.org/10.7759/cureus.38578
34. Lee, Y. H., & Song, G. G. (2018). Association between circulating 25-hydroxyvitamin D levels and psoriasis, and correlation with disease severity: A meta-analysis. *Clinical and Experimental Dermatology*, *43*(5), 529–535. https://doi.org/10.1111/ced.13381
35. Greb, J. E., Goldminz, A. M., Elder, J. T., Lebwohl, M. G., Gladman, D. D., Wu, J. J., Mehta, N. N., Finlay, A. Y., & Gottlieb, A. B. (2016). Psoriasis. *Nature Reviews Disease Primers*, *2*(1). https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.53
36. Mattozzi, C., Paolino, G., Richetta, A. G., & Calvieri, S. (2016). Psoriasis, vitamin D and the importance of the cutaneous barrier's integrity: An update. *The Journal of Dermatology*, *43*(5), 507–514. https://doi.org/10.1111/1346-8138.13305
37. Hambly, R., & Kirby, B. (2017). The relevance of serum vitamin D in psoriasis: A review. *Archives of Dermatological Research*, *309*(7), 499–517. https://doi.org/10.1007/s00403-017-1751-2
38. Banavasi Shanmukha Girisha, N., Nayak, P., Noronha, T., & Handattu Sripathi. (2018). Low vitamin D in psoriasis: Reality or myth? *Indian Journal of Dermatology*, *63*(3), 255–255.
39. Barrea, L., Savanelli, M. C., Di Somma, C., Napolitano, M., Megna, M., Colao, A., & Savastano, S. (2017). Vitamin D and its role in psoriasis: An overview of the dermatologist and nutritionist. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, *18*(2), 195–205. https://doi.org/10.1007/s11154-017-9411-6
40. Parikh, G., Varadinova, M., Suwandhi, P., Araki, T., Rosenwaks, Z., Poretsky, L., & Seto-Young, D. (2010). Vitamin D regulates steroidogenesis and insulin-like growth factor binding protein-1 (IGFBP-1) production in human ovarian cells. *Hormone and Metabolic Research*, *42*(10), 754–757. https://doi.org/10.1055/s-0030-1262837
41. Plantone, D., Pardini, M., Caneva, S., & De Stefano, N. (2024). Is there a role of vitamin D in Alzheimer's disease? *CNS & Neurological Disorders. Drug Targets*, *23*(5), 545–553. https://doi.org/10.2174/1871527322666230526164421
42. Liu, X., Yang, G., Luo, M., Lan, Q., Shi, X., Deng, H., Wang, N., Xu, X., & Zhang, C. (2021). Serum vitamin E levels and chronic inflammatory skin dis-

eases: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, *16*(12), 1–17. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261259

43. Kanda, N., Hoashi, T., & Saeki, H. (2020). Nutrition and psoriasis. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(15), 1–18. https://doi.org/10.3390/ijms21155405
44. Guarneri, F., Bertino, L., Pioggia, G., Casciaro, M., & Gangemi, S. (2021). Therapies with antioxidant potential in psoriasis, vitiligo, and lichen planus. *Antioxidants*, *10*(7), 1–25. https://doi.org/10.3390/antiox10071087
45. Dauendorffer, J.-N., Ly, S., & Beylot-Barry, M. (2019). Psoriasis and male sexuality. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie*, *146*(4), 273–278. https://doi.org/10.1016/j.annder.2019.01.021
46. Azzi, A., & Stocker, A. (2000). Vitamin E: Non-antioxidant roles. *Progress in Lipid Research*, *39*(3), 231–255. https://doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00006-0
47. Rahmah, S., Alibraheem, S., & Mahmoud, R. (2022). Risk factors' estimation of non communicable diseases in Al-Basrah Province/Iraq during 2020–2021. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*, *16*(1), 1405–1413.
48. Qurbonova, S., Rajabboyeva, S., & Toshtemirov, A. (2024). Fat-soluble vitamins. *Science and Innovation in the Education System*, *3*(3), 201–204.
49. Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K.-I., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Lietz, G., Passeri, G., Craciun, I., Fabiani, L., Horvath, Z., & Martinez, S. V. (2024). Scientific opinion on the tolerable upper intake level for preformed vitamin A and β-carotene. *EFSA Journal*, *22*(6), 1–119.
50. Bakic, M., Klisic, A., Kocic, G., Kocic, H., & Karanikolic, V. (2024). Oxidative stress and metabolic biomarkers in patients with psoriasis. *Journal of Medical Biochemistry*, *43*(1), 97–105. https://doi.org/10.5937/jomb0-45076
51. He, L., Chhantyal, K., Chen, Z., Zhu, R., & Zhang, L. (2024). The association of combined vitamin C and D deficiency with bone mineral density and vertebral fracture. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *19*(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/s13018-024-04953-z
52. Niu, F., Xie, W., Zhang, W., Kawuki, J., & Yu, X. (2023). Vitamin C, vitamin E, β-carotene and risk of Parkinson's disease: A systematic review and dose-response meta-analysis of observational studies. *Nutritional Neuroscience*, *27*(4), 1–13.
53. Al-Maliki, A. A. H., & Abbas, A.-M. (2022). Estimation of oxidative stress enzymes and vitamins levels in acute lymphocytic leukemia patients in the governorate of Basrah, Iraq. *Tropical Journal of Natural Product Research*, *6*(4), 542–545.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ayat Amer Hassan

Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, University of Basrah
Basrah, Iraq
gps.ayat.amer@uoBasrahh.edu.iq

Sahera Ghareeb Sayyah

Department of Chemistry, College of Education for Pure Sciences, University of Basrah
Basrah, Iraq

Поступила 16.10.2024 Received 16.10.2024
После рецензирования 26.11.2024 Revised 26.11.2024
Принята 30.11.2024 Accepted 30.11.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1110 **EDN: WAAWNE**
UDC 616.248:616-002:576.311.347

CC BY NC ND

Original article

CD4$^+$ CELLS MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL IN MILD AND MODERATE ASTHMA

E.V. Kondratyeva, T.I. Vitkina

Abstract

Background. The pathogenetic mechanisms of bronchial asthma (BA) are based on the processes of changes in the cellular energy status and lipid metabolism, the development of hypoxemia, oxidative stress, and systemic inflammation. A reduction in mitochondrial membrane potential (MMP) is manifested even at the early stages of chronic lung diseases development and can be a key pathological sign of their clinical course aggravation.

Purpose. The aim of this study is to investigate the impact of bronchial asthma on the MMP of CD4$^+$ cells, depending on severity and disease control.

Materials and methods. The study included 289 patients with BA, of whom 151 exhibited mild severity and 138 exhibited moderate severity. The control group consisted of 60 volunteers who were deemed to be practically healthy. MMP was quantified using the JC-1 fluorescent dye and monoclonal antibodies for CD4$^+$ identification by flow cytometry. Five distinct levels of MMP were identified. The calculations were performed using the STATISTICA 10.0 software.

Results. A reduction in the total MMP results in a decline in the number of cells exhibiting very high MMP levels, while the number of cells with high and medium MMP levels increases. As the disease progresses and the level of control declines, the total MMP level reduces, accompanied by an increase in the number of CD4$^+$ cells exhibiting reduced and low MMP.

Conclusions. Patients with mild and moderate BA exhibited a pronounced unidirectional change in MMP levels of CD4$^+$ cells, which is dependent on the degree of severity and level of disease control. The assessment of the redistribution of MMP levels of CD4$^+$ cells provides an opportunity for the early detection of energy metabolism disorders in BA, which will allow optimizing the prevention of pathology progression.

Keywords: mitochondria; mitochondrial membrane potential; bronchial asthma; CD4$^+$ cells

For citation. Kondratyeva, E. V., & Vitkina, T. I. (2025). CD4$^+$ cells mitochondrial membrane potential in mild and moderate asthma. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 130–143. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1110

Научная статья

МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИТОХОНДРИЙ CD4$^+$ КЛЕТОК ПРИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЕ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ

Е.В. Кондратьева, Т.И. Виткина

Аннотация

Обоснование. Патогенетические механизмы бронхиальной астмы (БА) основаны на процессах изменения энергетического состояния клеток и липидного обмена, развития гипоксии, окислительного стресса и системного воспаления Снижение митохондриального мембранного потенциала (ММП) проявляется уже на ранних этапах развития хронических заболеваний легких и может являться ключевым патологическим признаком утяжеления их течения.

Цель. Установить особенности нарушения мембранного потенциала митохондрий CD4$^+$ клеток при бронхиальной астме в зависимости от степени тяжести и контроля заболевания.

Материалы и методы. В исследование включено 289 больных БА: 151 легкой степени тяжести, 138 средней степени тяжести. Группу контроля составили 60 практически здоровых добровольцев. ММП оценивали с использованием флуоресцентного красителя JC-1 и моноклональных антител для идентификации CD4$^+$ методом проточной цитометрии. Выделяли 5 уровней ММП. Расчеты были проведены в программе «STATISTICA 10.0».

Результаты. При снижении общего ММП наблюдается снижение количества клеток с очень высоким ММП и повышение количества клеток с высоким и средним ММП. По мере утяжеления БА и снижения степени контроля выявлено уменьшение общего уровня ММП за счет повышения количества клеток CD4$^+$ со сниженным и низким ММП.

Заключение. При БА легкой и средней степени тяжести происходит выраженное однонаправленное изменение уровня ММП CD4+ клеток в зависимости от степени тяжести и уровня контроля заболевания. Оценка перераспределения уровней ММП CD4+ дает возможность раннего выявления

нарушений энергетического обмена при БА, что позволит оптимизировать профилактику прогрессирования патологии.

Ключевые слова: митохондрии; митохондриальный мембранный потенциал; бронхиальная астма; $CD4^+$

Для цитирования. Кондратьева, Е. В., & Виткина, Т. И. (2025). Мембранный потенциал митохондрий $CD4^+$ клеток при бронхиальной астме легкой и средней степени тяжести. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 130-143. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1110

Introduction

Bronchial asthma (BA) is a prevalent chronic respiratory disease that affects between 1 and 29% of the global population [6; 12; 16]. The underlying pathogenic mechanisms of BA are attributed to alterations in cellular energy status and lipid metabolism, the development of hypoxia, oxidative stress, and systemic inflammation [11]. $CD4^+$ T cells represent a significant factor in the determination of asthma phenotypes. In individuals with BA, inflammation is driven by cytokine-producing $CD4^+$ T cells, which play a central role in the recruitment and activation of innate immune cells, such as eosinophils, basophils, and mast cells. Furthermore, the pattern of disease progression differs depending on the differentiation of $CD4^+$ T cells, therefore, $CD4^+$ cells are essential in the pathogenesis of BA [13; 14].

One of the organelles involved in the fundamental processes of cellular metabolism and energy production, including the synthesis of adenosine triphosphate (ATP), are the mitochondria. They are responsible for the generation and removal of reactive oxygen species, the activation of the caspases family of proteases, the regulation of intracellular Ca^{2+} homeostasis, and the regulation of apoptotic cell death [7, 9]. Mitochondrial dysfunction is evident at the earliest stages of chronic lung disease development and may serve as a key indicator of disease progression. A reduction in mitochondrial membrane potential (MMP) and an increase in outer membrane permeability result in the release of cytochrome C, which in mitochondria performs the function of regulating energy metabolism. When this protein interacts with proteins in the cytosol, it triggers the activation of caspases, which ultimately leads to apoptosis. It is known that abnormal mitochondrial functioning, including metabolic switching, altered mitochondrial biogenesis and mitophagy, as well as impaired mitochondrial signal transduction plays a significant role in the pathogenesis of BA [10]. However, information regarding MMP changes in individual lymphocyte subpopulations and their role in the pathogenesis of BA is practically non-existent.

Purpose

The objective of this study is to identify the distinctive characteristics of mitochondrial membrane potential disturbance in $CD4^+$ cells at BA in relation to the severity and control of the disease.

Materials and methods

The study included 289 patients with BA. Of these, 151 were classified as having mild BA, including 57 with controlled BA (c.), 74 with partially controlled BA (p. c.), and 20 with uncontrolled BA (unc.). The remaining 138 patients were classified as having moderate BA, including 55 with c. BA, 58 with p. c. BA, and 25 with unc. BA. The control group comprised 60 volunteers who were deemed to be practically healthy. The mean age of the patients was 44.5 ± 4.9 years. The diagnosis of BA was made in accordance with the Global Strategy for Asthma Management and Prevention and the International Classification of Diseases, 10th revision. The study was conducted in accordance with the ethical standards set forth in the Declaration of Helsinki (2013) and was approved by the local ethical committee. Each patient participating in the study provided voluntary informed consent. The following exclusion criteria were applied: the presence of acute infectious diseases, chronic diseases of internal organs in the exacerbation phase, chronic heart failure in the decompensation stage, and contact with harmful and hazardous industrial factors.

Peripheral blood samples were collected in tubes containing an anticoagulant (EDTA). A leukocyte suspension was isolated by centrifugation at a density gradient (ficoll verographine).

MMP was evaluated by the percentage of $CD4^+$ lymphocyte cells with altered MMP employing flow cytometry on a BD FACSCanto II cytofluorimeter (USA) with concurrent addition of monoclonal antibodies for the identification of $CD4^+$ lymphocytes using the Mitoprobe JC-1 Assay Kit (Thermo Fisher Scientific, USA). A total of five structured MMP levels were employed to assess the intensity of the abnormalities. The 1st level, MMP-1, was defined as cells exhibiting the highest levels of MMP, characterized by maximum structural and functional integrity. The 2nd level, MMP-2, was defined as cells exhibiting high MMP, characterized by a slight decrease in structural and functional properties. The 3rd level, MMP-3, was defined as cells exhibiting moderate MMP, while processes were reversible. The 4th level, MMP-4, was characterized by cells with reduced MMP, with a transitional form to irreversible damage of the mitochondrial apparatus. The 5th level, MMP-5, was characterized by low MMP with irreversible damage of the mitochondrial apparatus.

The standard software of the flow cytometer was employed to identify the significant region of event fixation on the ordinate scale, which ranged from 0 to 10^5 (100%). Five blocks of equal significance were selected within this region: the lower block, ranged from 0 to 20%, corresponded to MMP-5; the next block, from 21 to 40% corresponded to MMP-4; the following block, from 41 to 60% corresponded to MMP-3; the next block, from 61 to 80% corresponded to MMP-2; and the final block, from 81 to 100% corresponded to MMP-1. The content of cells within these levels and their ratio undergo significant changes in accordance with the state of the organism. However, the conventional use of just two non-detailed levels in accordance with the standard methodology did not permit the revelation of these changes.

The calculations were performed utilizing the STATISTICA 10.0 software. The results of non-parametric descriptive statistics are presented as the median (Me) of the lower and upper quartiles (Q25 and Q75). The Mann-Whitney U test was employed to analyze the differences between the groups. The level of significance for differences was set at $p < 0.05$.

Results

The results of the calculations performed in the groups of patients with mild to moderate BA and the control group are presented in the Table below.

When analyzed according to the standard methodology (according to high and low MMP level), the percentage of cells with reduced mitochondrial membrane potential (MMP-4 and MMP-5) in the control group was 0.15%. In the $CD4^+$ cell population of individuals with mild severity BA, the following figures were observed: in individuals with a controlled (c.) course of disease – 0.45%, in partially controlled (p. c.) course – 1.9%, in uncontrolled (unc.) course – 2.5%, which is 0.3, 1.75, and 2.35% higher than those in the control group. In individuals with moderate severity BA, the relevant indicators for the population of $CD4^+$ cells were as follows: in the c. course – 2.05%, in the p. c. course – 4.4%, and in the unc. course – 6.2%, which is by 1.9, 4.25, and 6.05% higher than those in the control group.

The study of mitochondrial membrane potential using the proposed full-scale technique has led to establishment of the features of cell redistribution between the five MMP levels (Fig.).

A statistically significant decrease in MMP-1 indices by 20.1% ($p < 0.001$), 61.7% ($p < 0.001$), and 79.2% ($p < 0.001$) in the population of $CD4^+$ cells was observed in individuals with mild severity BA in the groups of c., p. c., and unc. course of disease, respectively, in comparison with the control groupA statisti-

cally significant increase in MMP-2 was observed in the groups with c., p. c., and unc. course of disease, respectively, and amounted to 18.8% ($p < 0.001$), 55.2% ($p < 0.001$), and 70% ($p < 0.001$). Similar statistically significant increase for MMP-3 for c., p. c., and unc. course were 1, 4.8, and 6.9%, respectively.

Table.

Membrane potential level in mild and moderate BA

Groups		Indicators, %				
		MMP-1	**MMP-2**	**MMP-3**	**MMP-4**	**MMP-5**
Control group n=25		93.9	5.25	0.7	0.1	0.05
		89.4–95.1	2.2–8.9	0.3–1.2	0.05–0.2	0.03–0.1
Mild BA	c. n=28	73.8***	24.05***	1.7***	0.35*	0.1**
		68.9–76.2	20.7–30.1	1.3–2.1	0.25–0.5	0.08–0.2
	p. c. n=27	32.2***	60.4***	5.5***	1.5***	0.4***
		30.1–37.1	55.1–63.9	4.7–5.9	1.1–1.9	0.35–0.55
	unc. n=20	14.7***	75.2***	7.6***	2***	0.5***
		12.5–17.1	69.4–78.8	5.9–8.6	1.3–2.6	0.35–0.7
Moderate BA	c. n=27	55.25***###	37.4***##	5.3***###	1.65***###	0.4***###
		50.5–57.6	33.2–40.5	4.5–5.7	1–2.2	0.3–0.5
	p. c. n=30	23.5***###	64.3***#	7.8***###	3.3***###	1.1***###
		18.1–25.7	60.7–67.3	7.1–8.8	2.5–4.2	0.5–2
	unc. n=25	3.1***###	75.6***	15.1***###	4.9***##	1.3***###
		2.4–5.5	68.7–78.2	13.2–17.3	2.9–6.3	0.9–1.6

*Note: * – statistical significance of differences in comparison with the control group: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$;*
– statistical significance of differences in comparison with mild BA group: # – $p < 0.05$; ## – $p < 0.01$; ### – $p < 0.001$.

A statistically significant increase in MMP-4 of the $CD4^+$ cell population in individuals with mild BA was observed to be 0.3% ($p < 0.05$), 1.4% ($p < 0.001$), and 1.9% ($p < 0.001$) in the groups of c., p. c., and unc. course of decease, respectively. A statistically significant increase was observed for MMP-5 in the c., p. c., and unc. course of disease, with values of 0.05% ($p < 0.01$), 0.4% ($p < 0.001$), and 0.5% ($p < 0.001$), respectively.

Relative to the control group, in the population of $CD4^+$ cells in individuals with a moderate BA, a statistically significant decrease in MMP-1 was by 38.7% ($p < 0.001$), 70.4% ($p < 0.001$), and 90.8% ($p < 0.001$) in the groups with a c., p. c., and unc. course of the disease, respectively. A statistically significant increase in MMP-2 in the groups with c., p. c., and unc. course of disease, increased by

32.2% ($p < 0.001$), 59.1% ($p < 0.001$), and 70.4% ($p < 0.001$), respectively. In contrast, a statistically significant increase in MMP-3 was observed in the groups with c., p. c., and unc. course of disease, which amounted to 4.6% ($p < 0.001$), 7.1% ($p < 0.001$), and 14.4% ($p < 0.001$), respectively.

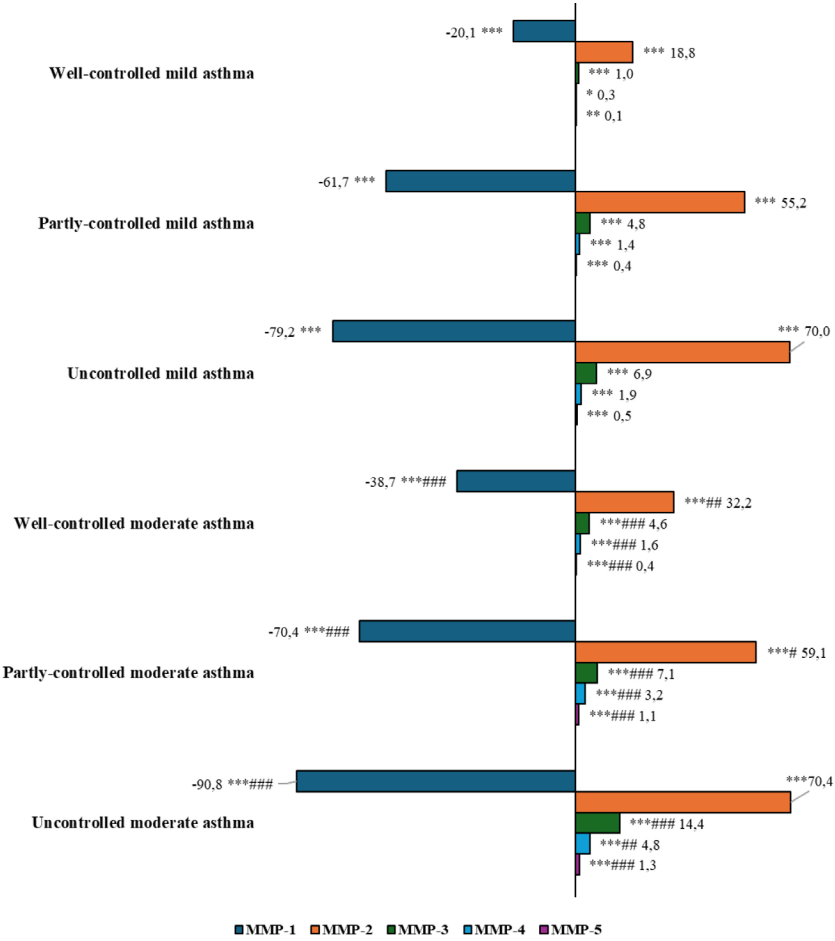


Fig. MMP of $CD4^+$ cell population at BA (comparing with control group, %)

Note: * – statistical significance of differences in comparison with the control group:
* – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$;
– statistical significance of differences in comparison with mild BA group:
– $p < 0.05$; ## – $p < 0.01$; ### – $p < 0.001$.

Relative to the control group, in the population of $CD4^+$ cells of individuals with a moderate BA an observed statistically significant increase in MMP-4 was 1.6% ($p < 0.001$), 3.2% ($p < 0.001$), and 4.8% ($p < 0.001$) in the groups with c., p. c., and unc. course of disease. A statistically significant increase in MMP-5 in the above mentioned groups was 0.4% ($p < 0.001$), 1.1% ($p < 0.001$), and 1.3% ($p < 0.001$), respectively.

In addition to the marked differences observed between MMP levels in mild and moderate BA, changes in the distribution of MMP levels were also observed, which were caused by disease control deterioration. Thus, MMP-1 level decreased by 41.6% ($p < 0.001$) and 59.1% ($p < 0.001$), while MMP-2 level increased by 36.4% ($p < 0.001$) and 51.2% ($p < 0.001$) in the p.c. and unc. groups of mild BA compared to c. group of patients with mild BA. In the p. c. and unc. groups of moderate BA, MMP-1 level decreased by 31.7% ($p < 0.001$) and 52.1% ($p < 0.001$), while that in MMP-2 increased by 26.9% ($p < 0.001$) and 38.2% ($p < 0.001$), respectively, compared to c. moderate BA.

Discussion

MMP is an indicator of the energetic state of the cell. It is well established that healthy cells exhibit a high MMP, whereas a reduction in MMP is indicative of the early stages of cellular damage, a process that subsequently progresses through the stages of degradation of the membrane apparatus, ultimately leading to irreversible consequences and cell death [3, 7, 10]. In the majority of cases, the assessment of MMP is based on the evaluation of two distinct indicator areas: cells with elevated membrane potential and cells with depressed membrane potential. This approach does not differentiate between the intensity of the cell damage process or its reversibility, which are crucial characteristics of the functional state of mitochondria [1–3].

During the course of BA, the permeability of the mitochondrial outer membrane increases, resulting in the release of soluble proteins into the cytoplasm and a decrease in MMP [17]. The present study has demonstrated that the most significant alterations in the cellular ratio occur at the levels of MMP-1 and MMP-2. A reduction in the total MMP level results in a redistribution between five levels of cells. The number of MMP-1 cells is observed to decrease, while at this expense the number of MMP-2 and MMP-3 cells increases. Additionally, a reduction in the overall MMP level is associated with an increase in the number of $CD4^+$ cells exhibiting reduced and low MMP levels (MMP-4 and MMP-5). An increase in the number of $CD4^+$ subpopulations of immune-competent cells with MMP-4 and MMP-5 levels and

their prevalence may result in the dysregulation of the immune system and the progression of pathology.

A comparative analysis of the data allows for the identification of more pronounced changes in the ratio of MMP-1 and MMP-2 CD4-positive cells in the context of a loss of disease control. A further significant indicator of this process is an increase in MMP-3 values in T-helper cells.

Recent studies have demonstrated a reduction in MMP levels in lymphocytes, monocytes, neutrophils, and the leukocytes cell population in general, which suggests an imbalance in energy processes in this pathology [2; 5]. The mechanism of MMP reduction in BA patients may be related to the disruption of mitochondrial membrane structure and changes in the qualitative and quantitative composition of fatty acids. These processes result in an increase in mitochondrial membrane permeability and the development of mitochondrial dysfunction [1–4; 8; 14; 15].

The observed trends suggest that disturbances in MMP levels in $CD4^+$ cells may be of significant importance in the context of both the exacerbation of BA and the loss of disease control.

Conclusions

In mild and moderate BA there are unidirectional changes in MMP levels of $CD4^+$ cells, with pronouncement dependent on the degree of severity and level of disease control. Assessment of the redistribution of MMP levels of $CD4^+$ cells may contribute to early detection of energy metabolism disorders in BA, which will allow for the optimization and prevention of pathology progression.

Ethics Committee Approval. The study was conducted in accordance with the principles of the World Medical Association's Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee of Vladivostok Branch of Federal State Budgetary Scientific Institution "Far Eastern Research Center for Physiology and Pathology of Breathing" — Research Institute of Medical Climatology and Rehabilitation Treatment: Protocol No. 9 dated November 24, 2021.

Informed Consent. Informed consent was obtained from all subjects participating in the study. Written informed consent was obtained from patients for publication of this article.

Conflict of Interest Information. The authors declare no conflict of interest.

Sponsorship Information. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

1. Denisenko, Y. K., Novgorodtseva, T. P., Vitkina, T. I., Anton'yuk, M. V., & Bocharova, N. V. (2018). Composition of fatty acids in mitochondrial membranes of platelets in chronic obstructive pulmonary disease. *Klinicheskaya meditsina*, *96*(4), 343–347. https://doi.org/10.18821/0023-2149-2018-96-4-343-347
2. Denisenko, Y. K., Novgorodtseva, T. P., Kondrat'eva, E. V., Zhukova, N. V., Anton'yuk, M. V., Knyshova, V. V., & Mineeva, E. E. (2015). Morpho-functional characteristics of blood cell mitochondria in bronchial asthma. *Klinicheskaya meditsina*, *93*(10), 47–51.
3. Kondratyeva, E. V., & Vitkina, T. I. (2022). Functional state of mitochondria in chronic respiratory diseases. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*, *(84)*, 116–126. https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-84-116-126
4. Lobanova, E. G., Kondrateva, E. V., Mineeva, E. E., & Karaman, Y. K. (2014). Platelet mitochondrial membrane potential in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*, *(6)*, 13–16.
5. Suprun, E. N. (2022). Assessment of the membrane potential of mitochondria in immunocompetent blood cells of children with asthma, depending on controllability of the course of the disease. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*, *(86)*, 50–55. https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-86-50-55
6. Asher, M. I., Rutter, C. E., Bissell, K., Chiang, C. Y., El Sony, A., Ellwood, E., ... & Pearce, N. (2021). Worldwide trends in the burden of asthma symptoms in school-aged children: Global Asthma Network Phase I cross-sectional study. *The Lancet*, *398*(10311), 1569–1580. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01450-1
7. Bhatti, J. S., Bhatti, G. K., & Reddy, P. H. (2017). Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in metabolic disorders - a step towards mitochondria-based therapeutic strategies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, *1863*(5), 1066–1077. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2016.11.010
8. Bryant, N., & Muehling, L. M. (2022). T-cell responses in asthma exacerbations. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *129*(6), 709–718. https://doi.org/10.1016/j.anai.2022.07.027
9. Chistiakov, D. A., Shkurat, T. P., Melnichenko, A. A., Grechko, A. V., & Orekhov, A. N. (2018). The role of mitochondrial dysfunction in cardiovascular disease: a brief review. *Annals of Medicine*, *50*(2), 121–127. https://doi.org/10.1080/07853890.2017.1417631

10. Cloonan, S. M., & Choi, A. M. (2016). Mitochondria in lung disease. *Journal of Clinical Investigation*, *126*(3), 809–820. https://doi.org/10.1172/JCI81113
11. Farraia, M., Cavaleiro Rufo, J., Paciência, I., Castro Mendes, F., Delgado, L., Boechat, L., & Moreira, A. (2019). Metabolic interactions in asthma. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*, *51*(5), 196–205. https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.101
12. GINA Report, Global Strategy for Asthma Management and Prevention. (2023). *Global Initiative for Asthma*.
13. Herrera-de la Mata, S., Ramirez-Suastegui, C., Mistry, H., Castañeda-Castro, F. E., Kyyaly, M. A., Simon, H., ... & Seumois, G. (2023). Cytotoxic CD4+ tissue-resident memory T cells are associated with asthma severity. *Medicine*, *4*(12), 875–897.e8. https://doi.org/10.1016/j.medj.2023.09.003
14. Jeong, J., & Lee, H. K. (2021). The Role of CD4+ T Cells and Microbiota in the Pathogenesis of Asthma. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(21), 11822. https://doi.org/10.3390/ijms222111822
15. Moran, G., Buechner-Maxwell, V. A., Folch, H., Henriquez, C., Galecio, J. S., Perez, B., ... & Barria, M. (2011). Increased apoptosis of CD4 and CD8 T lymphocytes in the airways of horses with recurrent airway obstruction. *Veterinary Research Communications*, *35*(7), 447–456. https://doi.org/10.1007/s11259-011-9482-x
16. Mortimer, K., Lesosky, M., Garcia-Marcos, L., Asher, M. I., Pearce, N., Ellwood, E., ... & Chiang, C. Y. (2022). The burden of asthma, hay fever and eczema in adults in 17 countries: GAN Phase I study. *European Respiratory Journal*, *60*(3), 2102865. https://doi.org/10.1183/13993003.02865-2021
17. Zhu, X., Ji, X., Shou, Y., Huang, Y., Hu, Y., & Wang, H. (2020). Recent advances in understanding the mechanisms of PM2.5-mediated neurodegenerative diseases. *Toxicology Letters*, *329*, 31–37. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.04.017

Список литературы

1. Денисенко, Ю. К., Новгородцева, Т. П., Виткина, Т. И., Антонюк, М. В., & Бочарова, Н. В. (2018). Состав жирных кислот мембран митохондрий тромбоцитов при хронических заболеваниях органов дыхания. *Клиническая медицина*, *96*(4), 343–347. https://doi.org/10.18821/0023-2149-2018-96-4-343-347
2. Денисенко, Ю. К., Новгородцева, Т. П., Кондратьева, Е. В., Жукова, Н. В., Антонюк, М. В., Кнышова, В. В., & Минеева, Е. Е. (2015). Морфофункциональное состояние митохондрий клеток крови при бронхиальной астме. *Клиническая медицина*, *93*(10), 47–51.

3. Кондратьева, Е. В., & Виткина, Т. И. (2022). Функциональное состояние митохондрий при хронических респираторных заболеваниях. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*, *(84)*, 116–126. https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-84-116-126
4. Лобанова, Е. Г., Кондратьева, Е. В., Минеева, Е. Е., & Караман, Ю. К. (2014). Мембранный потенциал митохондрий тромбоцитов у пациентов с хронической обструктивной болезнью лёгких. *Клиническая лабораторная диагностика*, *(6)*, 13–16.
5. Супрун, Е. Н. (2022). Оценка мембранного потенциала митохондрий иммунокомпетентных клеток крови при бронхиальной астме у детей в зависимости от контролируемости течения заболевания. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*, *(86)*, 50–55. https://doi.org/10.36604/1998-5029-2022-86-50-55
6. Asher, M. I., Rutter, C. E., Bissell, K., Chiang, C. Y., El Sony, A., Ellwood, E., ... & Pearce, N. (2021). Worldwide trends in the burden of asthma symptoms in school-aged children: Global Asthma Network Phase I cross-sectional study. *The Lancet*, *398*(10311), 1569–1580. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01450-1
7. Bhatti, J. S., Bhatti, G. K., & Reddy, P. H. (2017). Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in metabolic disorders - a step towards mitochondria-based therapeutic strategies. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease*, *1863*(5), 1066–1077. https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2016.11.010
8. Bryant, N., & Muehling, L. M. (2022). T-cell responses in asthma exacerbations. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, *129*(6), 709–718. https://doi.org/10.1016/j.anai.2022.07.027
9. Chistiakov, D. A., Shkurat, T. P., Melnichenko, A. A., Grechko, A. V., & Orekhov, A. N. (2018). The role of mitochondrial dysfunction in cardiovascular disease: a brief review. *Annals of Medicine*, *50*(2), 121–127. https://doi.org/10.1080/07853890.2017.1417631
10. Cloonan, S. M., & Choi, A. M. (2016). Mitochondria in lung disease. *Journal of Clinical Investigation*, *126*(3), 809–820. https://doi.org/10.1172/JCI81113
11. Farraia, M., Cavaleiro Rufo, J., Paciência, I., Castro Mendes, F., Delgado, L., Boechat, L., & Moreira, A. (2019). Metabolic interactions in asthma. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*, *51*(5), 196–205. https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.101
12. GINA Report, Global Strategy for Asthma Management and Prevention. (2023). *Global Initiative for Asthma*.
13. Herrera-de la Mata, S., Ramirez-Suastegui, C., Mistry, H., Castañeda-Castro, F. E., Kyyaly, M. A., Simon, H., ... & Seumois, G. (2023). Cytotoxic CD4+

tissue-resident memory T cells are associated with asthma severity. *Medicine*, *4*(12), 875–897.e8. https://doi.org/10.1016/j.medj.2023.09.003
14. Jeong, J., & Lee, H. K. (2021). The Role of CD4+ T Cells and Microbiota in the Pathogenesis of Asthma. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*(21), 11822. https://doi.org/10.3390/ijms222111822
15. Moran, G., Buechner-Maxwell, V. A., Folch, H., Henriquez, C., Galecio, J. S., Perez, B., ... & Barria, M. (2011). Increased apoptosis of CD4 and CD8 T lymphocytes in the airways of horses with recurrent airway obstruction. *Veterinary Research Communications*, *35*(7), 447–456. https://doi.org/10.1007/s11259-011-9482-x
16. Mortimer, K., Lesosky, M., Garcia-Marcos, L., Asher, M. I., Pearce, N., Ellwood, E., ... & Chiang, C. Y. (2022). The burden of asthma, hay fever and eczema in adults in 17 countries: GAN Phase I study. *European Respiratory Journal*, *60*(3), 2102865. https://doi.org/10.1183/13993003.02865-2021
17. Zhu, X., Ji, X., Shou, Y., Huang, Y., Hu, Y., & Wang, H. (2020). Recent advances in understanding the mechanisms of PM2.5-mediated neurodegenerative diseases. *Toxicology Letters*, *329*, 31–37. https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.04.017

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Kondratyeva, PhD, Senior Researcher of Biomedical research Laboratory
Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment
73g, Russkaya Str., Vladivostok, Russian Federation
elena.v.kondratyeva@yandex.ru
SPIN-code: 8907-2001
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3024-9873
ResearcherID: HLG-7594-2023
Scopus Author ID: 57103185200

Tatyana I. Vitkina, PhD, DSc, Professor RAS, Head of Laboratory of Medical Ecology and Recreational Resources
Vladivostok Branch of Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration – Institute of Medical Climatology and Rehabilitative Treatment
73g, Russkaya Str., Vladivostok, Russian Federation
tash30@mail.ru
SPIN-code: 4578-3522
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1009-9011
ResearcherID: F-5250-2016
Scopus Author ID: 22954655800

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кондратьева Елена Викторовна, к.б.н., с.н.с. лаборатории биомедицинских исследований
Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения
ул. Русская, 73г, г. Владивосток, 690105, Российская Федерация
elena.v.kondratyeva@yandex.ru

Виткина Татьяна Исааковна, д.б.н., профессор РАН, заведующая лабораторией медицинской экологии и рекреационных ресурсов
Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения
ул. Русская, 73г, г. Владивосток, 690105, Российская Федерация
tash30@mail.ru

Поступила 25.07.2024 Received 25.07.2024
После рецензирования 04.08.2024 Revised 04.08.2024
Принята 10.08.2024 Accepted 10.08.2024

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039 **EDN: WBRGIR**
УДК 633.11«324»:631.53.027.325

Научная статья

ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ, ВСХОЖЕСТЬ И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ КИСЛОТНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ

О.В. Мельникова, В.И. Репникова, В.Е.Ториков

Аннотация

Обоснование. Кислые почвы составляют около 50% от всех посевных угодий мира. Урожайность зерна пшеницы может увеличиваться до 50% при уменьшении кислотности с 4,9 до 6,2 единиц. В связи с этим актуальным является оценка сортовой реакции проростков семян озимой пшеницы на изменение уровня кислотности среды произрастания.

Цель. Оценить влияние уровня кислотности водной среды (pH=5, pH=7, pH=9) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян сортов и перспективных линий озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.).

Материалы и методы. Исследования проводили в условиях лабораторного опыта (n=6). Объект исследования – семена сортов и перспективных линий озимой пшеницы мягкой. Семена пшеницы проращивали согласно ГОСТ 12038-84. Изучали влияние трех уровней кислотности водной среды: pH=7 (нейтральная) – контроль, pH=5 (кислая), pH= 9 (щелочная). Изменение кислотности воды осуществляли методом электролиза с помощью ионизатора «IVA-II».

Результаты. На ранних этапах органогенеза сортовая реакция *Triticum aestivum* на кислотность среды существенно не проявлялась на всхожести семян (V<5,5%). Среднесортовая реакция на изменение кислотности среды проявлялась

на 7-ые сутки на длине ростков и центральных корешков. Наибольшая среднесортовая длина ростка – 11,39±0,66 см и центрального корешка – 9,48±0,99 см отмечалась в вариантах с нейтральной средой. Зародышевые корешки снижали в кислой среде сырую биомассу на 42,3–48,6%. Наибольшую кислотоустойчивость (V=2,6-8,6%) по массе ростков показали сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТРГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

Заключение. Сорта и перспективные линии вида *Triticum aestivum* предпочитают нейтральную и щелочную (pH=7 и 9) реакцию среды произрастания, а кислая среда (pH=5) вызывает замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых ростков и корешков.

Ключевые слова: озимая пшеница; сорта; энергия прорастания; всхожесть семян; кислотность среды; длина корешка; длина ростка

Для цитирования. Мельникова, О. В., Репникова, В. И., & Ториков, В. Е. (2025). Энергия прорастания, всхожесть и биометрические показатели проростков семян озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) в условиях различной кислотности водной среды. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 144-163. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039

Original article

GERMINATIVE ENERGY, GERMINATING ABILITY AND SEED GERMINATION BIOMETRICS OF SOFT WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) IN DIFFERENT ACIDITY AQUEOUS MEDIUM

O.V. Melnikova, V.I. Repnikova, V.E. Torikov

Abstract

Background. Acidic soils account for about 50% of all cultivated lands in the world. The yield of wheat grain can increase up to 50% with a decrease in acidity from 4.9 to 6.2. In this regard it is relevant to assess the varietal reaction of winter wheat seed germs to changes in the acidity level of the growing environment.

Purpose. The study was aimed to evaluate the acidity (pH=5, pH=7, pH=9) effect of the aqueous medium on changes in germinative energy, germinating ability and biometrics of wheat germs of varieties and promising lines of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.).

Materials and methods. The researches were carried out in the conditions of a laboratory experiment (n=6). The object of the research was seed grain of vari-

eties and promising lines of soft winter wheat. The wheat seeds were germinated according to All-Union State Standard 12038-84. The effect of three acidity levels of the aqueous medium was studied: pH=7 (neutral) – control, pH=5 (acidic), pH=9 (alkaline). The change in the water acidity was carried out by electrolysis using an ionizer "IVA-II".

Results. In the early stages of organogenesis the varietal reaction of Triticum aestivum to the acidity affected seed germination insignificant (V<5.5%). The mean reaction of the varieties to changes in the acidity was recorded on the length of germs and central roots on the 7th day. The highest germ length of the varieties on average (11.39±0.66 cm) and the central root length (9.48±0.99 cm) were observed in the variants with a neutral medium. Primordial roots reduced crude biomass in an aqueous medium by 42.3-48.6%. Such varieties as Angelina, Rubezhnaya, Mera, STRG 806015, EN Cepheus, EN Photon and the promising line Erythrosperum 69/21 showed the highest acid resistance (V=2.6-8.6%) by germ weight.

Conclusion. It has been found that varieties and promising lines of the Triticum aestivum species prefer a neutral and alkaline reaction of the growing medium (pH= 7 and 9), and an acidic medium (pH=5) causes slowing down growth intensity and decreasing the mass of germs and embryo roots.

Keywords: winter wheat; variety; germinative energy; seed germinating ability; acidity; root length; germ length

For citation. Melnikova, O. V., Repnikova, V. I., & Torikov, V. E. (2025). Germinative energy, germinating ability and seed germination biometrics of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in different acidity aqueous medium. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 144–163. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1039

Введение

В условиях экстенсивного ведения сельского хозяйства постоянно снижается плодородие почв. Наблюдается уменьшение запасов гумуса, содержания доступных форм питательных веществ, увеличивается кислотность почв, разрушается почвенно-поглощающий комплекс и почвенная структура. Эти неблагоприятные процессы отрицательно влияют на величину урожая сельскохозяйственных культур и на качество продукции [3, с. 92; 14, с. 30]. К ухудшению агрохимических показателей почв, в частности показателя кислотности, могут приводить и некоторые приемы интенсификации земледелия, например длительное применение высоких доз минеральных туков.

Кислые почвы составляют около 50% от всех посевных угодий мира, что ограничивает производство возделываемых культур. Площадь сель-

скохозяйственных угодий с повышенной кислотностью ежегодно увеличивается, в России она составляет примерно 30% [10, с. 116]. В кислых почвах ионы водорода и алюминия – основной стрессор для растений, в том числе для пшеницы, которая считается одним из основных и экономически значимых продуктов питания. Многими исследователями изучены вопросы стрессоустойчивости пшеницы мягкой к различным факторам среды [20, p. 100298; 21, p. 27814; 23, p.273; 24, p. 65]. Удобрительные средства являются значительным и весомым вкладом, воздействующим на продуктивность и качественные показатели зерна озимой пшеницы. Урожайность зерна пшеницы может увеличиваться до 50% при уменьшении кислотности с 4,9 до 6,2 единиц [4, с. 21; 15, с. 32].

Длительное применение в севооборотах минеральных удобрений, извести, биопрепаратов, сидератов влияет на изменение кислотности почвы и продуктивности сельскохозяйственных культур [7, с. 356; 11, с. 9; 16, с. 26; 18, с. 6].

Рядом авторов [1, с. 32; 16, с. 26] установлено, что при традиционной обработке светло-серой лесной среднесуглинистой почвы (pH_{KCl} 5,6) в варианте с внесением N60P60K60 значения кислотности почвы снижались на 0,5-0,6 ед. pH, почва переходила в разряд слабокислой. Безотвальная глубокая обработка позволяет поддерживать кислотность почвы на первоначальном уровне, даже на удобренных вариантах. Аналогичные данные получены исследователями [5, с. 10; 13, с. 37] в опыте на темно-серой лесной почве, где при длительном внесении N40P40K40 и высокой степени насыщенности основаниями почвы – 85% не оказывалось существенного влияния на величину гидролитической и обменной кислотности почвы, которая за весь период исследований была стабильно нейтральной. Однако применение высоких норм физиологически кислых туков может сдвигать реакцию pH почвы в сторону подкисления. Это может негативно сказаться на величине будущего урожая.

Многие агротехнологические приемы способны влиять на посевные качества семян зерновых культур [12, с. 32; 19, с. 01003]. Всхожесть семян зависит от условий прорастания. На ранних этапах онтогенеза на появление проростков и рост всходов оказывает влияние ряд факторов среды произрастания: температурный режим, влажность, уровень кислотности среды и другие [2, с. 11; 8, с. 125].

Величины энергии прорастания и всхожести семян у групп среднеранних и среднеспелых сортов пшеницы в большей степени зависят от сорта и взаимодействия средовых условий [6, с. 10].

В связи с этим актуальным является оценка сортовой реакции проростков семян озимой пшеницы на изменение уровня кислотности среды произрастания. Реакцию сортов на закисление почв необходимо учитывать при подборе сортов для возделывания с целью снижения вредного влияния этих факторов на растения. По мнению многих авторов [9, с. 66; 17, с. 166; 22, p. 27814], различия в устойчивости между сортами в начальный период вегетации сохраняются как генетический признак и у взрослых растений. Ростовая реакция корневой системы и надземной части растений служит показателем устойчивости зерновых культур к стрессовому воздействию. Поэтому изучение кислотоустойчивости сортов пшеницы на проростках в начальные этапы онтогенеза имеет важное значение.

Цель исследований – оценить влияние уровня кислотности водной среды (pH=5, pH=7, pH=9) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян сортов и перспективных линий озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*).

В задачу исследования входило оценить сортовую отзывчивость проростков озимой пшеницы на уровень кислотности среды по показателям энергии прорастания, всхожести, длине зародышевого роста и центрального корешка, а также сырой биомассе ростков и корешков. Провести ранжирование сортов и линий пшеницы по данным показателям, выделить наиболее кислотоустойчивые сорта и линии озимой пшеницы мягкой *(Triticum aestivum L.*).

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в условиях лабораторного опыта в 6-ти кратной повторности. Объектом исследований являлись элитные семена 13-ти сортов и 4-х перспективных линий озимой пшеницы мягкой (*Triticum aestivum L.*) отечественной и иностранной селекции: СТРГ 8060 15 (SAATZUCHT STRENG-ENGELEN GMBH), ЭН Тайгета («ЭкоНива-Семена»), ЭН Цефей («ЭкоНива-Семена»), ЭН Фотон («ЭкоНива-Семена»), ЭН Альбирео («ЭкоНива-Семена»), Ангелина (ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 3 регион), Рубежная (ФГБУН главный Ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН), Памяти Федина (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»), Инна (ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»), Мера (ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ»), Августина (РУП Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию), Липецкая звезда SAATZUCHT STRENG-ENGELEN GMBH & CO.KG), Элегия (РУП Научно-практический центр НАН Беларуси по

земледелию) и перспективные линии Эритросперум 69/21, Эритросперум 298/17, Эритросперум 74/21, Эритросперум 223/21 (селекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»).

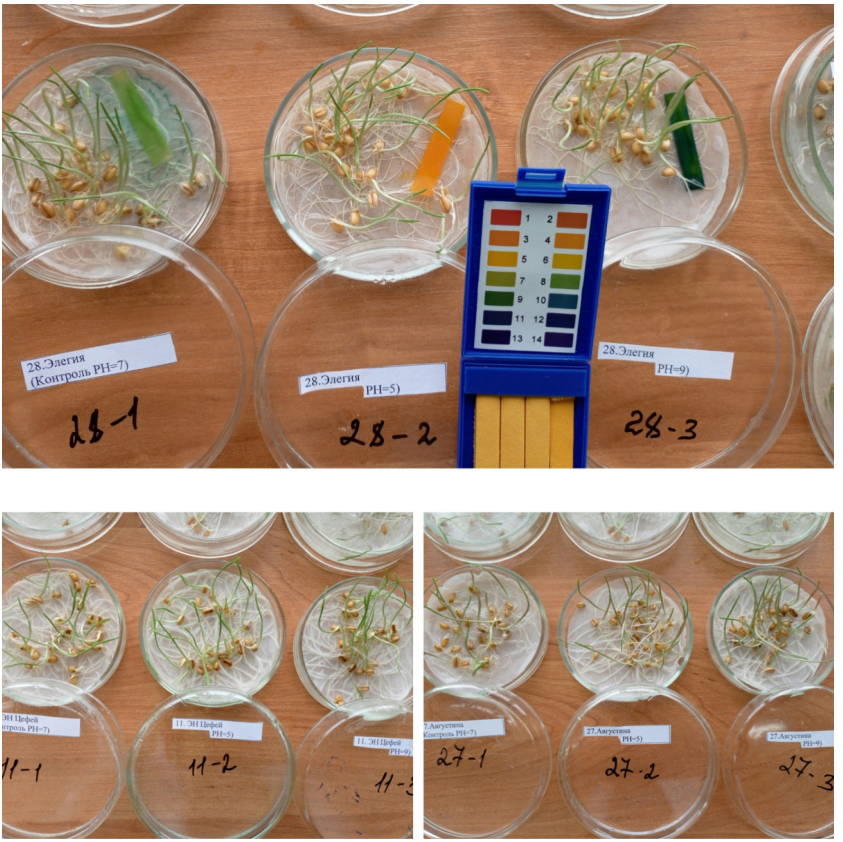


Рис. 1. Энергия прорастания семян пшеницы озимой мягкой (всходы на 3-и сутки онтогенеза) в вариантах с разными уровнями кислотности среды.

Семена пшеницы мягкой озимой проращивали согласно ГОСТ 12038-84, посевные качества семян определяли согласно ГОСТ Р 52325-2005. Проращивание семян пшеницы проводили при постоянной температуре +20^{0}С в чашках Петри на ложе из фильтровальной бумаги в водной среде с разными параметрами pH. В каждую чашку закладывали по 50 семян пшеницы. Повторность каждого варианта 6-ти кратная.

В опыте изучали влияние трех уровней кислотности водной среды: pH=7 (нейтральная) – контроль, pH=5 (кислая), pH= 9 (щелочная) на изменение энергии прорастания, всхожести и биометрических показателей проростков семян озимой пшеницы. В качестве контроля брали питьевую артезианскую воду с pH=7.

Изменение уровня кислотности воды осуществляли методом электролиза питьевой артезианской воды в течение 30 мин с помощью ионизатора воды марки «IVA-II» (ООО «Научно-производственная фирма «ИНКОМК», Москва), снабженного катодом и анодом. Полученная щелочная вода (католит) имела pH=9, кислая вода (анолит) имела pH=5.

Энергию прорастания учитывали на 3-и сутки, всхожесть – на 7-ые сутки, показатели вычисляли в процентах (рис. 1, 2).

На 7-ые сутки определяли длину зародышевого ростка и центрального корешка (см) в каждом варианте опыта, далее определяли сырую массу ростков и корешков (г), выраженную на 100 всходов.

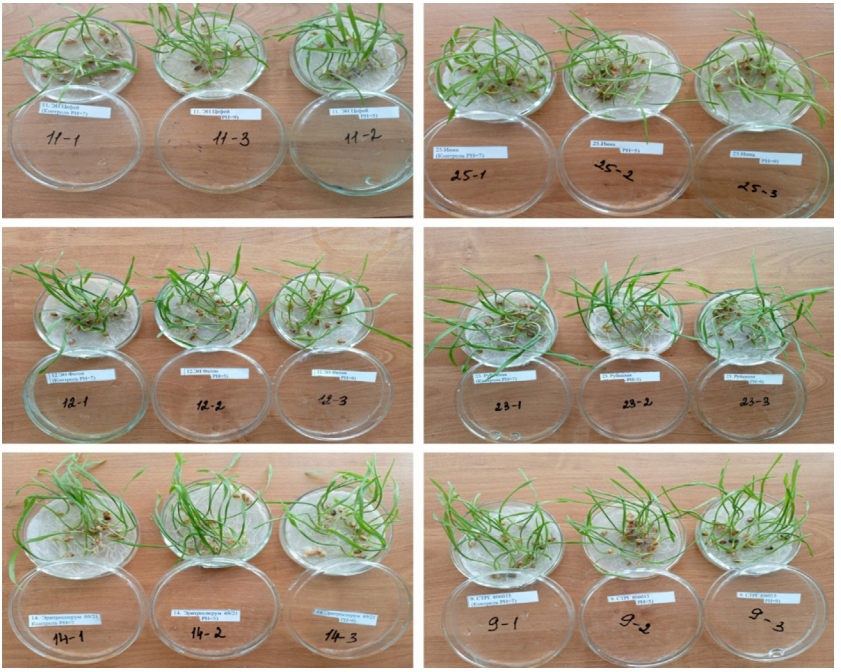


Рис. 2. Всходы пшеницы озимой мягкой на 7-ые сутки онтогенеза в вариантах с разными уровнями кислотности среды.

Статистические параметры количественной изменчивости показателей всхожести, энергии прорастания, биометрических значений ростков и корешков (S^2, S, $S_{\bar{x}}$, $S_{\bar{x}\%}$, $V\%$, $\bar{x} \pm t_{05}S\bar{x}$) оценивали по статистическим формулам, приведенным в методике опытного дела Б.А. Доспехова (1985). Реакцию сортов и перспективных линий пшеницы на различный уровень кислотности среды определяли по коэффициенту вариации (V, %). При интерпретации данных использовали градации данного коэффициента: 0-10% – низкая вариация, 10-20% – средняя и выше 20% – сильная вариация. Репрезентативность данных подтверждена статистическими показателями для уровня значимости $P_{0,95}$.

Результаты исследования и обсуждение

Оценивая влияние уровня кислотности среды на энергию прорастания семян различных сортов и линий озимой пшеницы, следует отметить, что в течение первых суток онтогенеза наблюдалось дружное набухание семян всех изучаемых сортов и линий пшеницы, независимо от уровня кислотности среды. На третьи сутки онтогенеза пшеницы наибольший среднесортовой показатель энергии прорастания семян – 93,1±3,22% отмечался у семян, находящихся в кислой среде (pH=5), тогда как в щелочной (pH=9) и нейтральной среде (pH=7) среднесортовые показатели энергии прорастания семян составили 87,6±4,94% и 82,1±7,14%.

Видовая реакция проращивания семян *Triticum aestivum* на условия кислотности среды изменялась по мере роста и развития зародышевых ростков и корешков. На 7-ые сутки онтогенеза учет лабораторной всхожести семян пшеницы показал, что в кислой среде (pH=5) среднесортовая всхожесть снижалась на 2,0-2,4%, по сравнению с вариантами нейтральной pH=7 и щелочной средой pH=9. Отмечались практически выровненные между собой среднесортовые значения всхожести семян пшеницы в нейтральной – 96,9±2,25% и щелочной средах – 96,8±2,04%.

Оценивая коэффициенты вариации лабораторной всхожести семян по сортам и линиям озимой пшеницы, можно отметить, что они были достаточно низкими и не превышали 5,5%. Это говорит о том, что сортовая реакция растений вида *Triticum aestivum* на кислотность среды на ранних этапах органогенеза существенно не проявлялась на лабораторной всхожести семян (таблица 1).

Установлены сортовые различия по всхожести семян озимой пшеницы, в зависимости от кислотности среды. Так сорта Рубежная, Инна, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Фотон показали нулевой коэффициент вариации на измене-

ние уровня кислотности среды произрастания (лабораторная всхожесть семян этих сортов была одинаковой при pH=7, pH=5 и pH=9). Это наиболее устойчивые сорта к кислотности среды произрастания по показателю всхожести.

Таблица 1.

Энергия прорастания и лабораторная всхожесть семян озимой пшеницы в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)

Варианты (сорта и линии*)	Энергия прорастания,% (3-е сутки)				Лабораторная всхожесть,% (7-е сутки)			
	(конт. pH=7) нейтрал	(pH =5) кислая	(pH =9) щелочная	коэфф. вариации, V%	(конт. pH=7) нейтрал	(pH =5) кислая	(pH =9) щелочная	коэфф. вариации, V%
Ангелина	68	88	92	18,5	92	88	96	4,3
Рубежная	68	88	80	13,2	96	92	96	2,2
Памяти Федина	62	80	68	12,5	98	88	92	5,6
Инна	64	96	76	19,8	86	84	92	5,2
Мера	88	96	92	4,3	100	96	100	2,1
Августина	80	92	88	7,5	96	96	96	0,0
Элегия	96	100	96	2,2	98	100	100	1,3
Липецкая звезда	96	88	96	4,5	100	92	96	4,2
СТРГ 806015	80	88	76	7,1	96	88	96	4,5
ЭН Тайгета	92	100	92	4,5	100	100	100	0,0
ЭН Цефей	68	100	92	20,9	98	100	100	1,3
ЭН Фотон	92	100	100	5,5	100	100	100	0,0
ЭН Альбирео	68	84	76	10,5	88	86	86	1,5
Эритросперум 69/21*	100	96	80	13,7	100	96	96	2,7
Эритросперум 298/17*	76	92	96	14,4	100	98	100	1,1
Эритросперум 74/21*	100	100	92	5,5	100	100	100	0,0
Эритросперум 223/21*	98	95	98	1,6	100	100	100	0,0
Среднесортовая, $\bar{x}$	82,1	93,1	87,6	-	96,9	94,4	96,8	-
Дисперсия, S^2	192,7	39,2	92,1	-	19,06	32,62	15,53	-
Станд.отклонение, S	13,98	6,26	9,60	-	4,37	5,71	3,94	-
Ошибка средней, $S_{\bar{x}}$	3,37	1,52	2,33	-	1,06	1,39	0,96	-
Относит.ошибка, $S_{\bar{x}\%}$	4,10	1,63	2,66	-	1,09	1,47	0,99	-
Коэфф.вариации, *V%*	16,90	6,73	10,96	-	4,50	6,05	4,07	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{05}S\bar{x}$	82,1± 7,14	93,1± 3,22	87,6± 4,94	-	96,9± 2,25	94,4± 2,95	96,8± 2,04	-

Незначительная вариация лабораторной всхожести семян (V=1,15-1,32%), в зависимости от уровня кислотности среды, отмечена у сортов: Памяти Федина, Августина, ЭН Альбирео и перспективной линии Эритросперум 69/21. Более высокие показатели данного коэффициента (V=4,17-5,43%), отмечались у сортов СТРГ 806015, ЭН Тайгета, Ангелина и перспективных линий Эритросперум 298/17, Эритросперум 223/21. Эти сорта и линии сильнее реагировали на изменение pH среды, проявляли меньшую кислотоустойчивость.

В лабораторном опыте было установлено, что на начальном этапе онтогенеза среднесортовая реакция растений вида *Triticum aestivum* на изменение кислотности среды стала проявляться на 7-ые сутки роста на показателях длины ростков и центральных зародышевых корешков (таблица 2).

Наибольшей вариацией (V=11,6-24,2%) показателя длины ростка на изменение кислотности среды отличались сорта: Инна, Памяти Федина, ЭН Тайгета и линия Эритросперум 298/17. Они сильнее реагировали на изменение pH-среды водного раствора. Остальные сорта показали невысокую изменчивость длины ростка (V=2,8-8,4%) от pH-среды.

По изменению коэффициентов вариации длины центральных корешков следует выделить сорта с высокой вариационной изменчивостью этого показателя (V=20,2-22,6%): Ангелина, Августина, ЭН Тайгета и линию Эритросперум 298/17. Все остальные сорта и линии отличались средней вариацией (V=11,1-18,6%) длины центрального корешка всходов под действием изменения кислотности среды.

Наибольшая среднесортовая длина ростков и корешков на 7-е сутки – 11,39±0,66 см и 9,48±0,99 см, соответственно, отмечалась в вариантах с нейтральной (pH=7) средой проращивания семян. В то время как наименьшие показатели роста – 10,55±0,64 и 7,70±0,53 см были установлены в вариантах опыта с кислой средой (pH=5). Промежуточное положение по длине ростков (в среднем 10,95±0,74 см) и корешков (в среднем 9,06±0,87 см) имели всходы семян пшеницы, которые проращивались в щелочной среде (pH=9).

Аналогичная тенденция прослеживалась на показателях сырой биомассы ростков и корешков на 7-ые сутки онтогенеза пшеницы. В кислой среде отмечался наименьший среднесортовой показатель сырой массы ростков – 7,81±0,53 г/100 всх. и сырой массы корешков – 3,73±0,47 г/100 всх. В то время как эти среднесортовые биометрические показатели были выше на 11,0 и 8,5% (для ростков) и 48,6 и 42,3% (для корешков) в вариантах с pH=7 и pH=9 среды проращивания семян (таблица 3).

Таблица 2.

Длина зародышевых ростков и корешков семян озимой пшеницы в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)

Варианты (сорта и линии*)	Средняя длина (см) ростков на 7-е сутки				Средняя длина (см) центр. корешка на 7-е сутки			
	(конт. pH=7) нейтрал	(pH =5) кислая	(pH =9) щелочная	коэфф. вариации, V%	(конт. pH=7) нейтрал	(pH =5) кислая	(pH =9) щелочная	коэфф. вариации, V%
Ангелина	11,1	9,4	10,7	8,0	8,9	6,3	6,9	20,2
Рубежная	13,1	11,8	12,0	6,4	10,4	8,0	8,6	15,1
Памяти Федина	10,6	10,6	13,1	14,6	9,0	7,9	11,1	18,4
Инна	10,8	9,4	9,0	11,6	10,2	8,1	8,4	14,3
Мера	9,3	8,3	8,8	5,7	7,2	6,1	5,5	16,7
Августина	13,3	11,8	12,8	5,8	11,1	7,9	12,3	20,5
Элегия	11,3	10,2	10,7	5,2	9,7	7,3	8,4	14,4
Липецкая звезда	11,0	10,2	11,0	3,9	6,8	6,1	8,5	18,6
СТРГ 806015	10,8	10,2	10,6	2,8	8,6	7,1	9,7	15,0
ЭН Тайгета	11,1	10,5	8,8	14,2	10,4	8,5	7,2	22,6
ЭН Цефей	10,2	10,1	10,8	4,1	9,4	7,7	9,7	11,1
ЭН Фотон	9,6	9,3	9,9	3,1	9,6	7,6	9,4	11,4
ЭН Альбирео	12,5	12,2	12,7	2,0	8,1	9,0	9,9	12,3
Эритросперум 69/21*	12,7	11,7	12,4	4,0	12,2	8,9	9,8	17,9
Эритросперум 298/17*	13,9	13,1	9,3	24,2	13,9	9,8	10,7	20,6
Эритросперум 74/21*	11,3	10,7	12,5	8,4	9,7	7,6	10,4	14,7
Эритросперум 223/21*	11,0	9,8	11,0	6,0	6,0	7,0	7,6	14,4
Среднесортовая, $\bar{x}$	**11,39**	**10,55**	**10,95**	**-**	**9,48**	**7,70**	**9,06**	**-**
Дисперсия, S^2	1,66	1,51	2,12	-	3,73	1,04	2,85	-
Станд.отклонение, S	1,29	1,23	1,45	-	1,93	1,02	1,69	-
Ошибка средней, $S\bar{x}$	0,31	0,30	0,35	-	0,47	0,25	0,41	-
Относит.ошибка, $S\bar{x}_{\%}$	2,75	2,82	3,22	-	4,94	3,21	4,53	-
Коэфф.вариации, *V%*	11,30	11,63	13,29	-	20,40	13,24	18,65	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{05}S\bar{x}$	11,39± 0,66	10,55± 0,64	10,95± 0,74	-	9,48± 0,99	7,70± 0,53	9,06± 0,87	-

Отмечалась высокая вариационная изменчивость (V=24,35-27,64%) среднесортовой величины сырой массы корешков, в то время как показатель сырой массы ростков имел среднюю реакцию (V=13,12-19,60%) на изменение кислотности среды проращивания семян.

Анализируя отзывчивость сортов и линий озимой пшеницы на кислотоустойчивость, можно отметить, что менее устойчивыми были линии Эритросперум 298/17 и Эритросперум 223/21, показавшие наибольший коэффициент вариации (V=21,8 и 22,5%).

Таблица 3.

Сырая масса зародышевых ростков и корешков семян озимой пшеницы в зависимости от уровня кислотности среды (n=6)

Варианты (сорта и линии*)	Средняя масса ростков на 7-е сутки, г/100 всходов				Средняя масса корешков на 7-е сутки, г/100 всходов			
	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. вариации, V%	(конт. pH=7) нейтрал	(pH=5) кислая	(pH=9) щелочная	коэфф. вариации, V%
Ангелина	10,05	8,50	9,16	8,6	8,10	4,23	5,84	33,0
Рубежная	10,22	8,84	10,52	8,4	9,83	4,04	7,74	39,0
Памяти Федина	7,18	7,88	9,13	14,9	6,00	3,16	8,43	44,4
Инна	8,04	6,32	6,84	13,3	7,28	3,48	6,16	32,6
Мера	6,12	6,37	5,45	8,6	4,20	2,21	3,82	28,6
Августина	9,00	7,96	10,54	14,6	9,53	3,22	8,50	44,0
Элегия	8,60	7,20	7,48	10,5	5,84	3,44	5,13	24,2
Липецкая звезда	6,35	5,82	7,4	13,0	5,65	2,09	8,45	57,9
СТРГ 806015	7,83	7,45	7,88	2,8	5,96	3,00	4,83	31,3
ЭН Тайгета	7,94	8,83	6,95	12,0	6,63	4,04	5,05	25,9
ЭН Цефей	7,59	7,83	8,17	4,5	8,77	5,54	7,57	21,5
ЭН Фотон	8,00	7,65	7,73	2,6	7,05	4,39	5,68	23,4
ЭН Альбирео	7,88	7,64	9,54	13,9	5,67	4,08	9,67	47,8
Эритросперум 69/21*	9,59	8,67	9,84	6,1	9,71	4,38	7,95	35,1
Эритросперум 298/17*	12,88	9,91	9,09	22,5	10,35	5,14	6,26	41,5
Эритросперум 74/21*	9,18	7,59	10,4	15,2	6,59	3,23	3,65	45,8
Эритросперум 223/21*	10,88	8,25	7,82	21,8	6,25	3,75	5,29	23,9
Среднесортовая, $\bar{x}$	**8,67**	**7,81**	**8,47**	**-**	**7,26**	**3,73**	**6,47**	**-**
Дисперсия, S^2	2,88	1,05	2,13	-	3,25	0,83	3,20	-
Станд.отклонение, S	1,70	1,02	1,46	-	1,80	0,91	1,79	-
Ошибка средней, $S\bar{x}$	0,41	0,25	0,35	-	0,44	0,22	0,43	-
Относит.ошибка, $S\bar{x}_{\%}$	4,75	3,19	4,19	-	6,03	5,91	6,71	-
Коэфф.вариации, *V%*	19,60	13,12	17,25	-	24,80	24,35	27,64	-
Доверит.интервал $\bar{x} \pm t_{05}S\bar{x}$	8,67± 0,87	7,81± 0,53	8,47± 0,74	-	7,26± 0,93	3,73± 0,47	6,47± 0,91	-

Сорта Памяти Федина, Инна, Августина, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Тайгета, ЭН Альбирео и линия Эритросперум 74/21 показали среднюю реакцию (V=10,5-15,2%) изменения массы ростков в разных pH-средах.

Наибольшую устойчивость (V=2,6-8,6%) показателя массы ростков к изменению уровня кислотности среды обеспечили сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТРГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

Все изучаемые сорта и линии показали очень высокие коэффициенты вариации (V=21,5-57,9%) изменения сырой массы корешков под влиянием кислотности среды произрастания. По сравнению с ростками, зародышевые корешки наиболее сильно реагировали на изменение уровня pH среды, снижая в кислой среде сырую биомассу на 42,3-48,6%.

Лабораторные исследования, проведенные на проростках сортов и линий озимой пшеницы мягкой, показали, что на ранних этапах органогенеза проростки *Triticum aestivum L.* предпочитают нейтральную и щелочную реакцию pH среды произрастания, тогда как кислая среда может вызывать замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых корешков растений, что может в дальнейшем негативно сказаться на продуктивности растений пшеницы. Полученные результаты исследований могут иметь практическое применение при подборе сортов озимой пшеницы, пригодных для возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях, в том числе на кислых почвах.

Выводы

1. На ранних этапах органогенеза сортовая реакция *Triticum aestivum* на кислотность среды существенно не проявлялась на всхожести семян (V<5,5%), а изменялась по мере роста и развития зародышевых ростков и корешков. Отмечены наиболее устойчивые к кислотности среды сорта по показателю всхожести семян: Рубежная, Инна, Элегия, Липецкая звезда, ЭН Фотон.

2. Среднесортовая реакция *Triticum aestivum* на изменение кислотности среды проявлялась на 7-ые сутки онтогенеза на длине ростков и центральных зародышевых корешков. Высокую вариацию длины центрального корешка (V=20,2-22,6%) на изменение pH-среды имели сорта: Ангелина, Августина, ЭН Тайгета и линия Эритросперум 298/17, они показали низкую кислотоустойчивость.

3. Наибольшая среднесортовая длина ростка – 11,39±0,66 см и центрального корешка - 9,48±0,99 см на 7-е сутки онтогенеза отмечалась в

вариантах с нейтральной (pH=7) средой проращивания семян. Наименьшие показатели длины ростка – 10,55±0,64 и корешка – 7,70±0,53 см были установлены в вариантах опыта с кислой средой (pH=5).

4. Зародышевые корешки, по сравнению с ростками, наиболее сильно реагировали на изменение уровня pH среды, снижая в кислой среде сырую биомассу на 42,3–48,6%. Все сорта и линии показали очень высокие коэффициенты вариации (V=21,5-57,9%) изменения сырой массы корешков под влиянием кислотности среды. Наибольшую кислотоустойчивость (V=2,6-8,6%) по показателю массы ростков показали сорта: Ангелина, Рубежная, Мера, СТРГ 806015, ЭН Цефей, ЭН Фотон и перспективная линия Эритросперум 69/21.

5. Сорта и перспективные линии вида *Triticum aestivum* предпочитают нейтральную и щелочную (pH=7 и 9) реакцию среды произрастания, в то время как кислая среда (pH=5) вызывает замедление интенсивности роста и уменьшение массы зародышевых ростков и корешков растений.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Богомолова, Ю. А., Саков, А. П., & Ивенин, А. В. (2018). Влияние систем основной обработки светло-серой лесной почвы и удобрений на её агрохимические показатели в звене зернового севооборота Нижегородской области. *Агрохимический вестник*, *(5)*, 32–39. https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10042
2. Грязькин, А. В., Гаврилова, О. И., & Гостев, К. В. (2023). Влияние воды, обработанной плазмой, на всхожесть семян сельскохозяйственных культур. *Аграрный научный журнал*, *(7)*, 11–16. https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp11-16
3. Гузенко, А. Ю., Солонкин, А. В., Беляев, А. И., & Семинченко, Е. В. (2023). Зависимость урожайности озимой пшеницы (Triticum aestivum L.) от почвенно-климатических условий и различных обработок почвы в зоне светло-каштановых почв Волго-Донского междуречья Южного федерального округа Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(2), 92–124. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124

4. Долгополова, Н. В., & Кондратова, Е. Ю. (2019). Действие удобрений на динамику пищевого режима и урожайность зерновых культур в севообороте. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, *(2)*, 21–24.
5. Дьяченко, Е. Н. (2022). Минеральные удобрения, известь и сидерация в плодосменном севообороте в условиях Прибайкалья. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, *52*(6), 5–11. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-1
6. Жаркова, С. В., Чевычелова, Н. В., & Новикова, С. С. (2021). Формирование показателей всхожести и энергии прорастания семян у сортов яровой мягкой пшеницы в разных средовых условиях. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, *(5)(199)*, 5–10.
7. Иванченко, Т. В., & Шевяхова, Е. А. (2022). Приёмы защиты яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(6), 356–371. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371
8. Капустина, И. С., Лазукин, А. В., & Нурминский, В. Н. (2023). Содержание жирных кислот и морфологические показатели проростков озимой пшеницы (Triticum aestivum L.) из семян, обработанных озоном. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(6), 125–147. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-962
9. Карманенко, Н. М. (2014). Сортовая реакция зерновых культур на низкие температуры, условия закисления и ионы алюминия. *Сельскохозяйственная биология*, *49*(5), 66–77.
10. Лысенко, Н. С., Малышев, Л. Л., & Пузанский, Р. К. (2024). Биомаркеры алюмотолерантности у зимостойких форм Triticum aestivum L. из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова. *Сельскохозяйственная биология*, *59*(1), 116–130. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.116rus
11. Лыскова, И. В., & Лыскова, Т. В. (2023). Урожайность и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от плодородия дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*, *(10)*, 9–19. https://doi.org/10.31857/S0002188123100101
12. Перевозкина, М. Г., Еремин, Д. И., & Белкина, Р. И. (2017). Биологический тест-контроль антиоксидантов на семенах зерновых культур. *Достижения науки и техники АПК*, *31*(1), 32–34.
13. Перфильев, Н. В., & Вьюшина, О. А. (2022). Агрохимическое состояние тёмно-серой лесной почвы при длительном воздействии систем основной обработки. *Плодородие*, *(4)(127)*, 37–41. https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.127.11

14. Плотников, А. М. (2018). Агрохимические свойства чернозёма выщелоченного и продуктивность зерновых культур под влиянием удобрений и химических мелиорантов в условиях Зауралья. *Вестник Курганской ГСХА*, *(4)(28)*, 30–35.
15. Просянников, В. И., & Степанова, О. И. (2017). Влияние агрохимических параметров почв на урожайность яровой пшеницы в Кемеровской области. *Достижения науки и техники АПК*, *31*(10), 32–35.
16. Романенко, А. А., Кильдюшкин, В. М., Солдатенко, А. Г., & Животовская, Е. Г. (2016). Влияние различных систем обработки почвы и удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*, *30*(3), 26–29.
17. Санеева, Е. А., Зорькина, О. В., & Нефедьева, Е. Э. (2022). Исследование фитотоксического действия тебуконазола, протиоконазола, флудиоксонила и препаратов на их основе на энергию прорастания и рост проростков пшеницы и горчицы белой. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(5), 166–186. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-166-186
18. Смуров, С. И., Гапиенко, О. В., & Григоров, О. В. (2023). Влияние элементов биологизации на плодородие почвы и продуктивность звена севооборота в условиях Юго-Западной части Центрально-Черноземного региона. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, *(4)*, 6–18.
19. Чекаев, Н. П., Блинохватова, Ю. В., Нуштаева, А. В., & Ногаев, В. О. (2022). Действие микробиологических удобрений и химических протравителей на посевные качества семян сельскохозяйственных культур. *Нива Поволжья*, *(1)(61)*, 01003. https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.009
20. Bhanbhro, N., Wang, H., Yang, H., Xu, X., Jakhar, A., Shalmani, A., ... & Chen, K. (2024). Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies associated with drought stress tolerance in common wheat (Triticum aestivum L.). *Plant Stress*, *11*, 100298. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100298
21. Kaur, A., Madhu, Sharma, A., Singh, K., & Upadhyay, S. (2024). Investigation of two-pore K+ (TPK) channels in Triticum aestivum L. suggests their role in stress response. *Heliyon*, *10*, e27814. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27814
22. Liu, W., Xu, F., Lv, T., Zhou, W., Chen, Y., Jin, C., ... & Lin, X. (2018). Spatial responses of antioxidative system to aluminum stress in roots of wheat (Triticum aestivum L.) plants. *Science of the Total Environment*, *627*, 462–469. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.021
23. Ma, J. F., Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, *6*(6), 273–278. https://doi.org/10.1016/s1360-1385(01)01961-6

24. Sarker, S., Ghosh, S., Hossain, M., Ghosh, R., Razia, S., Sushmoy, D., & Noor, M. (2019). Impact of aluminium (Al^{3+}) stress on germination and seedling growth of five wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, *17*(1), 65–76. https://doi.org/10.3329/sja.v17i1.42762

References

1. Bogomolova, Y. A., Sakov, A. P., & Ivienin, A. V. (2018). The influence of cultivation systems and fertilizers on agronomic indicators of light-grey forest soil in cereal crop rotations in the Nizhny Novgorod region. *Agrochemical Bulletin*, *(5)*, 32–39. https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10042
2. Gryazkin, A. V., Gavrilova, O. I., & Gostev, K. V. (2023). The effect of plasma-treated water on the germination of agricultural crop seeds. *Agrarian Scientific Journal*, *(7)*, 11–16. https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp11-16
3. Gruzhenko, A. Yu., Solonkin, A. V., Belyaev, A. I., & Seminchenko, E. V. (2023). Yield dependence of winter wheat (Triticum aestivum L.) on soil-climate conditions and soil processing methods in the light chestnut soils of the Volga-Don interfluvium, Southern Federal District, Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(2), 92–124. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124
4. Dolgopolova, N. V., & Kondratova, E. Yu. (2019). The effect of fertilizers on the dynamics of nutrient availability and crop yields in crop rotations. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, *(2)*, 21–24.
5. D'yachenko, E. N. (2022). Mineral fertilizers, liming, and green manuring in crop rotation under conditions of Lake Baikal region. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, *52*(6), 5–11. https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-6-1
6. Zharkova, S. V., Chevychelova, N. V., & Novikova, S. S. (2021). Seed germination and vigor performance of spring bread wheat cultivars under diverse environmental conditions. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, *(5)(199)*, 5–10.
7. Ivanchenko, T. V., & Shevyakhova, E. A. (2022). Protection practices for spring wheat in dryland farming conditions of the Lower Volga region, Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(6), 356–371. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371
8. Kapustina, I. S., Lazukin, A. V., & Nurminsky, V. N. (2023). Fatty acid content and morphometric characteristics of winter wheat (Triticum aestivum L.) seedlings from ozone-treated seeds. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(6), 125–147. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-962
9. Karmanenko, N. M. (2014). Variety-specific response of cereal crops to low temperatures, soil acidification, and aluminum ions. *Agricultural Biology*, *49*(5), 66–77.

10. Lysenko, N. S., Malyshev, L. L., & Puzansky, R. K. (2024). Biomarkers of aluminum tolerance in winter-resistant forms of Triticum aestivum L. from the N.I. Vavilov Institute Collection. *Agricultural Biology*, *59*(1), 116–130. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.116rus
11. Lyskova, I. V., & Lyskova, T. V. (2023). Crop yield and quality depending on the fertility of sod-podzol soil. *Agrochemistry*, *(10)*, 9–19. https://doi.org/10.31857/S0002188123100101
12. Perevozkina, M. G., Eremin, D. I., & Belkina, R. I. (2017). Biological testing of antioxidants in cereal seeds. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, *31*(1), 32–34.
13. Perfiliev, N. V., & Vyushina, O. A. (2022). Long-term impact of primary soil tillage systems on the agrochemical state of dark grey forest soil. *Fertility*, *(4)(127)*, 37–41. https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.127.11
14. Plotnikov, A. M. (2018). Agrochemical properties of leached black earth and productivity of cereal crops influenced by fertilizers and chemical amendments in the Urals region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, *(4)(28)*, 30–35.
15. Prosyannikov, V. I., & Stepanova, O. I. (2017). Influence of soil agrochemical parameters on spring wheat yield in Kemerovo region. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, *31*(10), 32–35.
16. Romanenko, A. A., Kil'dyushkin, V. M., Soldatenko, A. G., & Zhivotovskaya, E. G. (2016). Influence of different soil cultivation methods and fertilization on soil fertility and winter wheat yield. *Achievements of Science and Technology in Agroindustrial Complex*, *30*(3), 26–29.
17. Saneeva, E. A., Zorkina, O. V., & Neffedyeva, E. E. (2022). Phytotoxic effects of tebuconazole, prothioconazole, fludioxonil, and derived preparations on germination and root growth of wheat and white mustard. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(5), 166–186. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-166-186
18. Smurov, S. I., Gapienko, O. V., & Grigorov, O. V. (2023). Influence of biological components on soil fertility and productivity of crop rotation in the southwestern part of the Central Black Earth region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, *(4)*, 6–18.
19. Chekaev, N. P., Blionokhatova, Y. V., Nushtaeva, A. V., & Nogaev, V. O. (2022). Action of microbial fertilizers and chemical seed dressings on planting qualities of agricultural crop seeds. *Volga Region Farmland*, *(1)(61)*, 01003. https://doi.org/10.36461/NP.2022.61.1.009
20. Bhanbhro, N., Wang, H., Yang, H., Xu, X., Jakhar, A., Shalmani, A., ... & Chen, K. (2024). Revisiting the molecular mechanisms and adaptive strategies asso-

ciated with drought stress tolerance in common wheat (Triticum aestivum L.). *Plant Stress*, *11*, 100298. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100298
21. Kaur, A., Madhu, Sharma, A., Singh, K., & Upadhyay, S. (2024). Investigation of two-pore K+ (TPK) channels in Triticum aestivum L. suggests their role in stress response. *Heliyon*, *10*, e27814. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27814
22. Liu, W., Xu, F., Lv, T., Zhou, W., Chen, Y., Jin, C., ... & Lin, X. (2018). Spatial responses of antioxidative system to aluminum stress in roots of wheat (Triticum aestivum L.) plants. *Science of the Total Environment*, *627*, 462–469. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.021
23. Ma, J. F., Ryan, P. R., & Delhaize, E. (2001). Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*, *6*(6), 273–278. https://doi.org/10.1016/s1360-1385(01)01961-6
24. Sarker, S., Ghosh, S., Hossain, M., Ghosh, R., Razia, S., Sushmoy, D., & Noor, M. (2019). Impact of aluminium (Al^{3+}) stress on germination and seedling growth of five wheat genotypes. *SAARC Journal of Agriculture*, *17*(1), 65–76. https://doi.org/10.3329/sja.v17i1.42762

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Мельникова Ольга Владимировна, д-р с.-х. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
torikova1999@mail.ru

Репникова Валентина Ивановна, аспирант
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
v.i.repnikova@mail.ru

Ториков Владимир Ефимович, д-р с.-х. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Брянский государственный аграрный университет»
ул. Советская, 2а, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
torikov@bgsha.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Melnikova, D.Sc. (Agricultural Sciences), Professor
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
torikova1999@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8558-1948
SPIN-code: 3448-9581
Scopus Author ID: 57073664700

Valentina I. Repnikova, PhD student (Agricultural Sciences)
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
v.i.repnikova@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6465-129X

Vladimir E. Torikov, D.Sc. (Agricultural Sciences), Professor
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Vygonichsky district, Bryansk region, 243365, Russian Federation
torikov@bgsha.com
SPIN-code: 2202-5597
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0317-6410
Scopus Author ID: 57200094615

Поступила 15.05.2024 Received 15.05.2024
После рецензирования 13.07.2024 Revised 13.07.2024
Принята 05.08.2024 Accepted 05.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1102 **EDN: WLFQBO**
УДК 633:631.86

CC BY NC ND

Научная статья

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОЗЫ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ FE, MN, ZN И CU В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ РАПСА

О.А. Дубровина, Т.В. Зубкова, Д.В. Виноградов, В.А. Кравченко, В.Л. Захаров

Аннотация

Обоснование. Взаимодействие между питательными веществами растений может приводить к антагонистическим или синергетическим результатам, влияющим на эффективность использования питательных веществ. Знание взаимодействия питательных веществ может служить руководством при разработке удобрений и оптимизации стратегий внесения удобрений для получения высоких урожаев и высокой эффективности использования питательных веществ.

Цель. Изучить влияние применения органических удобрений отдельно или в сочетании с химическими на накопление и распределение Fe, Mn, Zn, и Cu в органах растений рапса в фазу зеленого стручка.

Материалы и методы. Исследование проводилось в 2022–2023 годах на учебно-опытном участке ЕГУ им. И.А. Бунина в Липецкой области. Почвенный покров землепользования представлен черноземом выщелоченным, среднесуглинистого гранулометрического состава. Схема опыта представлена четырьмя вариантами: 1. Контроль; 2. Грибной грунт 30т/га (28 кг N); 3. Грибной грунт 30т/га+ N_{70} (80 кг N); 4. Грибной грунт 30т/га + N_{140} (130 кг N). Минерализацию проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Подвижные формы металлов экстрагировали с помощью 1% HNO_3. Математическая обработка и интерпретация первичных данных проводились классическими статистическими методами с использованием пакета программ Statistica.

Результаты. Корневая система рапса стала концентратором Fe. Стабильный метаболизм железа, в корневой системе, объясняется выработкой растениями эффективных механизмов усвоения железа и жестким его регулированием.

Установлено, что увеличение поступающего азота более эффективно для повышения концентрации цинка в вегетативной и генеративной системе растения, чем в корне. Медь в рапсе регулируется азотным балансом и изучаемыми в опыте дозами удобрений, которые являются оптимальными и не проявляют антагонизм ионов. Представленные в опыте значения указывают на способность растения накапливать биодоступный Mn в наземных тканях растения.

Заключение. В ходе представленного исследования выявлено, что рекомендуемые в опыте удобрения и их дозы положительно влияют на синергизм и распределение жизненно важных микроэлементов в органах рапса. Их концентрация не достигает токсических значений.

Ключевые слова: медь; цинк; железо; марганец; рапс; удобрения

Для цитирования. Дубровина, О. А., Зубкова, Т. В., Виноградов, Д. В., Кравченко, В. А., & Захаров, В. Л. (2025). Изучение влияния дозы органоминеральных удобрений на накопление и распределение Fe, Mn, Zn и Cu в органах растений рапса. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 164-181. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1102

Original article

TO STUDY THE EFFECT OF THE DOSE OF ORGANOMINERAL FERTILIZERS ON THE ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF FE, MN, ZN AND CU IN THE ORGANS OF RAPESEED PLANTS

O.A. Dubrovina, T.V. Zubkova, D.V. Vinogradov, V.A. Kravchenko, V.L. Zakharov

Abstract

Background. The interaction between plant nutrients can lead to antagonistic or synergistic results that affect the effectiveness of nutrient use. Knowledge of nutrient interactions can guide the development of fertilizers and optimize fertilizer application strategies to achieve high yields and high nutrient efficiency.

Purpose. To study the effect of the use of organic fertilizers alone or in combination with chemical fertilizers on the accumulation and distribution of Fe, Mn, Zn, and Cu in the organs of rapeseed plants during the green pod phase.

Materials and methods. The study was conducted in 2022-2023 at the educational and experimental site of I.A. Bunin YSU in the Lipetsk region. The soil cover

of land use is represented by leached chernozem of medium loamy granulometric composition. The scheme of the experience is represented by four options: 1. Control; 2. Mushroom soil 30t/ha (28 kg N); 3. Mushroom soil 30t/ha+ N_{70} (80 kg N); 4. Mushroom soil 30t/ha + N_{140} (130 kg N). The mineralization of the samples was carried out by dry salinization according to GOST 26657-85. The mobile forms of metals were extracted using 1% HNO_3. The mathematical processing and interpretation of the primary data were carried out using classical statistical methods using the Statistica software package.

Results. The rapeseed root system has become a Fe hub. Stable iron metabolism in the root system is explained by the development of effective mechanisms of iron absorption by plants and its strict regulation. It was found that increasing the incoming nitrogen is more effective for increasing the concentration of zinc in the vegetative and generative system of the plant than in the root. Copper in rapeseed is regulated by the nitrogen balance and the doses of fertilizers studied in the experiment, which are optimal and do not show ion antagonism. The values presented in the experiment indicate the plant's ability to accumulate bioavailable Mn in terrestrial plant tissues.

Conclusion. In the course of the presented study, it was revealed that the fertilizers recommended in the experiment and their doses positively affect the synergy and distribution of vital trace elements in rapeseed organs. Their concentration does not reach toxic values.

Keywords: copper; zinc; iron; manganese; rapeseed; fertilizers

For citation. Dubrovina, O. A., Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., Kravchenko, V. A., & Zakharov, V. L. (2025). To study the effect of the dose of organomineral fertilizers on the accumulation and distribution of Fe, Mn, Zn and Cu in the organs of rapeseed plants. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 164–181. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1102

Введение

Рапс является ценной масличной культурой. Посевная площадь в России в 2023 году составила около 2,4 млн. га. [26]. Устойчивое расширение культуры связано с хорошей адаптацией рапса к умеренному климату, возросшим спросом на растительное масло, достижениями агропроизводителей, делающих производство более эффективным и прибыльным. Поэтому увеличение производства высококачественных семян ярового рапса является важнейшей задачей, стоящей перед сельхозпроизводителями.

Для того чтобы получать ежегодно стабильную урожайность маслосемян рапса на уровне 27-30 ц/га необходимо реализовать весь биологический потенциал культурного растения. Достижение максимальной

продуктивности невозможно без применения интенсивных технологий, основанных на грамотном подборе сортов и гибридов, рациональном питательном режиме и защите растений.

Питательные вещества имеют решающее значение для повышения урожайности рапса. Наиболее значимым источником их поступления в почву являются минеральные и органические удобрения, которые ускоряют рост растений и максимизируют урожайность культуры [4]. Потребление питательных веществ рапсом происходит с фазы розетки до окончания цветения [2]. На формирование 1 т семян рапса потребляется 80-100 кг N, 20-40 кг P_2O_5 и примерно 60-70 кг K_2O [22-25].

Азотные удобрения играют центральную роль в повышении урожайности и качестве семян рапса, во всех формах интенсивного земледелия [19-21]. Азотное удобрение, вносимое в почву, в основном существует в форме нитрата-N (NO_3-N), но в высоких дозах NO_3 может двусторонне воздействовать на биодоступность ключевых микроэлементов и привести к антагонистическим или синергетическим результатам, влияющих на эффективность использования питательных веществ.

Кроме основных макроэлементов, для нормальной вегетации рапса крайне желательны микроэлементы. Наиболее важные из них – Fe, Cu, Zn, Mn, B, наряду с белками, липидами и углеводами они составляют основу растений, участвуя в ключевых ферментативных процессах [9; 10].

Целый ряд научных исследований констатирует, что недостаток микроэлементов снижает ферментативную активность и метаболические процессы в растениях, а сверхдопустимое содержание может вызывать их цитотоксичность и повреждение за счет выработки АФК и последующего окислительного повреждения [15; 17; 18].

Очевидно, что взаимосвязь между поступлением азота при различных режимах управления N-питательными веществами и накоплением микроэлементов в тканях растений рапса в полевых условиях требует специального исследования, особенно в фазу зеленого стручка. Эта фаза характеризуется масштабными изменениями во взаимоотношениях источник-приемник, так как во время цветения вегетативные сегменты растения переходят из органов-поглотителей в органы-источники, что приводит к соответствующим изменениям в химическом составе растений [7; 8].

Цель исследования – изучение влияния азота при применении органических удобрений, как отдельно, так и в комплексе с химическими на накопление и распределение Fe, Mn, Zn, и Cu в органах растений рапса в фазу зеленого стручка.

Научная новизна. В ходе представленного исследования впервые выявлено, что рекомендуемые в опыте удобрения (грибной грунт 30т/га, грибной грунт 30т/га+ $N_{70,}$ грибной грунт 30т/га + N_{140}) положительно влияют на синергизм и распределение жизненно важных микроэлементов (Fe, Mn, Zn, и Cu) в органах рапса. Их концентрация не достигает токсических значений в таких частях рапса, как листья, стебель, стручок и корни.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в 2022–2023 годах на учебно-опытном участке ЕГУ им. И.А. Бунина в Липецкой области. Почвенный покров землепользования представлен черноземом выщелоченным, среднесуглинистого гранулометрического состава. Реакция почвенного раствора в верхних горизонтах слабокислая (pH = 5,5). Содержание гумуса составляет от 5,6% до 5,8%, общий азот составляет от 0,220% до 0,228%. Запасы подвижного фосфора в среднем составляют 197,2 мг/кг, калия - 124,7 мг/кг. Погодные условия в годы исследований складывались благоприятно для развития ярового рапса, ГТК в 2022 г. составил 1,64 и в 2023 г. – 1,30. За вегетационный период 2022 г. осадков выпало в основном выше нормы, исключением стал июнь (69% к норме), в 2023 г. исключением стали такие месяцы, как май (92,4 % к норме) и июнь (38,8 % к норме). Температурный режим в исследуемые годы находился практически по всем месяцам в пределах нормы.

Агротехника выращивания культуры проводилась по классической технологии для данной зоны. Предшественник рапса - яровая пшеница. Вслед за уборкой предшественника проводилось дискование стерни (Lemken Rubin 10) на глубину 2-5 см. Пахота проводилась трактором John Deere 7930 на глубину 27 см. Весной, перед предпосевной культивацией, согласно схеме опыта вносились удобрения. Органические удобрения в виде полуперепревшего грибного грунта и минеральные удобрения в виде аммиачной селитры.

Полевой опыт закладывали по общепринятым методикам. По схеме рендомезированного блока в 4-х кратной повторности. Площадь учётной делянки 25м^2.

Дозы внесения удобрений рассчитаны согласно рекомендациям. Схема опыта представлена четырьмя вариантами: 1.Контроль; 2. Грибной грунт 30т/га (28 кг N); 3. Грибной грунт 30т/га+ N_{70} (80 кг N); 4 Грибной грунт 30тт/га+ N_{140} (130 кг N).

Семена высевались рядовым способом, норма высева 2,5 млн. шт./га (6 кг/га). Посев проводился в оптимальные сроки, исходя из климатических особенностей года. В качестве объекта исследований использовался сорт ярового рапса Риф.

Защита растений проводилась механизировано, с помощью опрыскивателя John Deere 4730. Первая обработка была проведена в фазу 3-4-х настоящих листьев баковой смесью гербицида Нопасаран 1,2 л/га с прилипателем Даш 1,2 л/га. + инсектицидом Брейк 0,15 л/га.

Вторую обработку проводили в период стеблевания и в фазу начала бутонизации, которая была направлена на уничтожение вредителей рапса. Для этого применяли инсектицид Борей Нео, СК, 0,15 л/га.

В фазу цветения рапса была проведена третья химическая обработка, направленная на борьбу с рапсовым цветоедом и крестоцветными блошками с этой целью применяется инсектицид Маврик, ВЭ, 0,2 л/га.

Вариации распределения микроэлементов в органах растений рапса были оценены в фазу развития зеленый стручок. Исследованию подлежала вегетативная масса (стебель + лист), генеративная часть (стручок) и корневая система.

Обработка проб и химические анализы проводились в агрохимической лаборатории ЕГУ имени И.А. Бунина.

Минерализацию проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Подвижные формы металлов экстрагировали с помощью 1% HNO_3. Математическая обработка и интерпретация первичных данных проводились классическими статистическими методами с использованием пакета программ Statistica.

Результаты исследования

Железо - один из ключевых элементов в биохимических процессах. Оно действует как окислительно-восстановительный катализатор при дыхании, фотосинтезе и ассимиляции азота. Среднее содержание железа в растениях составляет 0,02-0,08% (20-80 мг/кг сухой массы) [2]. Растения усваивают железо из почвы (метаболически). В силу своих химических свойств, в почвопоглощающем комплексе оно представлено в виде комплексных соединений, в двух - и трехвалентной форме, меняя ее в зависимости от условий почвенной среды (в щелочной среде оно осаждается, в кислой – растворяется) [3]. Представленные в таблице 1 результаты исследования показывают, что корневая система рапса стала концентратором металла. Содержание элемента в ней не значительно различалось по вариантам, с 25,502 на контроле до 28,729мг /кг сухого вещества в варианте 4.

Таблица 1.

Распределение Fe, Zn, Cu, Mn в органах ярового рапса в зависимости от вариантов опыта

Вариант		Fe	Zn	Cu	Mn
Контроль	стебель-лист	15,504	18,451	12,975	12,975
	стручок-семена	9,2150	18,252	10,136	10,136
	корень	25,502	12,109	14,781	14,781
Грибной грунт 30т/га	стебель-лист	20,868	19,679	15,206	15,206
	стручок-семена	11,464	19,464	13,029	13,029
	корень	25,607	12,296	13,067	13,067
Грибной грунт 30т+ N_{70} (80 кг N)	стебель-лист	21,491	22,961	16,348	16,348
	стручок-семена	11,822	21,645	14,034	14,034
	корень	27,096	14,295	11,447	11,447
Грибной грунт 30т+ N_{140} (130 кг N)	стебель-лист	23,617	26,537	16,997	16,997
	стручок-семена	11,910	23,234	14,282	14,282
	корень	28,729	15,252	11,831	11,831

Стабильный метаболизм железа, в корневой системе, объясняется выработкой растениями эффективных механизмов усвоения железа и жестким его регулированием [13]. После поглощения корнями, железо транспортируется в вегетативную часть растения [16]. Локализация железа в стебле и листьях рапса достоверно увеличивалась и зависела от дозы внесения азота. При внесении 30 тонн грибного грунта в почву вносится 28 кг N (с учетом коэффициента использования) [6]. Эта доза увеличила содержание железа в вегетативной части растения до 20,868 мг/кг сухого вещества, что на 25 % выше, чем на контрольном - 15,504 мг/кг. Повышение общего азота за счет внесения аммиачной селитры (NH_4NO_3) в дозе 70 кг/га д.в. увеличило накопление железа в вегетативной части до 21,491мг/кг сухого вещества, а его доведение до 130кг/га в варианте 4 выявило 23,617мг/кг Fe.

В генеративную часть (стручок) переносилось 55% всего Fe, накопленного в побегах и листьях, в случае высокого поступления азота (варианты 2-4), в то время как при низком поступлении азота (контроль) это значение составляло 40% (9,215 мг/кг). Поступления N в опыте оказало положительное влияние на усвоение и распределение Fe в стебле и листьях и стручках растений рапса.

Цинк является важным питательным микроэлементом для роста и развития растений. Он активно участвует в ряде физиологических процессов растений, таких как гормональная регуляция, процессы репара-

ции комплекса PSII при фотоингибировании, поддержание концентрации CO_2 в мезофилле. Это единственный металл, присутствующий во всех шести классах ферментов (оксидоредуктаза, трансфераза, гидролазы, лиазы, изомеразы и лигазы). Для получения максимального урожая многим культурным растениям требуется концентрация цинка в листьях 15-30 мг/кг-сухого вещества [24]. Накопление цинка в органах растений зависит от генетической и видовой принадлежности растения, содержания Zn в почве, влажности почвы, ее pH, фенофазы культуры, биомассы корневой системы и наземной массы растения [23] .

Цинк поглощается корнями растений в основном в виде двухвалентного катиона (Zn^{2+}), посредством массового потока и механизмов диффузии корнями. Метод атомно-абсорбционной спектрометрии позволил выявить локализацию Zn в органах рапса в стадии зеленого стручка. В корневой системе концентрация металла составляла 12,109; 12,296; 14,295; 15,252 мг/кг сухого вещества в соответствии с вариантами опыта. Увеличение дозы азота не значительно влияло на количество элемента и его накопление было идентично с накоплением Fe, поскольку ионы обоих металлов имеют общие белки-переносчики, необходимые для их поглощения [11].

Установлено, что увеличение поступающего азота более эффективно для повышения концентрации цинка в вегетативной и генеративной системе растения, чем в корне. В образце листья+ стебель на контрольном варианте выявлено 18,451 мг/кг сухого вещества, в образце стручок 18,252 мг/кг сухого вещества. При внесении 30т/га органического удобрения количество Zn увеличилось до 19,679 и 19,464 мг/кг сухого вещества соответственно. Поступление азота в дозе 80кг/га д.в. увеличило концентрацию элемента в вегетативной части до 22,961 и 21,645 мг/кг сухого вещества в стручке. Увеличение поступления N с низкого до высокого уровня (вариант 4) в 1,5 раза увеличило и содержание цинка в вегетативной массе (до 26,537 мг/кг) и в 1,3 раза в генеративной(до 23,234 мг/кг). Этот результат согласуется с предыдущими исследованиями, в которых сообщалось о положительном влиянии азотного удобрения на концентрацию Zn в репродуктивных органах [14]. Биоаккумуляция цинка на уровне органов рапса стоит в следующем ряду: листья> стебель> стручок > корни.

Медь является важным питательным микроэлементом, необходимым растениям в качестве кофактора ферментов, участвующих в дыхании и фотосинтезе. Оптимальное содержание меди в растениях от 3 до 15 мг/кг сухого вещества при повышении элемента более 20 мг/кг сухой массы проявляются симптомы медной токсичности [1].

В почвенно-поглощающем комплексе медь является антагонистом ряда необходимых элементов - цинк, железо, кальций и может вызвать их недостаточность [5].

Внесение органоминеральных удобрений в опыте поднимало содержание Cu, в анализируемых частях растений. Концентрации Cu, наблюдаемые в рапсе, варьировали от 6,948 до 9,135 мг/кг сухого вещества для корней, в то время как вариация в вегетативной массе составляла от 2,761 до 4,658 мг/кг сухого вещества. В зеленом стручке наблюдаемая концентрация Cu не существенно различалась между вариантами 1и 2 (при внесении азота до 30 кг/га д.в) и не существенно коррелировала между вариантами 3 и 4 (R=0,35, P=0,26).

Результаты настоящего исследования показывают, что независимо от дозы внесения органоминеральных удобрений применяемых в опыте, рапс накапливает медь в корнях и переносит ее в побеговую систему. Накопление меди в стручке способствует обогащению микроэлементного состава зерна. Основываясь на приведенных результатах, Cu в рапсе регулируется азотным балансом и изучаемые в опыте дозы удобрений являются оптимальными и не проявляют антагонизм йонов.

Марганец играет роль в таких процессах жизненного цикла растения, как фотосинтез, дыхание, поглощение активных форм кислорода (АФК), защита от патогенов, гормональная сигнализация и структурирование генеративных органов. Он катализирует не только различные реакции расщепления углеводов и метаболизма органических кислот, но и ряд существенных превращений, участвующих в обмене азота и фосфора. Среднее содержание элемента в растениях разных семейств находится в пределах 10-400 мг/кг [12].

В нашем исследовании с яровым рапсом продемонстрирована высокая корреляция между содержанием Mn и дозой N удобрений во всех тестируемых частях растений. В корневой системе при внесении *30 т/га грибного грунта (вариант 2), содержалось 10,076* мг/кг сухого вещества*, а на контроле 10,781* мг/кг. Изменение накопления Mn в меньшую сторону связано с повышением pH почвы при внесении органического удобрения. С увеличением нормы внесения азотных удобрений, включающих аммиачную селитру накопление элемента увеличилось до 11,447 и 11,831 мг/кг соответственно. Усиление биоаккумуляции корневой системой Mn рапсом при увеличении N, вероятно, связано с хелатированием N некоторыми переходными элементами и снижением реакции почвенной среды [12]. Представленные в опыте значения указывают на способность растения

накапливать биодоступный металл в наземных тканях растения. Содержание марганца в стеблях и листьях капустной культуры было значительно выше соответствующих значений, чем на контрольном варианте, для N_{28}, N_{80} и N_{130} соответственно на 17,2%, 26,0% и 31,0%.

Во время формирования семян в стручке, у растений, получавших азот в виде органических и органоминеральных удобрений увеличилось содержание Mn в вариантах: от 10,136 мг/кг сухого вещества на контроле до 13,029 мг/кг сухого вещества нв варианте с применением грибного грунта, 14,034 в варианте 3 и 14,282 мг/кг сухого вещества на варианте 4.

Для практического применения удобрений важно выявить связь между Fe и Mn, так как функции этих микроэлементов связаны с процессами поглощения и с энзиматическими реакциями. Оптимальное соотношение Fe к Mn должно составлять 2:1 [1]. В условиях экспериментального исследования выявлено, что по мере увеличения поступления N, увеличивается количество поступаемого железа (Fe) в органы рапса, при этом идет снижение концентрации Mn в зеленой части и корнях, но не выявлено такого эффекта в зеленом стручке. Соотношение Fe к Mn в вегетативных органах при всех уровнях поступления N составляло 1,3:1, в стручке доля марганца была выше, чем железа. В вариантах 1-2 это соотношение равнялось 1:1,1, в вариантах с дозой общего азота 80 и 130 кг /га д.в.1:1,2. В корневой системе это соотношение составило в среднем 2,4:1.

Выводы

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что внесение органических и минеральных удобрений под рапс является важным фактором, для понимания роли азота в технологии выращивания рапса, распределении и накоплении жизненно важных для растения микроэлементов в частях растения.

Корневая система рапса стала концентратором Fe. Содержание элемента в ней не значительно различалось по вариантам опыта. Стабильный метаболизм железа, в корневой системе, объясняется выработкой растениями эффективных механизмов усвоения железа и жестким его регулированием при этом поступления N в опыте оказало положительное влияние на усвоение и распределение Fe в стебле и листьях и стручках растений рапса.

Установлено, что увеличение поступающего азота более эффективно для повышения концентрации цинка в вегетативной и генеративной системе растения, чем в корне. Биоаккумуляция цинка на уровне органов рапса стоит в следующем ряду: листья>стебель>стручок>корни.

Медь в рапсе регулируется азотным балансом и изучаемыми в опыте дозами удобрений, которые являются оптимальными и не проявляют антагонизм ионов. Внесение органоминеральных удобрений в опыте поднимало содержание Cu, в анализируемых частях растений. Максимальное накопление меди обнаружено в корневой системе.

Представленные в опыте значения указывают на способность растения накапливать биодоступный Mn в наземных тканях растения. В условиях экспериментального исследования выявлено, что по мере увеличения поступления N, увеличивается количество поступаемого железа (Fe) в органы рапса, при этом идет снижение концентрации Mn в зеленой части и корнях, но не выявлено такого эффекта в зеленом стручке.

Список литературы

1. Дабахов, М. В., Дабахова, Е. В., & Титова, В. И. (2005). *Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования.* Нижний Новгород: Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия.
2. Дубровина, О. А., Зубкова, Т. В., & Виноградов, Д. В. (2020). Накопление микроэлементов растениями ярового рапса при использовании куриного помёта и цеолита. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева*, *(48)*, 17–23. https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.48.4.003
3. Иванищев, В. В. (2019). Доступность железа в почве и его влияние на рост и развитие растений. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*, *(3)*, 127–138.
4. Иванов, А. И., Корягин, Ю. В., & Анохин, Р. В. (2015). Использование отработанного субстрата в качестве органического удобрения — важнейшее звено безотходной технологии выращивания грибов. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, *(27)*, 120–128.
5. Спицына, С. Ф., Томаровский, А. А., & Оствальд, Г. В. (2014). Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, *(120)*, 29–32.
6. Фомин, И. В., & Кшникаткин, С. А. (2017). Обоснование использования отработанного субстрата вешенки в качестве органического удобрения. В сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России» (23–24 марта 2017, Пенза), Том I (с. 86–89). Пенза: Пензенский государственный аграрный университет.

7. Bushe, A. S., et al. (2016). Efficiency of nitrogen use in rapeseed. Review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*, 1–20. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0371-0
8. Byshov, N. V., Uspenskiy, I. A., Yukhin, I. A., & Limarenko, N. V. (2020). Ecological and technological criteria for the efficient utilization of liquid manure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *422*, 012069. https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012069
9. Gulidova, V. A., Zubkova, T. V., Kravchenko, V. A., & Dubrovina, O. A. (2019). On the ways of improving photosynthesis productivity in spring rape plants in the crops. *Ecology, Environment and Conservation*, *25*(2), 577–581.
10. Gulidova, V. A., Zubkova, T. V., Kravchenko, V. A., & Dubrovina, O. A. (2017). The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers. *OnLine Journal of Biological Sciences*, *17*(4), 404–407. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2017.404.407
11. Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). Mechanism of zinc uptake in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *15*, 89–109. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1
12. Joardar Mukhopadhyay, M., & Sharma, A. (1991). Manganese in the cellular metabolism of higher plants. *Botanical Review*, *57*, 117–149. https://doi.org/10.1007/BF02858767
13. Kobayashi, T., Nozoe, T., & Nishizawa, N. K. (2019). Iron transport and its regulation in plants. *Biology of Free Radicals and Medicine*, *133*, 11–20. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439
14. Kutman, U. B., Yildiz, B., & Cakmak, I. (2011). Влияние азота на поглощение, ремобилизацию и распределение цинка и железа на протяжении развития твёрдой пшеницы. *Plants and Soil*, *342*, 149–164.
15. Li, Y., et al. (2019). Accumulation of manganese and physiological behavior of Camellia oleifera plants in response to different levels of nitrogen fertilizers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *184*, 109603. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109603
16. Mori, S. (1998). Transport of iron in cereal plants. *Metallic Ion Biology*, *35*, 215–238.
17. Lupova, E. I., Sazonkin, K. D., & Vinogradov, D. V. (2021). Yield of winter rape in Ryazan region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *723*(2), 022031. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022031
18. Ushakov, R. N., Ruchkina, A. V., Levin, V. I., Zakharova, O. A., Kostin, Y. V., & Golovina, N. A. (2018). Sustainability of Agro-gray soil to pollution and

acidification, and its bio-diagnostics. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(4.36), 92910.
19. Vinogradov, D., Lupova, E., Khromtsev, D., & Vasileva, V. (2018). The influence of bio-stimulants on productivity of coriander in the Non-Chernozem Zone of Russia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *24*(6), 1078–1084.
20. Vinogradov, D. V., Naumtseva, K. V., & Lupova, E. I. (2019). Use of biological fertilizers in white mustard crops in the Non-Chernozem Zone of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *341*(1), 012204. https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012204
21. Vinogradov, D. V., Makarova, M. P., & Zubkova, T. V. (2023). The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in oilseed agrocenoses. *Theoretical and Applied Ecology*, *(1)*, 93–100. https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-093-100
22. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., & Zakharov, V. L. (2022). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *979*(1), 012094. https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012094
23. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., & Dubrovina, O. A. (2022). Effect of zeolite on the micromorphological and biochemical features of spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, *54*(1), 153–164. https://doi.org/10.54910/SABRAO2022.54.1.14
24. Zubkova, T., Motyleva, S., Dubrovina, O., & Brindza, J. (2021). The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, *15*, 156–161. https://doi.org/10.5219/1356
25. Zubkova, T., Motyleva, S., Vinogradov, D., Gulidova, V., & Dubrovina, O. (2022). Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. pollen grains. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, *54*(2), 397–406. https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.2.15
26. Рынок рапса в 2023 году: тенденции и прогнозы. (18 сентября 2023). Получено с https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/rynok-rapsa-v-2023-godu-tendentsii-i-prognozy.html

References

1. Dabakhov, M. V., Dabakhova, E. V., & Titova, V. I. (2005). Heavy metals: ecotoxicology and standardization issues. Nizhni Novgorod: Nizhny Novgorod State Agricultural Academy.
2. Dubrovina, O. A., Zubkova, T. V., & Vinogradov, D. V. (2020). Accumulation of micronutrients by spring rape plants when applying chicken manure and ze-

olite. *Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*, *(48)*, 17–23. https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.48.4.003

3. Ivanischev, V. V. (2019). Iron availability in soil and its effect on plant growth and development. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Estestvennye Nauki*, *(3)*, 127–138.
4. Ivanov, A. I., Koryagin, Y. V., & Anokhin, R. V. (2015). Spent substrate use as organic fertilizer—a key component of waste-free mushroom growing technology. *XXI Century: Lessons Learned and Present-day Challenges Plus*, *(27)*, 120–128.
5. Spitsyna, S. F., Tomarovskiy, A. A., & Ostvald, G. V. (2014). Synergy and antagonism manifestations between copper, zinc, and manganese ions upon their uptake by plants. *Bulletin of Altay State Agrarian University*, *(120)*, 29–32.
6. Fomin, I. V., & Kshnikatkin, S. A. (2017). Rationalizing spent Pleurotus ostreatus substrate usage as organic fertilizer. In Materials of the All-Russian Scientific-Practical Conference of Young Scientists 'Innovative Ideas of Young Researchers for the Russian Agro-industrial Complex' (Penza, March 23–24, 2017), Volume I, pp. 86–89. Penza: Penza State Agrarian University.
7. Bushe, A. S., et al. (2016). Efficiency of nitrogen use in rapeseed. Review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*, 1–20. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0371-0
8. Byshov, N. V., Uspenskiy, I. A., Yukhin, I. A., & Limarenko, N. V. (2020). Ecological and technological criteria for the efficient utilization of liquid manure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *422*, 012069. https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012069
9. Gulidova, V. A., Zubkova, T. V., Kravchenko, V. A., & Dubrovina, O. A. (2019). On the ways of improving photosynthesis productivity in spring rape plants in the crops. *Ecology, Environment and Conservation*, *25*(2), 577–581.
10. Gulidova, V. A., Zubkova, T. V., Kravchenko, V. A., & Dubrovina, O. A. (2017). The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers. *OnLine Journal of Biological Sciences*, *17*(4), 404–407. https://doi.org/10.3844/ojbsci.2017.404.407
11. Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). Mechanism of zinc uptake in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, *15*, 89–109. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9390-1
12. Joardar Mukhopadhyay, M., & Sharma, A. (1991). Manganese in the cellular metabolism of higher plants. *Botanical Review*, *57*, 117–149. https://doi.org/10.1007/BF02858767

13. Kobayashi, T., Nozoe, T., & Nishizawa, N. K. (2019). Iron transport and its regulation in plants. *Biology of Free Radicals and Medicine*, *133*, 11–20. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.10.439
14. Kutman, U. B., Yıldız, B., & Çakmak, İ. (2011). Effect of nitrogen on zinc and iron acquisition, remobilization and partitioning during durum wheat development. *Plant and Soil*, *342*, 149–164.
15. Li, Y., et al. (2019). Accumulation of manganese and physiological behavior of Camellia oleifera plants in response to different levels of nitrogen fertilizers. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *184*, 109603. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109603
16. Mori, S. (1998). Transport of iron in cereal plants. *Metallic Ion Biology*, *35*, 215–238.
17. Lupova, E. I., Sazonkin, K. D., & Vinogradov, D. V. (2021). Yield of winter rape in Ryazan region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *723*(2), 022031. https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022031
18. Ushakov, R. N., Ruchkina, A. V., Levin, V. I., Zakharova, O. A., Kostin, Y. V., & Golovina, N. A. (2018). Sustainability of Agro-gray soil to pollution and acidification, and its bio-diagnostics. *International Journal of Engineering & Technology*, *7*(4.36), 92910.
19. Vinogradov, D., Lupova, E., Khromtsev, D., & Vasileva, V. (2018). The influence of bio-stimulants on productivity of coriander in the Non-Chernozem Zone of Russia. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *24*(6), 1078–1084.
20. Vinogradov, D. V., Naumtseva, K. V., & Lupova, E. I. (2019). Use of biological fertilizers in white mustard crops in the Non-Chernozem Zone of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *341*(1), 012204. https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012204
21. Vinogradov, D. V., Makarova, M. P., & Zubkova, T. V. (2023). The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in oilseed agrocenoses. *Theoretical and Applied Ecology*, *(1)*, 93–100. https://doi.org/10.25750/1995-4301-2023-1-093-100
22. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., & Zakharov, V. L. (2022). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *979*(1), 012094. https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012094
23. Zubkova, T. V., Vinogradov, D. V., & Dubrovina, O. A. (2022). Effect of zeolite on the micromorphological and biochemical features of spring rapeseed (*Brassica napus* L.). *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, *54*(1), 153–164. https://doi.org/10.54910/SABRAO2022.54.1.14
24. Zubkova, T., Motyleva, S., Dubrovina, O., & Brindza, J. (2021). The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experi-

ment. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, *15*, 156–161. https://doi.org/10.5219/1356

25. Zubkova, T., Motyleva, S., Vinogradov, D., Gulidova, V., & Dubrovina, O. (2022). Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of *Brassica napus* L. pollen grains. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, *54*(2), 397–406. https://doi.org/10.54910/sabrao2022.54.2.15
26. Rapseed Market in 2023: Trends and Forecasts. (September 18, 2023). Retrieved from https://agrovesti.net/lib/industries/oilseeds/rynok-rapsa-v-2023-godu-tendentsii-i-prognozy.html

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Дубровина Ольга Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
laboratoria101@mail.ru

Зубкова Татьяна Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
ZubkovaTanua@yandex.ru

Виноградов Дмитрий Валериевич, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии; профессор кафедры общего земледелия и агроэкологии
Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Российская Федерация; Ленинские горы, 1, стр. 12, 119234, г. Москва, Российская Федерация
vdvrzn@mail.ru

Кравченко Владимир Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
agrosoil@yandex.ru

Захаров Вячеслав Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции
Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина
ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация
zaxarov7979@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga A. Dubrovina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University Named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
laboratoria101@mail.ru

Tatyana V. Zubkova, Head of the Department of Agrotechnologies, Agricultural Products Storage and Processing, Candidate of Agricultural Sciences
Yelets State University Named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
ZubkovaTanua@yandex.ru

Dmitry V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnologies; Professor of the Department of General Agriculture and Agroecology
Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev; M.V. Lomonosov Moscow State University
1, Kostychev Str., Ryazan, 390044, Russian Federation; 1/12, Leninskie Gory, 119234, Moscow, Russian Federation
vdvrzn@mail.ru

Vladimir A. Kravchenko, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University Named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
agrosoil@yandex.ru

Vyacheslav L. Zakharov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products
Yelets State University Named after I.A. Bunin
28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation
zaxarov7979@mail.ru

Поступила 05.07.2024 Received 05.07.2024
После рецензирования 25.07.2024 Revised 25.07.2024
Принята 07.08.2024 Accepted 07.08.2024

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058 **EDN: WTGVZM**
УДК 633.852.73:536.485

Научная статья

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МАСЛИНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

С.Ю. Цюпка, В.А. Цюпка, И.В. Булавин

Аннотация

Обоснование. Маслина европейская (*O. europaea* L.) – популярная плодовая культура, которая по занимаемой площади является второй плодовой культурой в мире и уступает только кофе. Основным лимитирующим фактором выращивания маслины в регионах, расположенных на северной границе субтропической зоны, а также в умеренном климате является их низкая морозостойкость. В связи с этим, целью настоящего исследования было оценить степень влияния отрицательных температур на функциональное состояние листьев разных генотипов *O. europaea*.

Материалы и методы. Исследования функционирования пигментного аппарата, стабильности хлорофилл-белкового комплекса и повреждения мембран в условиях отрицательных температур проводили на листьях следующих сортов маслины европейской: ‘Aglandau’, ‘Coreggiolo’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Ascolano’, ‘Tossijskaya’, ‘Leccino’, ‘Razzo’. Эксперименты проведены в нативных условиях (контроль), а также после воздействия низких температур: –7°C, –10°C, –12°C и –14°C сразу и через 24 часа.

Результаты и заключение. Воздействие отрицательных температур вызывало различный отклик как в проявлении визуальных повреждений на листьях, так и в изменении их физиологических параметров. При низком градиенте температурного воздействия (–7... – 10°C) повреждены ткани листьев

сортов европейской селекции ‘Coreggiolo‘, ‘Ascolano‘, ‘Leccino‘ и ‘Razzo‘: электропроводность достигала 15%, снижен индекс стабильности хлорофилла, снижены коэффициенты переменной флуоресценции, фотосинтетической активности; неконтролируемое тушение фотонов было значительно выше эффективного фотохимического квантового выхода и нефотохимического тушения. Сорта крымской и кавказкой селекции отличаются повышенной морозостойкостью. Сорта ‘Nikitskaya 2‘, ‘Tossijskaya‘ и ‘Tiflis‘ демонстрируют целостность мембран клеток листьев, стабильность содержания фотосинтетичеких пигментов и сохранение работы фотосистем на различных уровнях их организации при температуре –14°С.

Ключевые слова: сорт; морозостойкость; фотосинтетическая активность; *Olea europaea* L.

Для цитирования: Цюпка, С. Ю., Цюпка, В. А., & Булавин, И. В. (2025). Оценка функционирования фотосинтетического аппарата маслины европейской при воздействии отрицательных температур. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 182-204. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058

Original article

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *OLEA EUROPAEA* L. UNDER FREEZING TEMPERATURES

S.Yu. Tsiupka, V.A. Tsiupka, I.V. Bulavin

Abstract

Background. Olive (*O. europaea*) is a popular fruit crop, and is the second in the world by area after coffee. The main limiting factor for olive cultivation in regions located on the northern border of the subtropical zone, as well as in temperate climates, is their low frost resistance. So, the aim of the present study was to evaluate the degree of influence of low negative temperatures on the functional state of leaves of different *O. europaea* genotypes.

Materials and methods. The functioning of pigment apparatus, stability of chlorophyll-protein complex and membrane damage under freezing temperatures were evaluated on leaves of the following cultivars of olive: ‘Aglandau’, ‘Coreggiolo’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Ascolano’, ‘Tossijskaya’, ‘Leccino’, ‘Razzo’. The studies were carried out under native conditions (control) and after

exposure to low temperatures (immediately and after 24 hours of the stress factor influence). Four temperature effects were analyzed: -7°C, -10°C, -12°C and -14°C.

Results and conclusion. Exposure to sub-zero temperatures induced a different response both in the manifestation of visual lesions on leaves and in changes in their physiological parameters. At a low gradient of temperature exposure (-7... - 10°C), leaf tissues of the European selection varieties 'Coreggiolo', 'Ascolano', 'Leccino' and 'Razzo' were damaged: electrical conductivity reached 15%, chlorophyll stability index decreased, variable fluorescence and photosynthetic activity coefficients decreased, uncontrolled photon quenching was significantly higher than the effective photochemical quantum yield and non-photochemical quenching. Cultivars of crimean and caucasian breeding are characterised by increased frost resistance. Cultivars 'Nikitskaya 2', 'Tossijskaya' and 'Tiflis' demonstrate integrity of leaf cell membranes, preservation of stability of photosynthetic pigments content and work of photosystems at different levels of their organization at –14°C.

Keywords: olive; cultivar; frost resistance; photosynthetic activity

For citation. Tsiupka, S. Y., Tsiupka, V. A., & Bulavin, I. V. (2025). Assessment of the functioning of the photosynthetic apparatus of *Olea europaea* L. under freezing temperatures. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 182–204. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1058

Введение

Маслину европейскую выращивают во многих странах мира с подходящим климатом как важный продукт питания [21]. Сильным ограничивающим фактором при ее культивировании является воздействие низких отрицательных температур зимой и ранней весной [11]. Согласно данным литературы, первые травмирующие эффекты возникают при –7°C; снижение температуры окружающей среды до –10°C провоцирует различной степени повреждения надземной части оливкового дерева, что наносит существенный экономический ущерб для производителей [13; 14; 18; 22; 48].

В последние десятилетия спрос на оливковое масло увеличился, и, в результате, выращивание оливкового дерева распространилось за пределы традиционных районов [19; 22]. Ареал *O. europaea* в северном полушарии постепенно смещается на север как возможная реакция на потепление климата [20; 23; 38]. Тем не менее, маслину выращивают при положительных температурах в связи с низкой устойчивостью к морозу [16].

В условиях постоянного роста стрессовой нагрузки на садовые агроэкосистемы ведущая роль в создании новых интегрированных систем производства плодов принадлежит селекции. При этом успешное решение

задач, стоящих перед селекционерами, неразрывно связано с оптимизацией и использованием в практической работе наиболее эффективных методов оценки генетического потенциала исходных форм и гибридного материала по признакам устойчивости к разным абиотическим факторам. Решение этих актуальных проблем позволит повысить производительность селекционного процесса и создать новое поколение высокоадаптивных сортов с повышенным потенциалом продуктивности [8].

В отношении *O. europaea* селекция по признаку низкотемпературной устойчивости проводится практически во всех регионах ее культивирования и ее сорта могут отличаться разной степенью выживаемости отдельных органов и тканей [13]. Известно, что листья более чувствительны к морозам, чем побеги, что может быть связано с более тонкими клеточными стенками [22; 35].

Информация о морозостойкости различных сортов маслины основана главным образом на полевых наблюдениях после повреждения растений морозом. Кроме того, используется несколько методов оценки генотипов по устойчивости к данному фактору: по плотности устьиц [40], фотосинтетической активности листьев [10; 27], размеру устьиц [41], высвобождению фенольных соединений [39], по результатам дифференциально-термического анализа [33] и утечке ионов [29]. В связи с чем отбор морозоустойчивых сортов и понимание протекающих адаптационных механизмов в них может расширить возможности культивирования маслины в промышленных масштабах в нашей стране, учитывая сходство климата южных регионов России с климатом регионов возделывания данной культуры.

Цель исследования – оценить степень влияния отрицательных температур на функциональное состояние листьев разных генотипов *O. europaea*.

Материалы и методы исследования

Для исследования использовали облиственные побеги многолетних растений маслины европейской (‘Aglandau’, ‘Coreggiolo’, ‘Obilnaya’, ‘Tiflis’, ‘Dalmatica’, ‘Nikitskaya 2’, ‘Ascolano’, ‘Tossijskaya’, ‘Leccino’, ‘Razzo’), произрастающие на коллекционном участке Никитского ботанического сада – Национального научного центра (НБС-ННЦ, г. Ялта) в одинаковых климатических, почвенных и агротехнических условиях.

Условия низкотемпературного воздействия (–7°C, –10°C, –12°C и –14°C) моделировали в климатической тест-камере TTC 256 Memmert (Memmert, Германия) согласно «Методике определения зимостойкости и морозостойкости плодовых и ягодных культур» [5]**.** В качестве контроля выступали сорта, произрастающие на коллекционном участке.

Содержание влаги в листьях определяли весовым методом с использованием прецизионных весов Pioneer PA4102 (Ohaus, Китай) [17, 44]. Для определения сухой массы образцы листьев сушили в шкафу РЕ-4610 (Экрохим, Россия) при температуре 105°С.

Количественное определение пигментов проводили согласно методике, описанной B.B. Zhang et al. [49]. Листья навеской 2 г гомогенизировали и экстрагировали в 10 мл 95% этанола при 25°С в течение 12 часов. Содержание хлорофилла a и b в надосадочной жидкости определяли количественно с помощью спектрофотометра КФК-3КМ (Техноком, Россия) при длинах волн 665 нм и 649 нм. Содержание пигментов рассчитывали по следующим формулам:

$$\text{Chl a} = 13{,}95\ A665 - 6{,}88\ A649 \quad (1)$$

$$\text{Chl b} = 24{,}96\ A649 - 7{,}32\ A665 \quad (2)$$

$$\text{Chl a + b} = \text{Chl a} + \text{Chl b} \quad (3),$$

где Chl a и Chl b – концентрация хлорофилла a и b (мг/л), A665 и A649 – оптическая плотность вытяжки на максимумах поглощения 665 и 649 нм. Содержание Chl a и Chl b в дальнейшем пересчитывали в мг на г сухого вещества.

Холостой контроль представлял собой 95% (по объему) раствор этанола [32]. Индекс стабильности хлорофилла (CSI) рассчитывали по формуле:

$$\text{CSI} = (\text{Chl stress}/\text{Chl control}) \times 100 \quad (4)$$

где Chl stress – содержание хлорофилла после воздействия стресс-фактора, Chl control – содержание хлорофилла в контроле (в нормальных условиях).

Измерения флуоресценции хлорофилла проводили на переносном импульсном флуориметре MINI-PAM II, (HeinzWalz, Германия). Листья перед измерениями показателей флуоресценции адаптировали к темноте в течение 30 мин [9, 15]. В ходе экспериментов регистрировали следующие показатели: *Fo* – нулевой, фоновый уровень флуоресценции; *Fm* – максимальная флуоресценция, *Fs* – стационарный уровень флуоресценции, свидетельствующий об установлении стабильного и наиболее интенсивного уровня фотосинтеза; *Fo′* и *Fm′* - минимальный и максимальный уровни флуоресценции на свету. В работе использованы следующие расчетные коэффициенты: переменная флуоресценция $Fv = Fm - Fo$ (5), максимальный фотохимический квантовый выход Фотосистемы II (ФС II) $\frac{Fv}{Fm}$ (6), фотосинтетическая активность $PA = \frac{Fm-Fs}{Fm}$(7), а также коэффициент спада флуоресценции – $Rfd = \frac{Fm-Fs}{Fs}$ (8). Эффективный фотохимический квантовый выход ФС II рассчитывали по формуле: $Y(II) = \frac{Fm'-Fs}{Fm'}$ (9). Квантовый выход регулируемой нефотохимической диссипации световой энергии в ФС II рассчитывали по формуле: $Y(NPQ) = \frac{Fs}{Fm'} - \frac{Fs}{Fm}$ (10), а квантовый вы-

ход нерегулируемой нефотохимической диссипации световой энергии в ФС II - $Y(NO) = \frac{Fs}{Fm}$ (11) [28; 42; 43; 46].

Для оценки степени повреждения клеточных мембран листьев отрицательными температурами рассчитывали относительный выход электролита при повреждении клеточной мембраны. Образцы листьев после каждого температурного воздействия помещали в 5 мл дистиллированной воды на 24 ч при комнатной температуре, а затем вакуумировали в течение 30 мин. Электропроводность (EC_1) измеряли с помощью кондуктометра Starter 300c (Ohaus, США). Затем образцы автоклавировали при 120°C в течение 2 часов, охлаждали до комнатной температуры, помещали в темноту на 24 часа (25°C), повторно вакуумировали в течение 30 мин, а затем измеряли утечку ионов (EC_2) с помощью кондуктометра. Относительный выход электролита (EL) рассчитывали для каждого образца согласно формуле: $EL(\%) = (\frac{EC1}{EC2}) \times 100$ (12) [36].

Исследования проводили в 2022-2024 гг. в трех биологических и трех аналитических повторностях. Данные обрабатывали статистически с применением пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2019 и Past v. 4.03.

Результаты и обсуждения

Для исследованных сортов *O. europaea* воздействие отрицательных температур проявлялось как визуально на листьях, так и в изменении их физиологических показателей. Повреждения носили характер некротических пятен, потемнения жилки листа, а также полного усыхания листовых пластинок. При воздействии температуры –7 °C относительный выход электролитов незначительно увеличилась у сортов ‘Coreggiolo‘ и ‘Obilnaya ‘; при –10 °C у ‘Coreggiolo‘, ‘Обильная‘, ‘Dalmatica‘, ‘Ascolano‘, ‘Leccino‘ и ‘Razzo‘ (Рис. 1). Увеличение EL до уровня 20-40% зафиксировано при температуре –12 °C у сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Obilnaya ‘, ‘Ascolano‘, ‘Leccino‘. Существенное изменение выхода ионов кальция в цитоплазму из клеточных стенок и внутриклеточных компартментов отмечено у всех генотипов при воздействии –14°C: более 70% EL составила у сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Leccino‘ и ‘Razzo‘, от 52 до 65% у сортов ‘Aglandau‘, ‘Dalmatica‘, ‘Obilnaya‘, ‘Tiflis‘ и ‘Ascolano‘. Менее всего были повреждены мембраны клеток в тканях листьев сортов ‘Nikitskaya 2‘ и ‘Tossijskaya‘, у которых EL находился в пределах 29-37%. Это согласуется с данными литературы [24-26], указывающими, что уровень начальной повреждающей температуры для представителей семейства Oleaceae на Южном берегу Крыма составляет –8°C, а значения критических температур находятся в пределах –12°C …–16 C.°

Оценка фотосинтетических функций и структур – неотъемлемая часть изучения продуктивности селекционного материала. По мнению И.Н. Щениковой с соавторами [7], по содержанию хлорофилла можно судить о степени развития фотосинтетического аппарата и физиологического состояния растений, об ассимиляционной деятельности и вкладе ассимилирующих органов растения в формирование урожая, о потенциальной возможности растения формировать и накапливать урожай. Как отмечает М.И. Иванова содержание фотосинтетических пигментов является одним из важнейших биохимических показателей реакции растений на стрессовые факторы внешней среды, поэтому определение их количества помогает оценить физиологическое состояние растений [3].

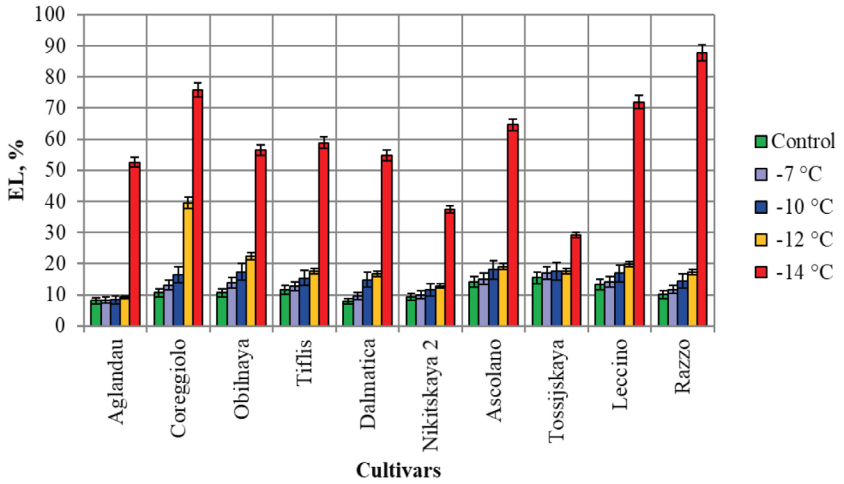


Рис. 1. Изменение скорости утечки электролита при различных режимах низкотемпературного воздействия

Наши исследования демонстрируют снижение индекса стабильности хлорофилла сортоспецифично при воздействии используемых отрицательных температур (Таблица 1). Так, существенные изменения в количестве хлорофилла у сортов европейской селекции (‘Coreggiolo‘, ‘Leccino‘, ‘Ascolano‘) наступает при температуре –10...–12°C, в то время, как сорта крымской и кавказкой селекции демонстрируют меньшую степень деградации хлорофилла даже при –14°C. Снижение соотношения хлорофилла a/b говорит об более выраженной редукции хлорофилла a.

Таблица 1.

Содержание пигментов в листьях маслины европейской при воздействии отрицательных температур

Название генотипа	T °C	Содержание хлорофилла, (мг/г)			Индекс стабильности, %		
		Chl.a	*Chl.b*	*Chl.a+b*	*Chl.a*	*Chl.b*	*Chl.a+b*
Aglandau	контроль	1,06	0,41	1,47	-	-	-
	-7	1,06	0,40	1,46	100,0	97,6	99,3
	-10	1,02	0,40	1,42	96,2	97,6	96,6
	-12	1,01	0,40	1,41	95,3	97,6	95,9
	-14	0,79	0,21	1,00	74,5	51,2	68,0
Coreggiolo	контроль	0,76	0,25	1,01	-	-	-
	-7	0,74	0,25	0,99	97,4	100,0	98,0
	-10	0,61	0,24	0,85	80,2	96,0	84,2
	-12	0,60	0,21	0,81	78,9	84,0	87,2
	-14	0,39	0,14	0,53	51,3	56,0	52,5
Obilnaya	контроль	0,96	0,43	1,40	-	-	-
	-7	0,96	0,43	1,40	100,0	100,0	100,0
	-10	0,92	0,42	1,34	95,8	97,7	95,7
	-12	0,84	0,40	1,24	87,5	93,0	88,6
	-14	0,51	0,23	0,74	53,1	53,5	52,9
Tiflis	контроль	0,95	0,44	1,39	-	-	-
	-7	0,94	0,43	1,37	98,9	97,7	98,6
	-10	0,94	0,40	1,34	98,9	90,9	96,4
	-12	0,92	0,40	1,32	96,8	90,9	95,0
	-14	0,84	0,35	1,19	88,4	79,5	85,6
Dalmatica	контроль	0,94	0,44	1,38	-	-	-
	-7	0,91	0,42	1,33	96,8	95,5	96,4
	-10	0,88	0,32	1,20	93,6	72,7	87,0
	-12	0,86	0,30	1,16	91,5	68,2	84,1
	-14	0,53	0,24	0,77	56,4	54,5	55,8
Nikitskaya 2	контроль	0,88	0,36	1,24	-	-	-
	-7	0,88	0,35	1,23	100,0	97,2	99,2
	-10	0,85	0,32	1,18	96,6	88,9	95,2
	-12	0,85	0,32	1,18	96,6	88,9	95,2
	-14	0,69	0,27	0,96	78,4	75,0	77,4
Ascolano	контроль	0,85	0,37	1,22	-	-	-
	-7	0,83	0,36	1,19	97,6	97,3	97,5
	-10	0,76	0,31	1,07	89,4	83,8	87,7
	-12	0,74	0,30	1,04	87,1	81,1	85,2
	-14	0,45	0,20	0,65	52,9	54,1	53,3

Tossijskaya	контроль	0,76	0,29	1,04	-	-	-
	-7	0,72	0,28	1,00	94,7	96,6	96,2
	-10	0,69	0,28	0,97	90,8	96,6	93,3
	-12	0,66	0,24	0,90	86,8	82,8	86,5
	-14	0,59	0,21	0,80	77,6	72,4	76,9
Leccino	контроль	0,95	0,38	1,33	-	-	-
	-7	0.92	0,37	1,29	96,8	97,4	97,0
	-10	0,74	0,23	0,98	77,9	60,5	73,7
	-12	0,71	0,20	0,91	74,7	52,6	68,4
	-14	0,56	0,18	0,74	58,9	47,4	55,6
Razzo	контроль	1,16	0,43	1,60	-	-	-
	-7	1,04	0,42	1,46	89,7	97,7	91,3
	-10	0,94	0,31	1,25	81,0	72,1	78,1
	-12	0,72	0,26	0,98	62,1	60,5	61,3
	-14	0,49	0,18	0,67	42,2	41,9	41,9

Данный метод анализа позволил выделить генотипы с наиболее стабильным содержанием фотосинтетических пигментов при влиянии отрицательных температур: ‘Tiflis‘, ‘Nikitskaya 2‘ и ‘Tossijskaya‘; их индекс стабильности суммы хлорофиллов a и b при –14°C был не ниже 75%. Фотосистема II и эффективность фотосинтеза очень чувствительны к таким внешним факторам, как экстремальные температуры, избыточная или недостаточная освещенность и др. [4; 6; 34; 47]. При этом молекулы хлорофилла светособирающего комплекса выступают в роли биосенсора, чувствительного к угнетающим растение воздействиям.

Параметры кинетики флуоресценции отражают функциональное состояние отдельных компонентов ассимиляционного процесса. Исследования фотосинтетической активности листьев при различных режимах низкотемпературного воздействия показали, что вариабельная флуоресценция *Fv* различается в контрольной точке между сортами, а также при действии стресса (Рисунок 2). Сразу после промораживания разной интенсивности *Fv* понижена у всех сортов по сравнению с контролем, за исключением образцов ‘Tossijskaya‘, ‘Nikitskaya 2‘ и ‘Tiflis‘ (Рисунок 2а). Для данных сортов температуры уровня –10... –14°C также не оказали деструктивных влияний для анализируемых структур фотосистемы (акцепторов и доноров электронного транспорта в ФС II: P680, феофитина, Q_A пластохинона, связанного с D2 белком на участке Q_A).

Несмотря на данные по снижению *Fv* при – 7°C сразу после промораживания, через 24 часа после воздействия низкотемпературного стресса

у всех сортов вариабельная флуоресценция выше контроля (Рисунок 2b), что демонстрирует восстановление элементов фотосистемы. Исключение составили сорта ‘Coreggiolo‘, ‘Leccino‘, ‘Obilnaya‘, у которых *Fv* снижена более чем на 50% по сравнением с контролем, что может быть связано с нарушением структур тилакоидов.

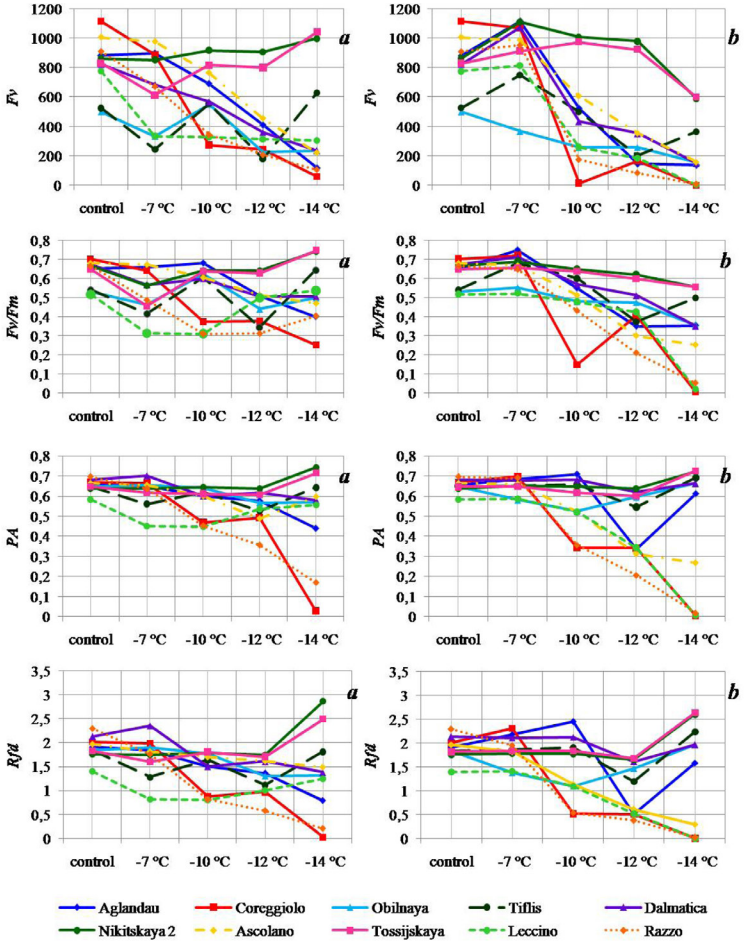


Рис. 2. Изменение параметров индукции флуоресценции хлорофилла листьев некоторых сортов *O. europaea* при воздействии отрицательных температур: a – оценка воздействия низких температур непосредственно после промораживания, b – оценка через 24 ч

При всех режимах промораживания и времени оценки повреждений (сразу и через 24 часа) сохраняется прежняя тенденция о минимальном снижении *Fv* у сортов ‘Tossijskaya‘, ‘Nikitskaya 2‘ и ‘Tiflis‘.

Наиболее часто при диагностике растений используется показатель максимального квантового выхода фотохимических реакций, рассчитанный в адаптированном к темноте состоянии как отношение переменной флуоресценции к максимальной *Fv/Fm* и характеризующий потенциальную эффективность Фотосистемы II [12]. Быстрая реакция отражает снижения данного параметра до уровня менее 0,50 отн.ед. при –7°С у сортов ‘Obilnaya‘, ‘Tiflis‘, ‘Tossijskaya‘, ‘Leccino‘, ‘Razzo‘. Однако, через 24 часа значения данного параметра восстанавливаются. Понижение параметра *Fv/Fm* означает, что перед измерением растение было подвержено влиянию стресса, который повлиял на фотосинтез, что привело к снижению эффективности переноса электронов [1]. При температуре –10°С и более наблюдаются необратимые повреждения у сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Leccino‘, ‘Razzo‘: *Fv/Fm* < 0,40 отн. ед. Наиболее стабилен показатель максимального квантового выхода фотохимических реакций у сортов ‘Nikitskaya 2‘ и ‘Tossijskaya‘, для которых сразу после промораживания при температуре –14 °С не наблюдалось снижение данного параметра, и через 24 часа значения были в пределах нормы неповрежденных ассимилирующих тканей (составили 0,56 отн.ед.).

Фотосинтетическая активность (РА), варьируя в рамках 0,58-0,70 отн. ед. в контроле при стрессе от промораживания на температурах ниже –10°С снижалась до <0,40 отн.ед. у сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Razzo‘; при оценке через 24 часа – у ‘Coreggiolo‘, ‘Razzo‘, ‘Leccino‘ и ‘Ascolano‘.

Анализ распределения выбранных генотипов по параметру индекса жизнеспособности (*Rfd*) также наблюдается после действия температур –10...–14°С. Уровень *Rfd* можно рассматривать как меру потенциальной активности фотосинтеза [30], который, составляя 2,5 отн.ед. или выше, указывает на высокую активность фотосинтеза, в то время как значения ниже 1,0 отн.ед. показывают, что процесс ассимиляции CO_2 сильно подавлен [1, 31, 32, 37]. Наиболее активно при стрессе различной интенсивности фотосинтезируют листья сортов ‘Tossijskaya‘, ‘Tiflis‘, ‘Nikitskaya 2‘, ‘Dalmatica‘ и ‘Aglandau‘ (*Rfd* >1.5 отн.ед.); поврежденными обоснованно можно считать ассимилирующие ткани листьев сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Razzo‘, ‘Leccino‘ и ‘Ascolano‘.

Эффективный фотохимический квантовый выход *Y (II)* отражает сходную тенденция по распределению сортов на поврежденные в следствии промораживания испытуемого градиента температур (Таблица 2).

Таблица 2.

Параметры квантового выхода флуоресценции листьев маслины европейской, определённые по критериям индукции флуоресценции хлорофилла после воздействия низкотемпературного стресса

Название генотипа	T °C	Определенные сразу после стресса			Через 24 часа после испытания стресса		
		Y(NPQ)	*Y(NO)*	*Y(II)*	*Y(NPQ)*	*Y(NO)*	*Y(II)*
Aglandau	контроль	0,246	0,343	0,411	0,246	0,343	0,411
	-7	0,271	0,352	0,378	0,225	0,314	0,461
	-10	0,191	0,404	0,405	0,383	0,304	0,313
	-12	0,275	0,503	0,223	0,159	0,717	0,124
	-14	0,252	0,560	0,188	0,492	0,387	0,121
Coreggiolo	контроль	0,273	0,333	0,394	0,273	0,333	0,394
	-7	0,313	0,336	0,351	0,267	0,303	0,430
	-10	0,193	0,673	0,135	0,265	0,657	0,078
	-12	0,280	0,605	0,116	0,226	0,678	0,096
	-14	0,000	0,970	0,030	0,005	0,995	0,000
Obilnaya	контроль	0,289	0,393	0,318	0,289	0,393	0,318
	-7	0,361	0,380	0,259	0,146	0,451	0,403
	-10	0,260	0,362	0,378	0,383	0,480	0,137
	-12	0,236	0,442	0,323	0,270	0,422	0,308
	-14	0,315	0,404	0,281	0,571	0,327	0,102
Tiflis	контроль	0,245	0,361	0,394	0,245	0,361	0,394
	-7	0,272	0,439	0,289	0,150	0,353	0,497
	-10	0,235	0,390	0,375	0,359	0,349	0,292
	-12	0,266	0,473	0,261	0,279	0,455	0,267
	-14	0,307	0,356	0,337	0,519	0,309	0,172
Dalmatica	контроль	0,234	0,319	0,447	0,234	0,319	0,447
	-7	0,311	0,305	0,384	0,206	0,322	0,472
	-10	0,154	0,423	0,423	0,298	0,336	0,365
	-12	0,349	0,390	0,261	0,352	0,391	0,257
	-14	0,301	0,420	0,279	0,569	0,337	0,094
Nikitskaya 2	контроль	0,283	0,383	0,334	0,283	0,383	0,334
	-7	0,313	0,389	0,298	0,387	0,370	0,243
	-10	0,319	0,364	0,317	0,392	0,360	0,248
	-12	0,386	0,355	0,259	0,403	0,379	0,218
	-14	0,437	0,259	0,304	0,498	0,278	0,224
Ascolano	контроль	0,269	0,364	0,367	0,269	0,364	0,367
	-7	0,322	0,352	0,326	0,449	0,326	0,225
	-10	0,348	0,368	0,284	0,452	0,337	0,211
	-12	0,367	0,411	0,222	0,299	0,624	0,077
	-14	0,373	0,420	0,225	0,071	0,873	0,056

Tossijskaya	контроль	0,296	0,360	0,344	0,296	0,360	0,344
	-7	0,315	0,422	0,263	0,495	0,376	0,129
	-10	0,399	0,355	0,246	0,498	0,382	0,120
	-12	0,433	0,358	0,209	0,502	0,377	0,121
	-14	0,405	0,287	0,308	0,544	0,275	0,181
Leccino	контроль	0,282	0,433	0,284	0,282	0,433	0,284
	-7	0,244	0,557	0,198	0,542	0,287	0,171
	-10	0,256	0,548	0,196	0,372	0,486	0,142
	-12	0,376	0,487	0,137	0,244	0,650	0,106
	-14	0,427	0,445	0,128	0,007	0,993	0,000
Razzo	контроль	0,345	0,312	0,343	0,345	0,312	0,343
	-7	0,359	0,393	0,248	0,549	0,303	0,147
	-10	0,400	0,456	0,144	0,256	0,643	0,101
	-12	0,206	0,679	0,115	0,106	0,838	0,056
	-14	0,073	0,830	0,097	0,019	0,981	0,000

У группы сортов ‘Coreggiolo‘, ‘Razzo‘, ‘Leccino‘ и ‘Ascolano‘ неконтролируемое тушение фотонов *Y(NO)* значительно выше *Y (II)* и нефотохимического тушения *Y(NPQ)*. У сортов ‘Aglandau‘, ‘Obilnaya‘, ‘Tiflis‘, ‘Dalmatica‘, ‘Nikitskaya 2‘,‘Tossijskaya‘ несмотря на снижение эффективности использования квантов, наблюдается их перераспределение в сторону контролируемого квантового выхода, что может быть связано с образованием тепловой энергии. Снижение коэффициентов *Y (II)* и *Y(NPQ)* не достигает критического уровня и позволяет восстановить листовому аппарату свои фотосинтетические функции после прекращения действия стресс-фактора.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей относительно частной оценки морозостойкости некоторых сортов маслины: по сорту итальянской селекции ‘Coreggiolo’ [24-26]; сорту селекции Никитского ботанического сада ‘Obilnaya’ [45]; сорту кавказской селекции ‘Tiflis’ [2].

Заключение

Комплексные исследования фотосинтезирующих тканей листьев изученных сортов маслины европейской показали, что сорта крымской и кавказкой селекции отличаются повышенной морозостойкостью сравнительно с европейскими. Выявлено, что сублетальными температурами для генотипов европейской селекции (‘Coreggiolo’, ‘Razzo‘, ‘Leccino‘) являются –7... –10°C, у которых отмечено существенное повышение уровня утечки электролита в результате разрыва клеточных мембран, снижение параметров ассимиляционной активности, а также визуальные поврежде-

ния в виде некрозов и хлорозов листовых пластин. Для сортов ‘Aglandau’, ‘Ascolano‘ установлены повреждающие температуры –12°С и ниже. При этом у морозостойких генотипов ‘Nikitskaya 2‘, ‘Tossijskaya‘ и ‘Tiflis‘ показано незначительное фотоингибирование и стабильность содержания фотосинтетических пигментов в условиях понижения температуры до –14 °С, которые соответствуют витальной норме.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-00139 на базе Уникальной научной установки «ФИТОБИОГЕН» и ЦКП «Физиолого-биохимические методы исследования растительных объектов».

Список литературы

1. Гольцев, В. Н., Каладжи, Х. М., Паунов, М., Баба, В., Хорачек, Т., Мойски, Я., Коцел, Х., & Аллахвердиев, С. И. (2016). Использование переменной флуоресценции хлорофилла для оценки физиологического состояния фотосинтетического аппарата растений. *Физиология растений*, *63*(6), 881–907. https://doi.org/10.7868/S0015330316050055
2. Доманская, Э. Н. (1964). *Изучение физиолого-биохимических показателей сравнительной морозостойкости сортов маслины*. (кандидатская диссертация). Ялта.
3. Иванова, М. И., Бухаров, А. Ф., & Кашлева, А. И. (2022). Корреляционный анализ признаков, характеризующих урожайность и качество продукции представителей рода Allium (подрод Cepa). *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология*, *22*(1), 64–73. https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73
4. Нестеренко, Т. В., Тихомиров, А. А., & Шихов, В. Н. (2007). Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям. *Журнал общей биологии*, *68*(6), 444–458.
5. Нестеров, Я. С. (1972). *Методика определения зимостойкости и морозостойкости плодовых и ягодных культур.* Мичуринск.
6. Рубин, А. Б. (2000). Биофизические методы в экологическом мониторинге. *Соросовский образовательный журнал*, *(4)*, 7–13.
7. Щенникова, И. Н., Лисицын, Е. М., & Кокина, Л. П. (2010). Изменение пигментного комплекса флаговых листьев ячменя под действием эдафического стресса. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, *(1)*, 24–28.

8. Юшков, А. Н. (2017). *Адаптивный потенциал и селекция плодовых растений на устойчивость к абиотическим стрессорам.* (докторская диссертация). Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет.
9. Alekseev, A. A., Osipov, V. A., & Matorin, D. N. (2006). Method for determining the functional state of plants by chlorophyll fluorescence. Yakut State University, Yakutsk, 65 p.
10. Antognozzi, E., Pilli, M., Proietti, P., & Romani, F. (1990). Analysis of some factors affecting frost resistance in olive trees. *Paper presented at XXIII Int. Horticultural Congress*, Firenze, Italy, 4280 p.
11. Arias, N. S., Scholz, F. G., Goldstein, G., & Bucci, S. J. (2021). Low-temperature acclimation and legacy effects of summer water deficits in olive freezing resistance. *Tree Physiology*, *41*(10), 1836–1847. https://doi.org/10.1093/treephys/tpab040
12. Baker, N. R., & Oxborough, K. (2004). Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity. In *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 65–82). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_3
13. Bartolozzi, F., & Fontanazza, G. (1999). Assessment of frost tolerance in olive (Olea europaea L.). *Scientia Horticulturae*, *81*, 309–319. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00019-9
14. Bartolozzi, F., Rocchi, P., Camerini, F., & Fontanazza, G. (1999). Changes of biochemical parameters in olive (Olea europaea L.) leaves during an entire vegetative season, and their correlation with frost resistance. *Acta Horticulturae*, *474*, 435–440. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.89
15. Brajon, O. V., Korneev, D. Yu., Snegur, O. O., & Kitaev, O. I. (2000). Instrumental studies of the photosynthetic apparatus using the induction of chlorophyll fluorescence. Methodical instructions. Kyiv, Ukraine, 11 p.
16. D'Angeli, S., & Altamura, M. M. (2007). Osmotin induces cold protection in olive trees by affecting programmed cell death and cytoskeleton organization. *Planta*, *225*, 1147–1163. https://doi.org/10.1007/s00425-006-0426-6
17. Deslauriers, A., Caron, L., & Rossi, S. (2015). Carbon allocation during defoliation: Testing a defense-growth trade-off in balsam fir. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 338. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00338
18. Fontanazza, G. (1986). Renovation of olive groves damaged by frost: technical guidelines. *Giornale di Agricolture*, *42*, 45–47.
19. Food and Agriculture Organization (FAO) and Codex Alimentarius Commission. Available online: http://www.fao.org/. Accessed date: November 2023. https://doi.org/10.4337/9781786438935.00011

20. García-Mozo, H., Pérez-Badía, R., & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (Olea europaea L.) crop yield in Castilla-La Mancha (central Spain). *Aerobiologia*, *24*, 13–18. https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x
21. Ghamary, B., Rajabipour, A., Borghei, A. M., & Sadeghi, H. (2010). Some physical properties of olive. *Agricultural Engineering International*, *12*, 104–110. https://cigrjournal.org/index.php/Ejounral/article/view/1381
22. Gómez-del Campo, M., & Barranco, D. (2005). Field evaluation of frost tolerance in ten olive cultivars. *Plant Genetic Resources*, *3*(3), 385–390. https://doi.org/10.1079/PGR200592
23. Gordeev, R. V., Pyzhev, A. I., & Zander, E. V. (2022). Does climate change influence Russian agriculture? Evidence from panel data analysis. *Sustainability*, *14*, 718. https://doi.org/10.3390/su14020718
24. Gubanova, T. B. (2019a). Resistance of Olea europaea L. varieties and forms to unfavorable winter conditions on the southern coast of Crimea. *Pomiculture and Small Fruit Culture in Russia*, *57*, 32–41. https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-57-32-41
25. Gubanova, T. B. (2019b). The influence of negative temperatures on photosynthetic activity in some evergreen species of Oleaceae family. *Subtropical and Decorative Gardening*, *70*, 158–167. https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-70-158-167
26. Gubanova, T. B., & Paliy, A. E. (2020). Physiological and biochemical aspects of frost resistance in Olea europaea L. *Russian Journal of Plant Physiology*, *67*, 671–679. https://doi.org/10.1134/S1021443720030103
27. Ivashchenko, Y., Ivashchenko, I., & Tsiupka, S. (2021). Evaluation of olive cultivars with different photosynthetic activity of leaves. *Acta Horticulturae*, *1308*, 99–104. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1308.16
28. Kramer, D. M., Johnson, G., Kirats, O., & Edwards, G. E. (2004). New flux parameters for the determination of Qa redox state and excitation flux. *Photosynthesis Research*, *79*, 209–218. https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d
29. La Porta, N., Zacchini, M., Bartolini, S., Viti, R., & Roselli, G. (1994). The frost hardiness of some clones of olive cv. Leccino. *Journal of Horticultural Science*, *69*(3), 433–435. https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516472
30. Lichtenthaler, H. K. (2004). Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. In H. K. Lichtenthaler & F. Babani (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 713–736). Dordrecht: Springer Netherlands.

31. Lichtenthaler, H. K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, *19*(1), 29–85. https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466
32. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*, 591–592. https://doi.org/10.1042/bst0110591
33. Martin, G. C., Denney, J. O., Ketchie, D. O., Osgood, J. W., Connel, J. H., Sibbett, G. S., Kammereck, R., Krueger, W. H., & Nour, G. A. (1993). Freeze damage and cold hardiness in olive: Findings from the 1990 freeze. *California Agriculture*, *47*(1), 1–12. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930325238
34. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, *51*(345), 659–668. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659
35. Moreno-Alias, I., Leon, L., de la Rosa, R., & Rapoport, H. F. (2009). Morphological and anatomical evaluation of adult and juvenile leaves of olive plants. *Trees*, *23*, 181–187. https://doi.org/10.3390/agriculture13061137
36. Rezaei, M., & Rohani, A. (2023). Estimating freezing injury on olive trees: A comparative study of computing models based on electrolyte leakage and tetrazolium tests. *Agriculture*, *13*, 1137. https://doi.org/10.3390/agriculture13061137
37. Rinderle, U., & Lichtenthaler, H. K. (1988). The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator. In H. K. Lichtenthaler (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence* (pp. 189–196). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_23
38. Rodrigo-Comino, J., Salvia, R., Quaranta, G., Cudlin, P., Salvati, L., & Gimenez-Morera, A. (2021). Climate aridity and the geographical shift of olive trees in a Mediterranean northern region. *Climate*, *9*, 64. https://doi.org/10.3390/cli9040064
39. Roselli, G., La Porta, N., & Morelli, D. (1992). Evaluations of olive germplasm for cold-stress tolerance. *Atti Convegno Germoplasma Frutticolo: Alghero, Settembre*, pp. 107–112.
40. Roselli, G., & Venora, G. (1989). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *International Symposium on Olive Growing*, *286*, 89–92. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15
41. Roselli, G., & Venora, G. (1990). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *Acta Horticulturae*, *286*, 89–92. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15
42. Schreiber, U., Schliwa, U., & Bilger, W. (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with

a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, *10*, 51–62. https://doi.org/10.1007/BF00024185

43. Stirbet, A., & Govindjee, G. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *104*(1–2), 236–257. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.12.010
44. Tanentzap, F. M., Stempel, A., & Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. *Botany*, *93*, 535–541. https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0065
45. Tsiupka, S. (2018). Historical review of olive germplasm evaluation and cultivar development in Crimea. *Acta Horticulturae*, *1208*, 97–104. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.13
46. van Kooten, O., & Snel, J. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, *25*, 147–150. https://doi.org/10.1007/BF00033156
47. Xu, Z., Zhou, G., & Li, H. (2004). Responses of chlorophyll fluorescence and nitrogen level of Leymus chinensis seedling to changes of soil moisture and temperature. *Journal of Environmental Sciences*, *16*(4), 666–669.
48. Yoshida, S., & Uemura, M. (1990). Responses of the plasma membrane to cold acclimation and freezing stress. In *The Plant Plasma Membrane* (pp. 293–320). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74522-5_13
49. Zhang, B. B., Xu, J. L., Zhou, M., Yan, D. H., & Ma, R. J. (2018). Effect of light quality on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of peach (Prunus persica L. Batch). *Photosynthetica*, *56*, 1113–1122. https://doi.org/10.1007/s11099-018-0820-x

References

1. Gol'tsev, V. N., Kaladzhi, Kh. M., Paunov, M., Baba, V., Khorachek, T., Moyski, Ya., Kotsel, Kh., & Allahverdiev, S. I. (2016). Using variable chlorophyll fluorescence to evaluate the physiological state of the photosynthetic apparatus of plants. *Fiziologiya rasteniy*, *63*(6), 881–907. https://doi.org/10.7868/S0015330316050055
2. Domanskaya, E. N. (1964). Study of physiological and biochemical indicators of comparative frost resistance of olive varieties. Unpublished doctoral dissertation, Yalta.
3. Ivanova, M. I., Bukharov, A. F., & Kashleva, A. I. (2022). Correlation analysis of traits characterizing yield and product quality of Allium (subgenus Sera) representa-

tives. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya*, *22*(1), 64–73. https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-1-64-73
4. Nesterenko, T. V., Tikhomirov, A. A., & Shikhov, V. N. (2007). Induction of chlorophyll fluorescence and assessment of plant resistance to adverse influences. *Zhurnal obshchey biologii*, *68*(6), 444–458.
5. Nesterov, Ya. S. (1972). Methodology for assessing winter hardiness and frost resistance of fruit and berry crops. Michurinsk.
6. Rubin, A. B. (2000). Biophysical methods in ecological monitoring. *Sorosovskiy Obrazovatel'nyy Zhurnal*, *(4)*, 7–13.
7. Shchennikova, I. N., Lisitsyn, E. M., & Kokina, L. P. (2010). Changes in the pigment complex of barley flag leaves under the influence of edaphic stress. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*, *(1)*, 24–28.
8. Yushkov, A. N. (2017). Adaptive potential and breeding of fruit plants resistant to abiotic stresses. Unpublished doctoral dissertation, Michurinsk: Michurinsky State Agrarian University.
9. Alekseev, A. A., Osipov, V. A., & Matorin, D. N. (2006). Method for determining the functional state of plants by chlorophyll fluorescence. Yakut State University, Yakutsk, 65 p.
10. Antognozzi, E., Pilli, M., Proietti, P., & Romani, F. (1990). Analysis of some factors affecting frost resistance in olive trees. *Paper presented at XXIII Int. Horticultural Congress*, Firenze, Italy, 4280 p.
11. Arias, N. S., Scholz, F. G., Goldstein, G., & Bucci, S. J. (2021). Low-temperature acclimation and legacy effects of summer water deficits in olive freezing resistance. *Tree Physiology*, *41*(10), 1836–1847. https://doi.org/10.1093/treephys/tpab040
12. Baker, N. R., & Oxborough, K. (2004). Chlorophyll fluorescence as a probe of photosynthetic productivity. In *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 65–82). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_3
13. Bartolozzi, F., & Fontanazza, G. (1999). Assessment of frost tolerance in olive (Olea europaea L.). *Scientia Horticulturae*, *81*, 309–319. https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00019-9
14. Bartolozzi, F., Rocchi, P., Camerini, F., & Fontanazza, G. (1999). Changes of biochemical parameters in olive (Olea europaea L.) leaves during an entire vegetative season, and their correlation with frost resistance. *Acta Horticulturae*, *474*, 435–440. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.474.89
15. Brajon, O. V., Korneev, D. Yu., Snegur, O. O., & Kitaev, O. I. (2000). Instrumental studies of the photosynthetic apparatus using the induction of chlorophyll fluorescence. Methodical instructions. Kyiv, Ukraine, 11 p.

16. D'Angeli, S., & Altamura, M. M. (2007). Osmotin induces cold protection in olive trees by affecting programmed cell death and cytoskeleton organization. *Planta*, *225*, 1147–1163. https://doi.org/10.1007/s00425-006-0426-6
17. Deslauriers, A., Caron, L., & Rossi, S. (2015). Carbon allocation during defoliation: Testing a defense-growth trade-off in balsam fir. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 338. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00338
18. Fontanazza, G. (1986). Renovation of olive groves damaged by frost: technical guidelines. *Giornale di Agricolture*, *42*, 45–47.
19. Food and Agriculture Organization (FAO) and Codex Alimentarius Commission. Available online: http://www.fao.org/. Accessed date: November 2023. https://doi.org/10.4337/9781786438935.00011
20. García-Mozo, H., Pérez-Badía, R., & Galán, C. (2008). Aerobiological and meteorological factors' influence on olive (Olea europaea L.) crop yield in Castilla-La Mancha (central Spain). *Aerobiologia*, *24*, 13–18. https://doi.org/10.1007/s10453-007-9075-x
21. Ghamary, B., Rajabipour, A., Borghei, A. M., & Sadeghi, H. (2010). Some physical properties of olive. *Agricultural Engineering International*, *12*, 104–110. https://cigrjournal.org/index.php/Ejounral/article/view/1381
22. Gómez-del Campo, M., & Barranco, D. (2005). Field evaluation of frost tolerance in ten olive cultivars. *Plant Genetic Resources*, *3*(3), 385–390. https://doi.org/10.1079/PGR200592
23. Gordeev, R. V., Pyzhev, A. I., & Zander, E. V. (2022). Does climate change influence Russian agriculture? Evidence from panel data analysis. *Sustainability*, *14*, 718. https://doi.org/10.3390/su14020718
24. Gubanova, T. B. (2019a). Resistance of Olea europaea L. varieties and forms to unfavorable winter conditions on the southern coast of Crimea. *Pomiculture and Small Fruit Culture in Russia*, *57*, 32–41. https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-57-32-41
25. Gubanova, T. B. (2019b). The influence of negative temperatures on photosynthetic activity in some evergreen species of Oleaceae family. *Subtropical and Decorative Gardening*, *70*, 158–167. https://doi.org/10.31360/2225-3068-2019-70-158-167
26. Gubanova, T. B., & Paliy, A. E. (2020). Physiological and biochemical aspects of frost resistance in Olea europaea L. *Russian Journal of Plant Physiology*, *67*, 671–679. https://doi.org/10.1134/S1021443720030103
27. Ivashchenko, Y., Ivashchenko, I., & Tsiupka, S. (2021). Evaluation of olive cultivars with different photosynthetic activity of leaves. *Acta Horticulturae*, *1308*, 99–104. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1308.16

28. Kramer, D. M., Johnson, G., Kirats, O., & Edwards, G. E. (2004). New flux parameters for the determination of Qa redox state and excitation flux. *Photosynthesis Research*, *79*, 209–218. https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000015391.99477.0d
29. La Porta, N., Zacchini, M., Bartolini, S., Viti, R., & Roselli, G. (1994). The frost hardiness of some clones of olive cv. Leccino. *Journal of Horticultural Science*, *69*(3), 433–435. https://doi.org/10.1080/14620316.1994.11516472
30. Lichtenthaler, H. K. (2004). Light adaptation and senescence of the photosynthetic apparatus. Changes in pigment composition, chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic activity. In H. K. Lichtenthaler & F. Babani (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* (pp. 713–736). Dordrecht: Springer Netherlands.
31. Lichtenthaler, H. K., & Rinderle, U. (1988). The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, *19*(1), 29–85. https://doi.org/10.1080/15476510.1988.10401466
32. Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, *11*, 591–592. https://doi.org/10.1042/bst0110591
33. Martin, G. C., Denney, J. O., Ketchie, D. O., Osgood, J. W., Connel, J. H., Sibbett, G. S., Kammereck, R., Krueger, W. H., & Nour, G. A. (1993). Freeze damage and cold hardiness in olive: Findings from the 1990 freeze. *California Agriculture*, *47*(1), 1–12. https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19930325238
34. Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, *51*(345), 659–668. https://doi.org/10.1093/jexbot/51.345.659
35. Moreno-Alias, I., Leon, L., de la Rosa, R., & Rapoport, H. F. (2009). Morphological and anatomical evaluation of adult and juvenile leaves of olive plants. *Trees*, *23*, 181–187. https://doi.org/10.3390/agriculture13061137
36. Rezaei, M., & Rohani, A. (2023). Estimating freezing injury on olive trees: A comparative study of computing models based on electrolyte leakage and tetrazolium tests. *Agriculture*, *13*, 1137. https://doi.org/10.3390/agriculture13061137
37. Rinderle, U., & Lichtenthaler, H. K. (1988). The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator. In H. K. Lichtenthaler (Ed.), *Applications of Chlorophyll Fluorescence* (pp. 189–196). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2823-7_23
38. Rodrigo-Comino, J., Salvia, R., Quaranta, G., Cudlin, P., Salvati, L., & Gimenez-Morera, A. (2021). Climate aridity and the geographical shift of olive trees in a Mediterranean northern region. *Climate*, *9*, 64. https://doi.org/10.3390/cli9040064

39. Roselli, G., La Porta, N., & Morelli, D. (1992). Evaluations of olive germplasm for cold-stress tolerance. *Atti Convegno Germoplasma Frutticolo: Alghero, Settembre*, pp. 107–112.
40. Roselli, G., & Venora, G. (1989). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *International Symposium on Olive Growing*, *286*, 89–92. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15
41. Roselli, G., & Venora, G. (1990). Relationship between stomatal size and winter hardiness in the olive. *Acta Horticulturae*, *286*, 89–92. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.15
42. Schreiber, U., Schliwa, U., & Bilger, W. (1986). Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer. *Photosynthesis Research*, *10*, 51–62. https://doi.org/10.1007/BF00024185
43. Stirbet, A., & Govindjee, G. (2011). On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, *104*(1–2), 236–257. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2010.12.010
44. Tanentzap, F. M., Stempel, A., & Ryser, P. (2015). Reliability of leaf relative water content (RWC) measurements after storage: consequences for in situ measurements. *Botany*, *93*, 535–541. https://doi.org/10.1139/cjb-2015-0065
45. Tsiupka, S. (2018). Historical review of olive germplasm evaluation and cultivar development in Crimea. *Acta Horticulturae*, *1208*, 97–104. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1208.13
46. van Kooten, O., & Snel, J. (1990). The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynthesis Research*, *25*, 147–150. https://doi.org/10.1007/BF00033156
47. Xu, Z., Zhou, G., & Li, H. (2004). Responses of chlorophyll fluorescence and nitrogen level of Leymus chinensis seedling to changes of soil moisture and temperature. *Journal of Environmental Sciences*, *16*(4), 666–669.
48. Yoshida, S., & Uemura, M. (1990). Responses of the plasma membrane to cold acclimation and freezing stress. In *The Plant Plasma Membrane* (pp. 293–320). Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74522-5_13
49. Zhang, B. B., Xu, J. L., Zhou, M., Yan, D. H., & Ma, R. J. (2018). Effect of light quality on leaf photosynthetic characteristics and fruit quality of peach (Prunus persica L. Batch). *Photosynthetica*, *56*, 1113–1122. https://doi.org/10.1007/s11099-018-0820-x

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Цюпка Сергей Юрьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ст. научный сотрудник
ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
tsupkanbg@mail.ru

Цюпка Валентина Анатольевна, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномики растений и биоинформатики, ст. научный сотрудник
ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
valentina.brailko@yandex.ru

Булавин Илья Владимирович, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией клеточной биологии и анатомии, ст. научный сотрудник
ФГБУН «Никитский ботанический сад-Национальный научный центр»
ул. Никитский спуск, 52, г. Ялта, , 298648, Российская Федерация
cellbiolnbs@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergei Yu. Tsiupka, PhD, Senior Researcher
Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
tsupkanbg@mail.ru

Valentina A. Tsiupka, PhD, Head of the Laboratory of Plant Genomics and Bioinformatics, Senior Researcher
Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
valentina.brailko@yandex.ru

Ilya V. Bulavin, PhD, Head of the Laboratory of Plant Cell Biology and Anatomy, Senior Researcher
Nikitsky Botanical Garden-National Scientific Center
52, Nikitsky descent, Yalta, 298648, Russian Federation
cellbiolnbs@yandex.ru

Поступила 26.05.2024
После рецензирования 25.07.2024
Принята 30.07.2024

Received 26.05.2024
Revised 25.07.2024
Accepted 30.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1080 **EDN: NWLBKV**
УДК 631.527

Научная статья

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ПРИГОДНОСТИ К ДЛИТЕЛЬНОМУ ХРАНЕНИЮ CR-ГИБРИДОВ КАПУСТЫ ПЕКИНСКОЙ

А.Д. Заставнюк, Г.Ф. Монахос, С.Г. Монахос

Аннотация

Обоснование. Преимущества производства капусты пекинской: высокие вкусовые и диетические качества, возможность получать по 2 урожая в год и способность к длительному хранению. В Госреестре менее 70 сортов и гибридов культуры, более 70% из которых восприимчивы к киле (возб. P.brassicae), губящей до 60% урожая. Существует потребность создания продуктивных гибридов культуры с устойчивостью к стрессорам, таким как кила, и пригодных для длительного хранения.

Цель. Оценить хозяйственно ценные признаки гибридных комбинаций капусты пекинской устойчивых к киле, выделить высокопродуктивные образцы и оценить потерю массы кочанов после хранения.

Материалы и методы. Полевые испытания были проведены в летне-осенний период 2023 г. В качестве растительного материала использованы 33 гибридные комбинации капусты пекинской. Растительный материал для родительских DH-линий был отобран на инфекционном фоне по устойчивости к киле и толерантности к внутреннему некрозу. После уборки и оценки хозяйственных признаков, кочаны закладывали в хранилище с искусственным охлаждением на 124 дня. После этого была произведена оценка потерь массы и поражение болезнями.

Результаты. Выделены 5 гибридных комбинаций, превосходящих стандарты по массе кочана не менее чем на 30%. Два из них показали хороший потенциал для длительного хранения с потерями массы от болезней до 11%. Отдельно выделен продуктивный генотип Би5×П2дг7 с устойчивостью к болезням во время хранения и минимальной потерей массы.

Заключение. 6 генотипов рекомендованы для расширенного испытания и отбора перспективных гибридов с комплексом хозяйственно-ценных призна-

ков, включая устойчивость к килe. Для дополнительных испытаний на пригодность к длительному хранению рекомендованы 5 гибридных комбинаций с небольшими потерями массы от болезней до 11%.

Ключевые слова: капуста пекинская; B.rapa ssp. pekinensis; кила; P.brassicae Wor.; длительное хранение; лежкость; устойчивость к болезням; продуктивность

Для цитирования. Заставнюк, А. Д., Монахос, Г. Ф., & Монахос, С. Г. (2025). Оценка продуктивности и пригодности к длительному хранению CR-гибридов капусты пекинской. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 205-228. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1080

Original article

PRODUCTIVITY ASSESSMENT AND LONG-TERM STORAGE ABILITY OF CHINESE CABBAGE CR-HYBRIDS

A.D. Zastavnyuk, G.F. Monakhos, S.G. Monakhos

Abstract

Background. Chinese cabbage production has several benefits, including excellent nutritional content and flavor, the potential for two harvests per year, and the long-term storage capacity. There are less than 70 varieties and hybrids of the crop in the State Register, more than 70% of them are susceptible to clubroot (Plasmodiophora brassicae), which destroys up to 60% of the crop. It is necessary to develop productive hybrids of Chinese cabbage with resistance to stressors such as clubroot and suitable for long-term storage.

Purpose. To evaluate the economically valuable characteristics of Chinese cabbage hybrid combinations resistant to clubroot, to select highly productive samples and to estimate the loss cabbage weight after storage.

Materials and methods. Field tests were carried out in the summer-autumn period of 2023. 33 hybrid combinations of Chinese cabbage were used as plant material. The parental DH-lines were selected on infection background for resistance to clubroot and internal necrosis in cabbage heads. After harvesting and evaluation of economic characteristics, the cabbage heads were kept in storage for 124 days with artificial refrigeration. Weight loss and disease damage were then evaluated.

Results. 5 hybrid combinations were identified that exceed the standards in terms of ‘head weight’ by at least 30%. Two of them have shown good potential

for long-term storage with minimal weight loss from disease up to 11%. The productive genotype Bi5×P2dg7 with disease resistance during storage and minimal weight loss was separately identified.

Conclusion. 6 genotypes are recommended for extended testing and selection of promising hybrids with a complex of economically valuable traits, including resistance to clubroot. For additional tests on suitability for long-term storage, five hybrid combinations with small weight losses due to diseases of up to 11% are recommended.

Keywords: Chinese cabbage; B.rapa ssp. pekinensis; clubroot; Plasmodiophora brassicae; long-term storage; quality; disease resistance; productivity

For citation. Zastavnyuk, A. D., Monakhos, G. F., & Monakhos, S. G. (2025). Productivity assessment and long-term storage ability of Chinese cabbage CR-hybrids. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 205–228. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1080

Введение

По одной из версий кочанная капуста пекинская (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) с большими листьями бледно-зеленого цвета и широкими белыми жилками окультурена в Китае [12; 16]. Позднее овощ распространился в другие страны, такие как Япония и Корея [19]. В настоящее время культура является важным и ценным для рациона питания человека восточноазиатских стран овощем благодаря своему богатому биохимическому составу: в ней много различных витаминов (например, C, B5, B2, PP и U), β-каротина, белков и клетчатки [1], а также каротиноидов и глюкозинолатов (GSL) обладающих противораковыми свойствами [7; 11]. В КНР под ее производство отводят примерно 15% от общей посевной площади всех овощей (около 3 миллионов гектар) [20]. В Корее, четвертой в мире стране-производителе капусты (FAO, 2022) [8], овощ является основным ингредиентом кимчи, незаменимого и самого популярного гарнира традиционной кухни, общий объем производства составляет 2,5 млн. тонн [9]. Годовое потребление пекинской капусты в этой стране составляет более 50 кг на человека, это самый высокий показатель среди капустных культур [11]. С XX века кочанная капуста *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* стала широко распространена за пределами Азии в Европе, Америке и Австралии.

Высокая урожайность до 60 тонн с гектара и возможность выращивания овоща в двух оборотах в средней полосе России дает хороший стимул производителям выращивать культуру. Для созревания капусте пекинской требуется всего от 50 до 85 дней [13]. Преимуществом для производителей

капусты пекинской является долгий период хранения (самый большой среди салатных культур – от 3 до 5 месяцев, в то время как остальные салаты не хранятся больше месяца).

По состоянию на октябрь 2022 года в Госреестр включено 16 отечественных сортов и 52 F1 гибрида пекинской капусты, 48% из которых зарубежные [3].

Сортам капусты пекинской угрожают проблемы потери урожайности, вызванные различными типами заболеваний в том числе килы, возбудителем которого является патоген *Plasmodiophora brassicae* (Pb). В России *P. brassicae* встречается повсеместно в зонах выращивания капустных растений. Pb заражает корни Brassicaceae и приводит к росту опухолей, тем самым препятствуя транспорту воды и питательных веществ в растение. Из-за длительного времени выживания *P. brassicae* (до 20 лет) [17], почва, несущая покоящиеся споры, может легко привести к персистенции заболевания, вызывая серьезный ущерб, который трудно контролировать физическими, химическими или биологическими методами.

Единственный эффективный способ справиться с этим заболеванием – создание генетически устойчивых растений. Такие растения выращиваются без применения пестицидов и это является частью широкого тренда на развитие экотехнологий. Поэтому рынок салатных культур открытого грунта будет развиваться в тесной связке с такими смежными отраслями, как экологически чистые технологии и органическое сельское хозяйство [6]. Возделывание гибридов капусты пекинской с генетической устойчивостью к киле будет также способствовать очищению почвы от спящих спор *P.brassicae*, которые прорастают, но не могут развиваться на корнях устойчивых растений и погибают.

По состоянию на июнь 2023 г. устойчивость к киле имеют всего 29% гибридов капусты пекинской Госреестра, только 13% из которых отечественной селекции, менее 3% гибридов устойчивы к внутреннему некрозу, нет гибридов с устойчивостью к мучнистой росе [2].

К проблемам сокращения потерь урожая относится также проблема сохранения физиологической ценности кочанов в результате длительного хранения. Для обеспечения населения Российской Федерации свежей овощной продукцией во внесезонный период, а также снижения доли импорта важна пригодность гибридов к длительному хранению. Повышенная естественная убыль массы капусты пекинской совпадает с ее высоким тепло- и влаговыделением и является одной из биологических особенностей капустных овощей. При хранении пекинской капусты происходят

потери основных питательных веществ, вызванных их расходом на поддержание жизнеспособности тканей. Старение и гниение листьев во время хранения могут привести к ухудшению вкуса и питательных качеств. Устойчивость капусты к болезням в период хранения определяется сортом или гибридом, поэтому важно проводить оценку и отбор лучших генотипов для длительного хранения.

В процессе хранения происходит постепенное снижение фитонутриентов в кочанах капусты пекинской, расход сахаров и витамина С. Эти вещества активно расходуются на поддержание физиологического состояния кочанов, на дыхание. Теряется сочность, и без высокой влажности помещения происходит стремительное усыхание. Поэтому потеря массы овощей во время хранения – естественный физиологический процесс. Любое нарушение оптимального режима хранения способствует снижению сопротивляемости растений к патогенам.

Пекинскую капусту, собранную летом, трудно хранить дольше месяца из-за высоких температур и влажной погоды, которые вызывают ухудшение качества и потерю веса. Пекинскую капусту, собранную поздней осенью, обычно хранят 3–4 месяца.

Было показано, что капуста пекинская, хранящаяся при температуре 20°C, имеет более высокую интенсивность дыхания, чем капуста, хранящаяся при низких температурах 0°C и 2°C [10]. Резкое увеличение интенсивности дыхания связано со старением [14]. Для оптимального состояния кочанов температура хранения должна находиться в интервале от 0ºС до +2ºС. При низкотемпературном хранении физиологический обмен веществ капусты пекинской падает до низкого уровня, потому что потребление питательных веществ и энергии минимально, устойчивость к микробам высока, а период хранения продлен.

Из-за отсутствия воскового налета на листьях капусте пекинской при хранении требуется высокая влажность около 98%, так как при хранении происходит сильная транспирация. При влажности менее 95% овощ начинает стремительно терять свою сочность и подвергается увяданию. Однако высокая влажность, близкая к 100%, способствует развитию грибковых заболеваний. Во время хранения кочаны могут поражаться слизистым бактериозом (возб. *Erwinia carotovora* (Jon.) Holl, *Erwinia aroideae* (Towsend) Holl.), серой гнилью (возб. *Botrytis cinerea* (Pers.)). При длительном хранении могут также проявляться физиологические расстройства, точечные и внутренние некрозы. Точечный некроз может быть обусловлен слишком низкой температурой хранения, накоплением меланина или чрезмерными

дозами азотных удобрений при выращивании [18]. Также капуста пекинская подвержена внутреннему некрозу. Типичный уровень заболеваемости этим физиологическим расстройством у растений пекинской капусты составляет 10-20%, а в тяжелых условиях может достигать 80% [20]. Хотя механизм возникновения внутреннего некроза сложен и достаточно противоречив, всегда считалось, что ключевым фактором, вызывающим заболевание, является дефицит кальция для быстро развивающихся листьев [5]. В целом восприимчивость к внутреннему некрозу в значительной степени зависит от генотипа растения и варьирует среди сортов [5].

В связи с необходимостью перехода на высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство и к биологической защите сельскохозяйственных растений существует потребность создания отечественных высокопродуктивных гибридов капусты пекинской с устойчивостью к стрессорам и пригодных для длительного хранения.

Цель исследования – оценка хозяйственно ценных признаков устойчивых к килe (CR) гибридных комбинаций капусты пекинской, в том числе лежкоспособности и выделение перспективных высокопродуктивных образцов с закрытой вершиной кочана.

Научная новизна исследования заключается в отборе лучших по комплексу ценных хозяйственных признаков гибридных комбинаций капусты пекинской и усовершенствовании методов оценки лежкости кочанов культуры при хранении в провокационных условиях в течение 4 месяцев. Линии капусты пекинской произведены в 2019–2022 годах из образцов, отобранных на провокационных фонах по устойчивости к килe и толерантности к внутреннему некрозу кочанов.

Материалы и методы исследования

Растительный материал. 33 гибрида капусты пекинской от скрещивания устойчивых к килe и толерантных к внутреннему ожогу инбредных линий и линии удвоенных гаплоидов. В качестве стандартов использовали коммерческие F1-гибриды: F1 Гидра и F1 Квистар.

Выращивание растений и учет средних значений признаков. Выращивание и испытание образцов капусты пекинской проводили в Селекционно-семеноводческом центре овощных культур ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева.

Растения выращивали рассадным способом с использованием кассетной технологии. Выращивание рассады в защищенном грунте изначально дороже прямого посева в открытый грунт, но при этом обеспечивается более ранний выход продукции, снижается потребность в семенах (в 3 раза) [5],

снижается себестоимость за счет упрощения полива и прореживания и такой способ имеет больше возможностей для контроля условий роста, развития болезней и распространения вредителей. Кроме того, выращивание рассады в оптимальном температурном режиме, так же, как и ее высадка с торфяными кубиками, снижает вероятность преждевременного перехода к цветению [5].

Посев семян в кассеты произведен 27 июня 2023 г., в открытый грунт рассаду высаживали 4 августа по схеме 45×35 см^2 с одновременным поливом. Для большинства гибридов российской селекции рекомендованная схема посадки (посева) 60×40 см^2 для средне- и позднеспелой групп и 50×30 см^2 или 45×35 см^2 – для ранней группы [5]. С увеличением плотности посадки формируются провокационные условия для развития болезней, что является дополнительной проверкой устойчивости растений капусты пекинской к килe. Ранее в 2021 г. [3] и 2022 г. [2] была проведена оценка продуктивности других групп гибридных комбинаций капусты пекинской, полученных из данной коллекции линий с устойчивостью к килe при схеме посадки 45×35 см^2. В данном полевом опыте 2023 г. была использована такая же схема посадки для выделения лучших генотипов при выращивании в сходных условиях.

Полевые испытания гибридных комбинаций были проведены при размещении опытных делянок методом рандомизированных повторений по 8 растений в каждой с двухкратной повторностью.

Оценку продуктивности проводили в технической зрелости кочана при взвешивании по 4 растения каждой повторности на весах с дискретностью 1 г., вычисляя среднюю массу для каждого генотипа. Измерение высоты, диаметра и ширины жилки проводили с помощью линейки и штангенциркуля.

Статистический анализ. Существенность различий в проявлении признака оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа на 5%-ном уровне значимости. Статистическая обработка результатов проводилась в программе MS Excel.

Закладка кочанов на хранение. Маркированные кочаны закладывали в хранилище с искусственным охлаждением вертикально в пластиковые ящики по 8 кочанов в каждый, предварительно обмотав каждый кочан несколькими слоями полиэтиленовой пищевой пленки, оставляя негерметизированной вершину кочана для доступа воздуха. Хранение кочанов осуществляли в провокационных условиях при температуре в диапазоне от +5ºС до +8 ºС и относительной влажности воздуха 80–90 %, без предварительного охлаждения. Верхние кроющие листья были удалены. Повторность двукратная по 4 кочана в каждой повторности.

Оценка потери массы кочана после хранения. В конце периода хранения проводили весовой учет показателей сохраняемости кочанов. Для этого проводили взвешивание кочанов. Далее кочаны очищали от внешних привядших, подгнивших или пожелтевших листьев до товарного вида и снова проводили взвешивание. Учитывали выход товарной продукции, убыль массы, потери от болезней, в т. ч. по видовому составу в процентах от первоначальной массы до хранения.

Статистическую обработку проводили методом однофакторного дисперсионного анализа.

Учет заболеваний после хранения

Оценка устойчивости / восприимчивости к слизистому бактериозу. Для учета слизистого бактериоза применяли балльную шкалу [4]: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено до 10 % поверхности кочана; 2 – поражено от 11 до 25 % поверхности кочана; 3 – поражено от 26 до 50 % поверхности кочана; 4 – поражено свыше 50 % поверхности кочана.

Оценка устойчивости / восприимчивости к серой гнили. Оценивали с использованием балльной шкалы [4]: 0 – поражение отсутствует; 1 – поражено менее 1/8 поверхности кочана; 2 – поражено от 1/8 до 1/4 поверхности кочана; 3 – поражено от 1/4 до 1/2 поверхности кочана; 4 – поражено от 1/2 до 3/4 поверхности кочана; 5 – поражена вся поверхность кочана.

Оценка устойчивости / восприимчивости к точечному некрозу. Пораженность кочанов точечным некрозом оценивали по площади поражения поверхности кочана по 5-балльной шкале аналогично [15], где балл 0 - без признаков поражения, 1 – поражен 1 лист с некрозом до 50% поверхности черешка; 2 – поражен 1 лист с некрозом более 50% поверхности черешка; 3 – поражены 2 листа; 4 – поражено более 2 листьев внешней поверхности кочана; 5 баллов поражена вся площадь поверхности кочана и внутренние листья.

Оценка устойчивости/восприимчивости растений к внутреннему некрозу. Проводили по 7-балльной шкале [21], где: 0 баллов - нет симптомов; 0,5 балл - несколько коричневых пятен по краям листьев; 1 балл - 1 лист подвержен некрозу; 3 балла - 2 листа подвержены некрозу; 5 баллов – более 2 листьев с некрозом, покрывающим менее 25% площади листа; 7 баллов – более 2 листьев с внутреним некрозом, покрывающим 25-50% площади листа; 9 баллов – более 2 листьев с внутренним некрозом, покрывающим более 50% площади листа.

Развитие болезни. Балльные оценки всех наблюдаемых заболеваний были преобразованы в индекс болезни (%) путем отношения суммы всех произведений количества больных растений на соответствующий балл по-

ражения к произведению числа всех растений в пробе на максимальный балл поражения.

Результаты и их обсуждение

Выделение перспективных гибридных комбинаций. Была исследована масса кочана 33 гибридных комбинаций капусты пекинской в летне-осеннем обороте 2023 г. Изучаемые средние значения массы генотипов сравнивались со значениями средней массы лучших коммерческих CR-гибридов – F1 Гидра и F1 Квистар (табл. 1).

Для исследуемых 33 гибридных комбинаций размах вариации по массе кочана составил 1051,1 г. Минимальное среднее значение массы у генотипа Би5дг2×П2дг2-11 ($m_{ср}$ = 882,4 г.), максимальное - у генотипа П1дг4-II×-Би5дг2 ($m_{ср}$ = 1933,5 г.) (табл. 1).

Таблица 1.

Продуктивность гибридных комбинаций капусты пекинской (2023 г.)

Генотипы	Среднее, масса кочана, г.	Коэффициент вариации	Генотипы	Среднее, масса кочана, г.	Коэффициент вариации
П1дг4-II×Би5дг2	**1933,5**	0,29	Кви19×П1дг9	1337,9	0,15
П1дг4-II×Би5дг2-2	1808,3	0,08	П1дг5×Би5дг2	1310,0	0,17
Би5дг2×П1дг8-1	1795,8	0,05	П2дг2×Би5дг2	1303,3	0,31
Би5дг2-1×П1дг4-1	1763,5	0,08	Кви3×П1дг1	1302,9	0,18
Би5дг2-I×П2дг7	1719,7	0,22	ЧиIмс×П1дг4	1287,5	0,16
Би5×П2дг7	1659,3	0,07	Би5дг2×Квидг7-I	1282,3	0,34
Квидг7×П1дг4	1593,8	0,31	Кви10×П1дг5	1203,7	0,23
П1дг5-II×Би5дг2	1582,3	0,07	Квидг4×П1дг15	1189,5	0,19
Квидг8-2×Би5дг2	1577,8	0,24	Квидг(16)I×Би5дг2	1165,3	0,14
П1дг8-1×Би5дг2-1	1555,9	0,18	Чи1мс× Кви7	1145,0	0,20
П2дг2-II×Би5дг2	1544,3	0,16	Чи1мс×Квидг1	1090,6	0,35
Би5дг2× П1дг4	1532,8	0,19	Би5дг2×Т52	1072,0	0,19
Би5дг×П1дг5	1468,1	0,18	Квидг(13)I×Би5дг2	1070,1	0,24
Би5дг2×Квидг(16)I	1401,3	0,32	Би5дг2×Квидг5	1039,9	0,42
Би5дг2×Квидг8-2	1378,1	0,25	П1дг7×Би5дг2	997,1	0,29
Кви10×П4дг2	1351,3	0,09	Би5дг2×П2дг2-11	882,4	0,35
Квидг7-I×Би5дг2	1341,1	0,26			

Примечание. НСР05 **масса кочана** = 352,7 г. Средняя масса кочана 2 стандартов: Гидра F1 (941,7 г.), Квистар F1 (1308,5 г.). Жирным шрифтом выделено максимальное среднее значение массы кочана.

Исходя из данных таблицы 1, по результатам оценки в сравнении со стандартами были выделены лучшие 5 гибридных комбинаций, значимо превзошедших по продуктивности 2 стандарта, со средним значением массы свыше 1700 г.: П1дг4-II×Би5дг2 ($m_{ср}$ = 1933,5 г.); Би5дг2-I×П2дг7 ($m_{ср}$ = 1719,7 г.); Би5дг2×П1дг8-1 ($m_{ср}$ = 1795,8 г.); Би5дг2-1×П1дг4-1 ($m_{ср}$ = 1763,5 г.) и П1дг4-II×Би5дг2-2 ($m_{ср}$ = 1808,3 г.).

Шестнадцать гибридных комбинаций существенно превысили по массе кочана на НСР05 = 352,7 г. гибрид Гидра F1: Кви3×П1дг1; Квидг8-2×Би5дг2; Би5дг2×Квидг8-2; Кви19×П1дг9; Би5дг2×Квидг(16)I; Би5дг×П1дг5; Би5×П2дг7; Квидг7×П1дг4; Квидг7-I×Би5дг2; П2дг2-II×-Би5дг2; П1дг8-1×Би5дг2-1; Кви10×П4дг2; Би5дг2× П1дг4; П1дг5-II×Би-5дг2; П2дг2×Би5дг2 и П1дг5×Би5дг2.

Самое высокое среднее значение массы у генотипа П1дг4-II×Би5дг2, оно составило $m_{ср}$ = 1933,5 г.

Морфологическую однородность, как важнейший признак, в проявлении признака масса кочана, оценивали расчетом коэффициента вариации растений каждого образца. Образцы были дифференцированы по трем группам по этому признаку.

В первую группу вошли образцы (45,4% от общего количества), которые сильно варьировали по массе с коэффициентом вариации (CV) > 20%: П1дг4-II×Би5дг2; Квидг8-2×Би5дг2; Би5дг2×Квидг8-2; Квидг(13)I×Би-5дг2; Би5дг2×Квидг(16)I; Квидг7×П1дг4; Квидг7-I×Би5дг2; Чи1мс×Квидг1; Би5дг2×Квидг7-I; Би5дг2-I×П2дг7; П2дг2×Би5дг2; Би5дг2×П2дг2-11; Би5дг2×Квидг5; Кви10×П1дг5 и П1дг7×Би5дг2.

Ко второй группе отнесены образцы (36,4% от общего количества), которые имели средний коэффициент вариации (10%<CV≤20%): Кви3×П1дг1; Кви19×П1дг9; Би5дг×П1дг5; Би5дг2×Т52; Квидг4×П1дг15; Квидг(16)I×Би5дг2; П2дг2-II×Би5дг2; П1дг8-1×Би5дг2-1; ЧиIмс×П1дг4; Би5дг2× П1дг4; Чи1мс× Кви7; П1дг5×Би5дг2.

К третьей группе отнесены образцы (18,2% от общего количества) с низким коэффициентом вариации (CV≤10%): Би5×П2дг7; Кви10×П4дг2; П1дг5-II×Би5дг2; Би5дг2×П1дг8-1; Би5дг2-1×П1дг4-1; П1дг4-II×Би5дг2-2.

Гибридные комбинации, превосходящие по продуктивности стандарты, имели как высокий коэффициент вариации CV>20%, также средний коэффициент 10%<CV≤20%, и низкий CV≤10%. Это должно быть учтено при отборе перспективных гибридных комбинаций.

В таблице 2 приведена оценка других важных хозяйственных признаков, диаметра и высоты кочана, а также ширины жилки.

Таблица 2.

Оценка хозяйственных признаков генотипов капусты пекинской (2023 г.)

Генотипы	Диаметр кочана, см	Коэффициент вариации	Высота кочана, см	Коэффициент вариации	Ширина черешка, см	Коэффициент вариации
П1дг4-II×Би5дг2	12,5	0,08	25,9	0,03	5,6	0,05
Кви3×П1дг1	12,7	0,06	20,3	0,08	5,0	0,07
Квидг8-2×Би5дг2	13,1	0,09	23,9	0,11	4,9	0,11
Би5дг2×Квидг8-2	11,9	0,12	22,8	0,07	5,0	0,16
Квидг(13)I×Би5дг2	11,9	0,13	24,5	0,04	4,3	0,14
Кви19×П1дг9	12,1	0,09	23,6	0,09	5,0	0,12
Би5дг2×Квидг(16)I	12,1	0,12	20,4	0,07	4,9	0,12
Би5дг×П1дг5	12,7	0,07	24,5	0,06	5,3	0,13
Би5дг2×Т52	11,9	0,10	23,0	0,06	4,7	0,11
Би5×П2дг7	11,8	0,04	24,6	0,08	5,0	0,03
Квидг7×П1дг4	12,7	0,18	24,5	0,09	5,7	0,09
Квидг4×П1дг15	12,5	0,06	21,4	0,04	4,6	0,11
Квидг7-I×Би5дг2	12,9	0,11	22,2	0,05	5,3	0,12
Чи1мс×Квидг1	11,5	0,12	21,0	0,05	4,9	0,15
Квидг(16)I×Би5дг2	12,6	0,05	19,5	0,04	4,8	0,05
П2дг2-II×Би5дг2	12,6	0,07	25,2	0,07	5,6	0,13
П1дг8-1×Би5дг2-1	12,5	0,07	25,8	0,03	5,2	0,11
Кви10×П4дг2	13,1	0,04	24,1	0,08	5,5	0,08
ЧиIмс×П1дг4	11,9	0,11	25,4	0,07	5,4	0,12
Би5дг2×Квидг7-I	12,9	0,11	22,2	0,08	5,0	0,10
Би5дг2× П1дг4	13,6	0,05	25,6	0,05	5,2	0,08
Чи1мс× Кви7	11,4	0,08	22,6	0,08	5,2	0,11
Би5дг2-I×П2дг7	13,9	0,11	25,8	0,02	5,2	0,05
П1дг5-II×Би5дг2	12,8	0,04	25,3	0,04	5,5	0,09
П2дг2×Би5дг2	12,5	0,09	24,3	0,06	5,6	0,12
Би5дг2×П2дг2-11	11,6	0,10	21,5	0,09	4,2	0,14
Би5дг2×Квидг5	11,2	0,18	21,3	0,18	4,4	0,11
Кви10×П1дг5	12,7	0,08	22,7	0,04	5,0	0,09
П1дг7×Би5дг2	11,3	0,08	23,4	0,10	4,1	0,18
Би5дг2×П1дг8-1	13,6	0,08	26,6	0,02	5,4	0,12
Би5дг2-1×П1дг4-1	13,5	0,06	26,2	0,04	5,7	0,05
П1дг4-II×Би5дг2-2	14,4	0,12	26,4	0,04	6,1	0,07
П1дг5×Би5дг2	11,7	0,08	25,5	0,02	5,2	0,07

Примечание: НСР05 **диаметр кочана** = 1,42 см. Средний диаметр кочана 2 стандартов: Гидра F1 (10,17 см), Квистар F1 (12,8 см).

НСР05 **высота кочана** = 1,95 см. Средняя высота кочана 2 стандартов: Гидра F1 (25,33 см), Квистар F1 (19,41 см).

НСР05 **ширина черешка** = 0,65 см. Средняя ширина черешка 2 стандартов: Гидра F1 (4,3 см), Квистар F1 (5,31 см).

Гибридная комбинация П1дг4-II×Би5дг2-2 по диаметру кочана и ширине жилки значимо превзошла 2 стандарта (Гидра F1 и Квистар F1).

По диаметру кочана 27 образцов (81,8% от общего количества) значимо превосходят гибрид Гидра F1 (кроме образцов Би5дг2×Квидг8-2; Чи1мс×Квидг1; Чи1мс× Кви7; Би5дг2×Квидг5; П1дг7×Би5дг2). Размах вариации по диаметру кочана составил 3,2 см. Максимальное среднее значение диаметра кочана у гибридной комбинации П1дг4-II×Би5дг2-2 ($m_{ср}$ = 14,4 см), минимальное – у гибридной комбинации Би5дг2×Квидг5 ($m_{ср}$ = 11,2 см).

По высоте кочана 28 образцов (84,8% от общего количества) значимо на НСР05 = 1,95 см превосходят гибрид Квистар F1 (кроме образцов Кви3×П1дг1; Би5дг2×Квидг(16)I; Чи1мс×Квидг1; Квидг(16)I×Би5дг2; Би5дг2×Квидг5). Размах вариации по высоте кочана составил по высоте кочана – 7,1 см. Максимальное среднее значение высоты кочана у образца Би5дг2×П1дг8-1 ($m_{ср}$ = 26,6 см), минимальное – у образца Квидг(16) I×Би5дг2 ($m_{ср}$ = 19,5 см).

По ширине черешка 21 образец (63,6% от общего количества) значимо на НСР05 = 0,65 см превосходят гибрид Гидра F1 (кроме Квидг8-2×Би5дг2; Би5дг2×Квидг8-2; Квидг(13)I×Би5дг2; Би5дг2×Квидг(16)I; Би5дг2×Т52; Квидг4×П1дг15; Чи1мс×Квидг1; Квидг(16)I×Би5дг2; Би5дг2×П2дг2-11; Би5дг2×Квидг5; П1дг7×Би5дг2). Размах вариации по ширине черешка составил 2,0 см. Максимальное среднее значение ширины жилки у образца П1дг4-II×Би5дг2-2 ($m_{ср}$ = 6,1 см), минимальное – у образца П1дг7×Би5дг2 ($m_{ср}$ = 4,1 см).

Как можно видеть из данных табл.2, примерно 64% образцов (22 гибридные комбинации) морфологически однородны по признаку диаметр кочана с коэффициентом вариации CV≤10%. Одиннадцать остальных образцов имеют коэффициент вариации незначительно выше 10% (до 20%).

По высоте кочана низкое значение коэффициента вариации CV≤10% имеют примерно 94% генотипов (31 образец), остальные два средне варьируют по этому признаку.

По ширине черешка 42% образцов (14 образцов) низко варьируют по этому признаку с коэффициентом вариации CV≤10%, 58% (19 образцов) имеют средний коэффициент вариации свыше 10% и до 20%.

В совокупности по ценным хозяйственным признакам были выделены лучшие 5 выровненных продуктивных образцов (рис. 1).

Гибридная комбинация П1дг4-II×Би5дг2 имеет самое высокое среднее значение массы кочана $m_{ср}$ = 1933,50 г. По признакам диаметр и высота кочана, и по ширине черешка образцы слабо варьировали; по среднему

значению массы кочана коэффициент вариации равен 29 %. Это может объясняться разной плотностью кочанов, однако все образцы гибридной комбинации имели высокую массу.

Гибридная комбинация Би5дг2-I×П2дг7 имеет среднее значение массы кочана $m_{ср}$ = 1719,67 г. По высоте кочана и по ширине черешка образцы почти не варьировали (CV≤5%), по диаметру кочана коэффициент вариации был также низкий (CV = 11%), по среднему значению массы кочана коэффициент вариации был приближен незначительно выше среднего диапазона (CV = 22%). Образцы данной гибридной комбинации можно в целом охарактеризовать как морфологически однородные.

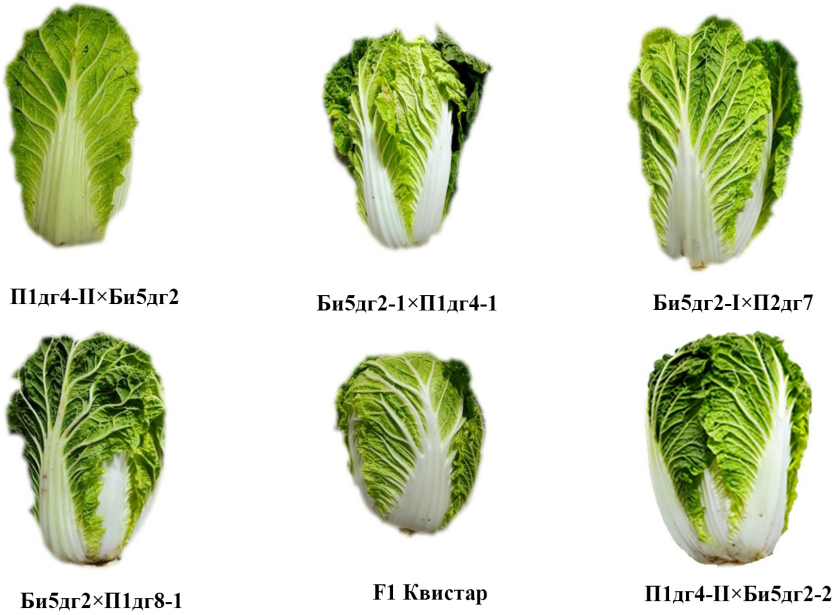


Рис. 1. Лучшие по совокупности хозяйственных признаков и морфологической однородности гибридные комбинации капусты пекинской в сравнении со стандартом Квистар F1

Гибридная комбинация Би5дг2×П1дг8-1 имеет среднее значение массы кочана $m_{ср}$ = 1795,75 г. По высоте и диаметру кочана, а также по массе образцы почти не варьировали (CV≤8%), по ширине черешка коэффициент вариации был также невысокий (CV = 12%). Образцы гибридной комбинации можно охарактеризовать как морфологически однородные.

Гибридная комбинация Би5дг2-1×П1дг4-1 имеет среднее значение массы кочана $m_{ср}$ = 1763,50 г. По всем признакам, включая продуктивность образцы почти не варьировали (CV≤8%). Образцы данной гибридной комбинации морфологически однородные.

Гибридная комбинация П1дг4-II×Би5дг2-2 имеет среднее значение массы кочана $m_{ср}$ = 1808,25 г. По всем признакам, кроме диаметра кочана, образцы почти не варьировали (CV≤8%). По диаметру кочана коэффициент вариации был также невысоким CV = 12%. Образцы гибридной комбинации можно охарактеризовать как морфологически однородные. Гибридная комбинация П1дг4-II×Би5дг2-2 имеет внешнее сходство по форме со стандартом F1 Квистар (рис.1), но превосходит его по размерам и продуктивности.

Все 5 выделенных гибридных комбинаций имеют закрытую вершину кочана и морфологически однородны. Все 5 гибридных комбинаций по среднему значению массы кочана превосходят 2 стандарта Гидра F1 и Квистар F1 не менее, чем на 30%.

Оценка генотипов на пригодность к хранению в течение 4 месяцев. Кочаны 33 генотипов и 2 стандартов были заложены на хранение 15 октября 2023 г. в двух повторностях по 4 кочана. Через 4 месяца (16 февраля 2024 г.) проводили весовой и визуальный учет показателей сохраняемости кочанов, выход товарной продукции, убыль массы, потери от болезней.

В таблице 3 приводятся данные развития болезней по их видам, после проведенного учета образцов кочанов капусты пекинской в результате хранения в течение 4 месяцев в провокационных условиях.

Таблица 3.

Развитие болезней (%) генотипов капусты пекинской в период хранения

Генотип	Развитие болезни, %			
	точечный некроз	слизистый бактериоз	внутренний некроз	серая гниль
П1дг4-II×Би5дг2	15,0	25,0	—	—
Кви3×П1дг1	30,0	—	—	—
Квидг8-2×Би5дг2	22,5	25,0	4,2	—
Би5дг2×Квидг8-2	7,5	—	—	—
Квидг(13)I×Би5дг2	25,7	42,9	—	22,9
Кви19×П1дг9	—	18,8	6,9	20,0
Би5дг2×Квидг(16)I	45,0	25,0	—	—
Би5дг×П1дг5	7,50	65,6	—	20,0
Би5дг2×Т52	30,0	12,5	—	—
Би5×П2дг7	—	—	—	—

Квидг7×П1дг4	20,0	—	5,5	—
Квидг4×П1дг15	—	—	—	22,9
Квидг7-I×Би5дг2	—	46,9	12,5	35,0
Чи1мс×Квидг1	—	37,5	—	20,0
Квидг(16)I×Би5дг2	—	65,6	—	40,0
П2дг2-II×Би5дг2	—	43,8	—	40,0
П1дг8-1×Би5дг2-1	—	37,5	—	40,0
Кви10×П4дг2	30,0	18,8	—	20,0
ЧиIмс×П1дг4	—	28,1	4,2	20,0
Би5дг2×Квидг7-I	7,5	59,4	—	10,0
Би5дг2× П1дг4	—	75,0	—	40,0
Чи1мс× Кви7	—	75,0	4,2	40,0
Би5дг2-I×П2дг7	—	83,3	—	26,7
П1дг5-II×Би5дг2	—	40,0	—	—
П2дг2×Би5дг2	—	75,0	4,2	40,0
Би5дг2×П2дг2-11	—	37,5	1,4	20,0
Би5дг2×Квидг5	—	9,4	1,4	10,0
Кви10×П1дг5	30,0	—	—	—
П1дг7×Би5дг2	14,3	21,4	—	5,7
Би5дг2×П1дг8-1	30,0	—	—	—
Би5дг2-1×П1дг4-1	—	18,8	—	40,0
П1дг4-II×Би5дг2-2	30,0	—	—	—
П1дг5×Би5дг2	—	31,3	—	10,0
F1 Гидра	—	33,3	—	26,7
F1 Квистар	—	75,00	1,4	40,0

Примечание. Прочерком обозначено отсутствие заболевания у образцов

В таблице 4 представлены данные по выходу товарной продукции и потерям массы в процентах по отношению к первоначальной массе кочана до закладки на хранение, в том числе естественной убыли массы и убыли массы от болезней по их видам. Гибридные комбинации с максимальной средней массой выхода товарной продукции после хранения П1дг4-II×-Би5дг2-2 и Би5×П2дг7. Эти генотипы значительно (НСР05 = 286,53 г.) превзошли по среднему значению массы товарной продукции 2 стандарта (табл.4). Также дополнительно были отмечены 6 гибридных комбинаций: Кви3×П1дг1; Би5дг2×Квидг8-2; П1дг5-II×Би5дг2; Кви10×П1дг5; Би5дг2×П1дг8-1 и П1дг5×Би5дг2 с минимальной потерей массы кочана от болезней.

Таблица 4.

Выход товарной продукции (гр.) и потери (% от исходной массы кочанов) после хранения генотипов капусты пекинской в течении 124 дней

Генотипы	Выход товарной продукции, гр.	Потери, %						
		Всего	Убыль массы	От болезней	По видам болезней			
					точечный некроз	слизистый бактериоз	внутренний некроз	серая гниль
П1дг4-II×Би5дг2	734,50	62,01	41,65	20,36	7,63	12,73	—	—
Кви3×П1дг1	594,88	54,34	45,56	8,78	8,78	—	—	—
Квидг8-2×Би5дг2	599,00	62,03	42,62	19,42	8,46	9,40	1,56	—
Би5дг2×Квидг8-2	686,38	50,20	40,98	9,22	9,22	—	—	—
Квидг(13)I×Би5дг2	525,43	50,90	38,65	12,25	3,44	5,75	—	3,06
Кви19×П1дг9	588,75	55,99	37,48	18,51	7,60	2,81	8,10	7,60
Би5дг2×Квидг(16)I	743,38	46,95	34,91	12,04	7,74	4,30	—	—
Би5дг×П1дг5	892,25	39,23	18,51	20,72	1,67	14,60	—	4,45
Би5дг2×Т52	495,88	53,74	41,39	12,35	8,72	3,63	—	—
Би5×П2дг7	1043,25	37,13	37,13	—	—	—	—	—
Квидг7×П1дг4	661,83	58,47	44,51	13,96	10,95	—	3,01	
Квидг4×П1дг15	571,14	51,98	37,57	14,41	—	—	—	14,41
Квидг7-I×Би5дг2	752,00	43,93	27,86	16,07	—	7,98	2,13	5,96
Чи1мс×Квидг1	499,13	54,23	36,93	17,31	—	11,29	—	6,02
Квидг(16)I×Би5дг2	561,38	51,82	26,95	24,88	—	15,46	—	9,42
П2дг2-II×Би5дг2	899,67	41,74	25,37	16,37	—	8,55	—	7,82
П1дг8-1×Би5дг2-1	765,88	50,78	31,57	19,20	—	9,29	—	9,91
Кви10×П4дг2	510,63	62,21	50,49	11,72	5,11	3,20	—	3,41
ЧиIмс×П1дг4	540,88	57,99	44,25	13,74	—	7,39	1,10	5,25
Би5дг2×Квидг7-I	628,63	50,97	32,14	18,83	1,84	14,54	—	2,45
Би5дг2× П1дг4	612,75	60,02	28,48	31,54	—	20,57	—	10,97
Чи1мс× Кви7	586,88	48,74	30,20	18,55	—	11,67	0,65	6,23
Би5дг2-I×П2дг7	670,33	61,02	36,64	24,38	—	18,47	—	5,91
П1дг5-II×Би5дг2	777,75	50,85	42,31	8,53	8,53	—	—	—
П2дг2×Би5дг2	745,25	42,82	27,16	15,65	—	9,85	0,55	5,25
Би5дг2×П2дг2-11	378,38	57,12	42,17	14,95	—	9,52	0,35	5,08
Би5дг2×Квидг5	573,25	44,87	30,26	14,62	—	6,60	0,98	7,04
Кви10×П1дг5	635,50	47,20	41,97	5,23	5,23	—	—	—
П1дг7×Би5дг2	438,57	56,02	41,80	14,21	4,90	7,35	—	1,96
Би5дг2×П1дг8-1	904,75	49,62	39,22	10,40	10,40	—	—	—
Би5дг2-1×П1дг4-1	678,25	61,54	36,04	25,50	—	8,14	—	17,36
П1дг4-II×Би5дг2-2	1015,50	43,84	36,22	7,62	7,62	—	—	—
П1дг5×Би5дг2	728,50	44,39	34,14	10,25	—	7,77	—	2,48
F1 Гидра	165,67	82,41	55,54	26,87	—	14,93	—	11,94
F1 Квистар	713,88	45,44	26,74	18,70	—	12,05	0,22	6,43
НСР05	286,53	—	—	—	—		—	

Примечание. Прочерком обозначено отсутствие потерь по видам болезней

Гибридные комбинации Би5×П2дг7 и П1дг4-II×Би5дг2-2 по выходу товарной продукции имели среднее значение массы свыше 1000 г. и превысили 2 стандарта: Гидра F1 на НСР05 = 286,53

Шесть образцов имели минимальные потери массы от болезней до 11%: Кви3×П1дг1; Би5дг2×Квидг8-2; П1дг5-II×Би5дг2; Кви10×П1дг5; Би-5дг2×П1дг8-1 и П1дг5×Би5дг2.

Примечательно, что генотип П1дг4-II×Би5дг2-2 с высоким выходом товарной массы превзошел до хранения по продуктивности 2 стандарта и вошел в число пяти лучших гибридных комбинаций. У другого генотипа Би5×П2дг7 минимальная из всех изучаемых гибридов общая потеря массы 37,13%, причём он не был поражен болезнями во время хранения. До хранения генотип Би5×П2дг7 превысил по продуктивности стандарт F1 Гидра. Эти два генотипа (П1дг4-II×Би5дг2-2 и Би5×П2дг7) хорошо выровнены в совокупности по важным хозяйственным признакам в полевом опыте 2023 г. и после 4 месяцев хранения имели превышение выхода товарной продукции над двумя стандартами свыше 40%.

Из шести гибридных комбинаций с минимальными потерями массы от болезней до 11% после длительного хранения генотип Би5дг2×П1дг8-1 до хранения превысил по массе кочана 2 стандарта и вошел в пятерку лучших; генотипы Би5дг2×Квидг8-2 и Кви3×П1дг1 – превысили по продуктивности один стандарт. На рис. 2 представлена диаграмма, демонстрирующая процентное соотношение (от исходной массы до закладки на хранение) средних значений массы выхода овощной продукции, убыли массы во время хранения и потерь массы от болезней в результате хранения в провокационных условиях.

Как видно, средний выход товарной продукции, включая стандарты, составил менее 50% от первоначальной средней массы до закладки на хранение (рис.2).

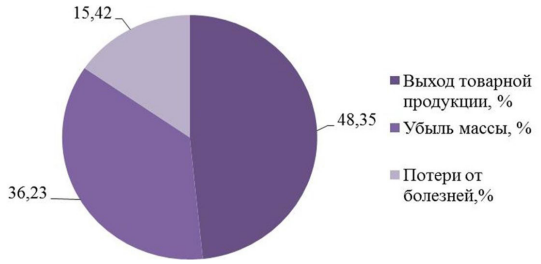


Рис. 2. Среднее значение массы кочанов сохраняемых генотипов капусты пекинской (процент от исходной массы до хранения) в период хранения с октября по февраль 2023-2024 гг.

Примечательно, что 2 стандарта после 4 месяцев хранения были подвержены заболеваниям, причем гибрид F1 Квистар показал незначительное повреждение внутренним некрозом, к которому имеет генетическую устойчивость.

Однако кроме генотипа Би5×П2дг7, устойчивого к болезням во время хранения, отдельные кочаны некоторых генотипов после хранения были практически не повреждены. Пример такого кочана с отсутствием видимого физического распада у генотипа Би5дг2×Квидг5 представлен на рис.3.



Рис. 3. Генотип Би5дг2×Квидг5 до (слева) и после (справа) 4-х месяцев хранения

Выводы

В результате полевого испытания устойчивых к килe 33 гибридных комбинаций капусты пекинской выделены 5 наиболее продуктивных, имеющих закрытую вершину и выровненных: П1дг4-II×Би5дг2; Би5дг2-I×П2дг7; Би5дг2×П1дг8-1; Би5дг2-1×П1дг4-1 и П1дг4-II×Би5дг2-2. Эти генотипы со средним значением массы свыше 1700 г. значительно превысили по продуктивности 2 стандарта не менее чем на 30%.

В результате оценки пригодности генотипов к длительному хранению были выделены 2 лучших: П1дг4-II×Би5дг2-2 и Би5×П2дг7 с минимальными потерями массы. Среднее значение выхода товарной продукции этих генотипов значительно превысило 2 стандарта. Генотип П1дг4-II×-Би5дг2-2 – лучший по хозяйственным признакам до и после хранения; генотип Би5×П2дг7 – с минимальной потерей массы и устойчивый к заболеваниям хранения, превысил до хранения по массе стандарт F1 Гидра.

Также были отмечены дополнительно 6 гибридных комбинаций с минимальными потерями массы от болезней во время хранения: Кви3×П1дг1, Би5дг2×Квидг8-2, П1дг5-II×Би5дг2, Кви10×П1дг5, Би5дг2×П1дг8-1 и П1дг5×Би5дг2. Из них генотип Би5дг2×П1дг8-1 до хранения вошел в пя-

терку лучших; генотипы Би5дг2×Квидг8-2 и Кви3×П1дг1 – превысили до хранения по продуктивности один стандарт.

Общий средний выход овощной продукции после хранения составил 48,35%.

Шесть генотипов: П1дг4-II×Би5дг2; Би5дг2-I×П2дг7; Би5дг2×П1дг8-1; Би5дг2-1×П1дг4-1; П1дг4-II×Би5дг2-2 и Би5×П2дг7 рекомендованы для расширенного испытания и отбора перспективных гибридов с комплексом хозяйственно-ценных признаков, включая устойчивость к килe, для передачи на Государственное сортоиспытание. Из них 3 генотипа П1дг4-II×Би-5дг2-2, Би5×П2дг7 и Би5дг2×П1дг8-1 дополнительно показали хорошую пригодность к длительному хранению.

Для дополнительных испытаний на пригодность к длительному хранению рекомендованы 5 гибридных комбинаций с минимальным поражением болезнями и потерей массы: Кви3×П1дг1, Би5дг2×Квидг8-2, П1дг5-II×Би5дг2, Кви10×П1дг5 и П1дг5×Би5дг2.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением 075-15-2023-220 на поддержку программы развития университета «Приоритет-2030».

Список литературы

1. Артемьева, А. М., & Соловьева, А. Е. (2018). Генетическое разнообразие и биохимическая ценность капустных овощных растений рода Brassica L. *Вестник НГАУ. Биология*, *(4)*, 50–61. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-50-61
2. Заставнюк, А. Д., Монахос, Г. Ф., & Монахос, С. Г. (2023). Получение и оценка селекционного материала для создания F1 гибридов капусты пекинской (B. rapa ssp. pekinensis) с устойчивостью к стрессовым факторам. *Овощи России*, *(4)*, 13–22. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-13-22
3. Заставнюк, А. Д., Монахос, Г. Ф., Вишнякова, А. В., Миронов, А. А., & Монахос, С. Г. (2022). Генотипирование устойчивости к килe и оценка комбинационной способности капусты пекинской. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, *(5)*, 77–91. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-77-91
4. Иванова, М. И., Янченко, Е. В., Янченко, А. В., & Вирченко, И. И. (2021). Качество и оптимальный срок лежкости капусты белокочанной поздне-

го срока созревания. *Техника и технология пищевых производств*, *51*(4), 690–700. http://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-690-700

5. Монахос, Г. Ф., & Монахос, С. Г. (2009). *Капуста пекинская Brassica rapa L.Em. Metzg. ssp. pekinensis (Lour.) Hanelt. Биологические особенности, генетика, селекция и семеноводство:* монография. Москва: Издательство РГАУ-МСХА.
6. Монахос, С. Г., Воронина, А. В., Байдина, А. В., & Зубко, О. Н. (2019). Селекция растений на устойчивость – основа защиты от болезней в органическом земледелии. *Картофель и овощи*, *(6)*, 38. https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009
7. Akpolat, H., & Barringer, S. A. (2015). The effect of pH and temperature on cabbage volatiles during storage. *Journal of Food Science*, *80*(8), S1878–S1884. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12939
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). Crops and livestock products: Production quantities of cabbage and other brassicas by country. Retrieved July 18, 2022, from https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize
9. Kim, S., & Rho, H. Y. (2022). The effects of climate change on heading-type Chinese cabbage (Brassica rapa L. ssp. pekinensis) economic production in South Korea. *Agronomy*, *12*(12), 3172. https://doi.org/10.3390/agronomy12123172
10. Kramchote, S., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., & Kanlayanarat, S. (2012). Low temperature storage maintains postharvest quality of cabbage (Brassica oleraceae var. capitata L.) in supply chain. *International Food Research Journal*, *19*(2), 759–763. Retrieved from http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/12128
11. Lee, D. S., et al. (2015). Effect of cold storage on the contents of glucosinolates in Chinese cabbage (Brassica rapa L. ssp. pekinensis). *South Indian Journal of Biological Sciences*, *1*(1), 38–42. https://doi.org/10.22205/sijbs/2015/v1/i1/100441
12. Li, C. W., et al. (1981). The origin, evolution, taxonomy and hybridization of Chinese cabbage. In *Proceedings of the First International Symposium on Chinese Cabbage* (pp. 3–10). AVRDC Publication. Retrieved from https://avrdc.org/publications/proceedings-series/
13. Park, S. H., Cho, H. R., Lee, S. B., Kim, G. K., & Lee, J. S. (2019). Practical cultivation guidelines for kimchi cabbage. Rural Development Administration. Retrieved August 23, 2022, from https://www.nongsaro.go.kr/portal/
14. Porter, K. L., Klieber, A., & Collins, G. (2003). Chilling injury limits low temperature storage of 'Yuki' Chinese cabbage. *Postharvest Biology and Technology*, *28*(1), 153–158. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00144-8

15. Porter, K. L. (2004). The postharvest physiology of Chinese cabbage cv. 'Yuki'. Doctoral dissertation, University of Adelaide, Australia. Retrieved from https://hdl.handle.net/2440/22065
16. Qi, X., An, H., Ragsdale, A. P., Hall, T. E., Gutenkunst, R. N., Chris Pires, J., & Barker, M. S. (2017). Genomic inferences of domestication events are corroborated by written records in Brassica rapa. *Molecular Ecology*, *26*(13), 3373–3388. https://doi.org/10.1111/mec.14131
17. Ren, W., et al. (2020). Utilization of Ogura CMS germplasm with the clubroot resistance gene by fertility restoration and cytoplasm replacement in Brassica oleracea L. *Horticulture Research*, *7*, Article number: 156. https://doi.org/10.1038/s41438-020-0282-8
18. Studstill, D., Simonne, E., Brecht, J., & Gilreath, P. (2007). Pepper spot ("gomasho") on napa cabbage. University of Florida, IFAS Extension Fact Sheet HS352. Retrieved from http://edis.ifas.ufl.edu/HS352
19. Sun, X. X., et al. (2018). Genetic analysis of Chinese cabbage reveals correlation between rosette leaf and leafy head variation. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1455. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01455
20. Yuan, J., Shen, C., Yuan, R., et al. (2021). Identification of genes related to tipburn resistance in Chinese cabbage and preliminary exploration of its molecular mechanism. *BMC Plant Biology*, *21*, 1–12. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z
21. Yu, Y. J., Zhao, X. Y., & Xu, J. B. (2002). Screening method for resistance to tipburn in Chinese cabbage. In *XXVI International Horticultural Congress: Advances in Vegetable Breeding* (No. 637, pp. 189–193). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.637.22

References

1. Artemyeva, A. M., & Solovieva, A. E. (2018). Genetic diversity and biochemical value of vegetable plants of the genus Brassica L. *Bulletin of NSTU. Biology*, *(4)*, 50–61. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2018-49-4-50-61
2. Zastavnyuk, A. D., Monakhos, G. F., & Monakhos, S. G. (2023). Creation and evaluation of breeding material for developing F1 hybrids of Chinese cabbage (Brassica rapa ssp. pekinensis) resistant to stress factors. *Vegetables of Russia*, *(4)*, 13–22. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-13-22
3. Zastavnyuk, A. D., Monakhos, G. F., Vishniakova, A. V., Mironov, A. A., & Monakhos, S. G. (2022). Genotyping clubroot resistance and evaluating combining ability in Chinese cabbage. *Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy*, *(5)*, 77–91. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-77-91

4. Ivanova, M. I., Yanchenko, E. V., Yanchenko, A. V., & Virchenko, I. I. (2021). Quality and optimal shelf life of late-maturing white cabbage. *Food Industry Technologies*, *51*(4), 690–700. http://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-690-700
5. Monakhos, G. F., & Monakhos, S. G. (2009). Chinese cabbage (Brassica rapa L. Em. Metzg. ssp. pekinensis (Lour.) Hanelt). Biological characteristics, genetics, breeding and seed production. Moscow: Publishing house of RGAA-MSAU.
6. Monakhos, S. G., Voronina, A. V., Baydina, A. V., & Zubko, O. N. (2019). Breeding for disease resistance as a foundation for pest control in organic farming. *Potatoes and Vegetables*, *(6)*, 38. https://doi.org/10.25630/PAV.2019.92.83.009
7. Akpolat, H., & Barringer, S. A. (2015). The effect of pH and temperature on cabbage volatiles during storage. *Journal of Food Science*, *80*(8), S1878–S1884. https://doi.org/10.1111/1750-3841.12939
8. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2022). Crops and livestock products: Production quantities of cabbage and other brassicas by country. Retrieved July 18, 2022, from https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize
9. Kim, S., & Rho, H. Y. (2022). The effects of climate change on heading-type Chinese cabbage (Brassica rapa L. ssp. pekinensis) economic production in South Korea. *Agronomy*, *12*(12), 3172. https://doi.org/10.3390/agronomy12123172
10. Kramchote, S., Srilaong, V., Wongs-Aree, C., & Kanlayanarat, S. (2012). Low temperature storage maintains postharvest quality of cabbage (Brassica oleraceae var. capitata L.) in supply chain. *International Food Research Journal*, *19*(2), 759–763. Retrieved from http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/12128
11. Lee, D. S., et al. (2015). Effect of cold storage on the contents of glucosinolates in Chinese cabbage (Brassica rapa L. ssp. pekinensis). *South Indian Journal of Biological Sciences*, *1*(1), 38–42. https://doi.org/10.22205/sijbs/2015/v1/i1/100441
12. Li, C. W., et al. (1981). The origin, evolution, taxonomy and hybridization of Chinese cabbage. In *Proceedings of the First International Symposium on Chinese Cabbage* (pp. 3–10). AVRDC Publication. Retrieved from https://avrdc.org/publications/proceedings-series/
13. Park, S. H., Cho, H. R., Lee, S. B., Kim, G. K., & Lee, J. S. (2019). Practical cultivation guidelines for kimchi cabbage. Rural Development Administration. Retrieved August 23, 2022, from https://www.nongsaro.go.kr/portal/
14. Porter, K. L., Klieber, A., & Collins, G. (2003). Chilling injury limits low temperature storage of 'Yuki' Chinese cabbage. *Postharvest Biology and Technology*, *28*(1), 153–158. https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00144-8
15. Porter, K. L. (2004). The postharvest physiology of Chinese cabbage cv. 'Yuki'. Doctoral dissertation, University of Adelaide, Australia. Retrieved from https://hdl.handle.net/2440/22065

16. Qi, X., An, H., Ragsdale, A. P., Hall, T. E., Gutenkunst, R. N., Chris Pires, J., & Barker, M. S. (2017). Genomic inferences of domestication events are corroborated by written records in Brassica rapa. *Molecular Ecology*, *26*(13), 3373–3388. https://doi.org/10.1111/mec.14131
17. Ren, W., et al. (2020). Utilization of Ogura CMS germplasm with the clubroot resistance gene by fertility restoration and cytoplasm replacement in Brassica oleracea L. *Horticulture Research*, *7*, Article number: 156. https://doi.org/10.1038/s41438-020-0282-8
18. Studstill, D., Simonne, E., Brecht, J., & Gilreath, P. (2007). Pepper spot ("gomasho") on napa cabbage. University of Florida, IFAS Extension Fact Sheet HS352. Retrieved from http://edis.ifas.ufl.edu/HS352
19. Sun, X. X., et al. (2018). Genetic analysis of Chinese cabbage reveals correlation between rosette leaf and leafy head variation. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1455. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01455
20. Yuan, J., Shen, C., Yuan, R., et al. (2021). Identification of genes related to tipburn resistance in Chinese cabbage and preliminary exploration of its molecular mechanism. *BMC Plant Biology*, *21*, 1–12. https://doi.org/10.1186/s12870-021-03303-z
21. Yu, Y. J., Zhao, X. Y., & Xu, J. B. (2002). Screening method for resistance to tipburn in Chinese cabbage. In *XXVI International Horticultural Congress: Advances in Vegetable Breeding* (No. 637, pp. 189–193). https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.637.22

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Заставнюк Анастасия Дмитриевна, аспирант кафедры ботаники селекции и семеноводства садовых растений
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Российская Федерация
a.zastavnuk@rgau-msha.ru

Монахос Григорий Федорович, канд. с.-х. наук, генеральный директор
ООО «Селекционная станция имени Н.Н. Тимофеева»
ул. Пасечная, 5, г. Москва, 127550, Российская Федерация
breedst@mail.ru

Монахос Сократ Григорьевич, д-р с.-х. наук, профессор РАН, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Российская Федерация
s.monakhos@rgau-msha.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasiya D. Zastavnyuk, post-graduate student, Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation
a.zastavnuk@rgau-msha.ru
SPIN-code: 3976-0659
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4115-0606
ResearcherID: ADP-6159-2022

Grigoriy F. Monakhos, PhD (Ag), Chief Executive Officer
Breeding Station named after N.N. Timofeev Ltd.
5, Pasechnaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation
breedst@mail.ru
SPIN-code: 3741-6845
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6603-6933

Sokrat G. Monakhos, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation
s.monakhos@rgau-msha.ru
SPIN-code: 7130-9663
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9404-8862
ResearcherID: L-5962-2013

Поступила 02.07.2024 Received 02.07.2024
После рецензирования 25.07.2024 Revised 25.07.2024
Принята 07.08.2024 Accepted 07.08.2024

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1075 **EDN: OIJERN**
UDC 547.95:574.5



Original article

THE IMPACT OF ORGANIC RESIDUES ON LEAD ADSORPTION IN TWO TYPES OF CALCAREOUS SOILS

A.J. Mohammed, S.J. Fakher

Abstract

The experiment was conducted in the laboratories of the University of Agriculture in Basra University. The study included investigating the behavior of lead adsorption in soil samples at equilibrium conditions and factors affecting adsorption by organic residues (animal and plant) Soil samples were taken from two different locations in Basra State (Al-Zubair and Kutayban). A laboratory experiment was conducted in which five volumes of mg L^{1-} of lead (20-40-80-160-200) were added to each soil sample, with three modified for the Langmuir and Freundlich equations of the adsorption system was used to describe the nature of lead adsorption in the soil sample under investigation. The study concluded that the rate of adsorption increased with increasing amount of lead added, and the change in soil adsorption capacity was responsible for differences in chemical and physical properties of experimental soil of the species, represented by calcium carbonate concentration, organic matter, clay content and type, pH, and ionic strength.

Keywords: Wheat straw; Cow manure; Langmuir; Freundlich

For citation. Mohammed, A. J., & Fakher, S. J. (2025). The impact of organic residues on lead adsorption in two types of calcareous soils. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 229–245. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1075

Introduction

Heavy metals are considered one of the most dangerous substances present in soil due to their long-term persistence without degradation. Heavy

metals exist as natural components in the earth's crust and are non-biodegradable, tending to become pollutants for various living organisms in the environment [1]. One of the most important forms of heavy metals in soil is the readily available form, as it determines the extent of its impact on soil pollution and is the easiest form to be absorbed by plants. It also determines the effectiveness of ions in pollution and their entry into the food chain, affecting the health of both humans and wildlife [2]. The increase in heavy metal elements in the environment is attributed to the non-degradation of these elements, leading to their persistence in the environment [3]. Environmental pollution is one of the world's most serious problems, especially in developing countries, the agricultural use of untreated wastewater, the use of agricultural fertilizer and car exhaust, among the main sources of environmental pollution. These materials may contain heavy elements that may be toxic or have a detrimental impact on plants and depend on the nature of the elements and their bioavailability [4]. (Uddin, 2017) pointed out that concentrations of heavy metals such as lead, nickel, and cadmium increase in soils near industrial facilities such as oil refineries and power plants [5] . Due to poorly studied agricultural practices, some substances and chemicals used in agriculture are the main sources of heavy metals in the soil [6].

The risk of heavy metals in soil and water is based on the fact that these compounds are not biodegradable, unlike naturally occurring pollutants which decompose in the environment, these pollutants are dormant released in the environment accumulating and degrading Sources include automobile emissions, mineral refining, coal and chemical manufacturing , airborne lead dust, pesticides agricultural uses, and contaminated water for irrigation Lead is a heavy metal with low corrosion resistance and easy coating. It can be combined with other materials to make alloys [7]. Lead is considered an environmental pollutant, and its sources include battery manufacturing, power lines and pipes and other industrial applications. Coatings containing lead in soil, as well as lead-containing fuels, engine oils, pesticides and incinerators contribute to lead pollution [8]. Facinelli et al. (2001) clarified that naturally occurring and continuously low heavy elements resulting from weathering and pedogenic processes in the parent rocks [9,10]. Lead Pb melts at 327.5°C [11]. It has group 14, period 6 in the periodic table, and has a dark gray color, atomic number 42, density 11.34 g $(cm^3)^{-1}$, atomic weight 207.2 g mol^{-1}, and boiling point of 1749°C [12]. Lead is considered as one of the hazardous elements in the environment,

which has a significant impact on human health, causes diseases and does not contribute to any basic functions in the body [13]. Makino *et al*. (2010) highlighted that soil and water pollution occurs without appropriate solutions and treatments for mining, industrial and waste disposal, affecting agriculture and ecosystems [14]. Adsorption is defined as the accumulation of a substance at the interface between a solid phase and an aqueous solution, and operates in most biological, chemical, and biological environmental systems, controlling reactions and properties weight of the soil [15]. The adsorption concept is widely used and currently considered as one of the best methods because of its low cost and efficiency [16,17,18,19]. The adsorption of heavy metals involves multiple processes, including ion exchange and specific and nonspecific adsorption. Moreover, two types of forces affect adsorption (chemical and physical forces). Physical properties include van der Waals and ion exchange, while chemical forces include ionic or covalent interactions. Differences in soil texture have an important effect on the presence of ready-made lead in the soil. Al-Kudor *et al*. (2017) showed that the amount of lead adsorbed in sandy soils is much lower than that adsorbed on the surface of clay soil particles and this is due to the increased cation exchange capacity (CEC) of clay soils [20]. The characteristics of clay minerals also affect the composition of lead in soils, compared to other minerals, illite minerals show a strong affinity for the adsorption of lead Using thermosymmetric adsorption isotherms can reveal the amount of material clay adsorb in equilibrium revealed, which can be mathematically described by the thermal so isotropy equation [21] .

Material and method

Soil samples had been accrued at an intensity of zero–30 cm from web sites in Basra Governorate, Al-Zubair (sandy loam) and Kutayban (clay loam), with exceptional chemical and physical residences. The soil samples have been air-dried, then gravel and impurities had been removed, accompanied by way of grinding and sieving through a sieve with a diameter of two mm openings. Some initial soil properties had been measured, as shown in table 1. Two types of organic residues, animal residues (cow manure) and plant residues (wheat straw) were selected and fermented for 90 days. After the end of fermentation period, these residues were air-dried and after the drying process was completed, and sieving through a sieve with a diameter of one (mm) openings and some chemical analyses were conducted, as shown in table (2).

Table 1.

Some physical and chemical properties of the studied soil

Properties	Soil		Unit
	Al-Al-Zubair T1	Kutayban T2	
pH	7.60	7.45	-
Ec	4.72	5.00	ds m^{-1}
CEC	10.12	20.22	C $mole^{+}$ kg^{-1}
O.M	3.75	5.62	g kg^{-1}
Carbonate minerals	291.51	372	g kg-1
Dissolved positive Ions			
Ca^{+2}	7.92	14.38	mmol L^{-1}
Mg^{+2}	6.79	5.52	
Na^{+}	17.25	6.5	
K^{+}	1.25	3.74	
Dissolved negative Ions			
SO_4^{-2}	8.91	13.37	mmol L^{-1}
Cl^{-}	30.72	19.5	
HCO_3^{-}	1.30	3.52	
CO_3^{-}	0	0	
Soil particle size			
Clay	90.31	136	gm kg^{-1}
Silt	50.48	419.2	
Sand	860	445	
Texture	Sandy loam	Silty loam	-

Table 2.

The chemical properties of the organic materials (plant residues and Cow manure) that have undergone fermentation

Properties	Wheat straw	Cow manure	Unit
pH	7.81	6.80	-
EC	4.5	6.9	ds m^{-1}
O.M	606.72	530.5	g kg^{-1}
Total organic Carbone	351.90	307.71	g kg^{-1}
Total N	24.5	19.20	g kg^{-1}
Total P	1.92	8.5	g kg^{-1}
C/N	14.36	16.03	-
C/P	183.28	36.20	-

The adsorption test turned into performed to observe the adsorption of lead within the look at soil. Based at the variant in lead content material, 2 grams

of every soil pattern were taken after the incubation length of the studied soil samples with ranges of animal residues (cow manure) and plant residues (wheat straw). They have been located in 100 ml plastic tubes, and degrees of lead (20-40-80-100- 160-200) mg L^{1-} of lead have been introduced to each soil sample. The volume became then finished with distilled water to 50 ml. These units were repeated for every soil pattern, and the tubes had been sealed and shaken for 2 hours on a mechanical shaker at a temperature of 25°C for each soil pattern one by one. This resulted in a complete of 081 experimental units (2 x 5 x 2 x3 x3) (soil kind * lead degrees * sort of residues * residue level * replicates).

After every shaking duration, the soil pH response of the solution changed into measured, and the equilibrium solution changed into separated from the soil by filtration. The lead attention turned into determined using atomic absorption spectrophotometers (A.A.S.). Then, the amount of adsorbed lead on the soil surface was calculated using the following formula:

$$\mathbf{q = (C0 – C)\ XV/W}$$

The amount of lead adsorbed per unit surface (q) in µg gm^{-1}. CO: Initial lead concentration in mg L^{-1}. C: Lead concentration in the equilibrium solution in mg L^{-1}. V: Total extraction solution volume. W: Soil weight in grams.

To recognize the character of lead adsorption and describe it mathematically, and given the general pollutants publicity of Basra soils and agricultural soils in particular, the intention of this have a look at is to check the impact of available herbal substances (natural residues) at the adsorption and launch of lead, lessen its harmful impact on soil and plants, and develop an green mathematical description of lead dynamics, figuring out the adsorption constants in line with adsorption equations. Langmuir Equation: This equation, evolved by using scientist Langmuir in 1918, is one of the only and most widely carried out equations to describe thermal symmetry adsorption. It assumes that adsorption occurs in a single layer of molecules on a homogeneous adsorbed surface, wherein the adsorption power is the same for all web sites. Once an element occupies websites at the adsorbed material, no different elements take their region. Additionally, the attraction forces among molecules lower with distance, and there aren't any side reactions between the adsorbed elements on the web sites. Freundlich Equation: This equation turned into developed by the scientist Freundlich in 1959 to describe gas adsorption on strong surfaces with a view to calculate the Freundlich constant value. The Freundlich equation became used to explain ion adsorption, at the same time as the Langmuir equation failed to describe adsorption experiments for some ions [22]. This equation is one of the adsorption equations applied to multilayer adsorption, assuming that the

adsorption cloth floor consists of non-homogeneous sites, supplying an expression that determines the surface heterogeneity and the regular distribution of lively web sites and their energies. The replacement technique happens at the strongest binding energy web sites first, until the adsorption strength decreases drastically upon of entirety of the adsorption technique. Apply a Langmuir isotherm model for thermal symmetry adsorption on lead ion data and use the linear equation with the following formula:

$$q\_m = (q_m K_L C_e)/(1 + K_L C_e)$$

K_L: Langmuir constant representing the adsorption energy and binding in gm/ml. q_m: Maximum adsorption capacity in mg gm^{-1}.

The adsorption data was then applied to the Freundlich thermal symmetry equation. This equation is commonly used to describe the adsorption process in aqueous solutions and is as follows:

$$q_e = K_f C_e \frac{1}{n}$$

q_e: The amount adsorbed of ions per unit mass. K_f: Freundlich constant gm ml^{-1} representing the adsorption capacity of non-homogeneous surfaces $\frac{1}{n}$: Freundlich constant

Results and discussion

The consequences acquired from tables 3 and 4 indicated that the amount of adsorbed lead varied depending on the preliminary lead awareness, the quantity and form of introduced materials, and the traits of the observe soils. In preferred, the amount of adsorbed lead elevated with the boom inside the delivered lead amount, and the soil homes had a clean impact on figuring out the adsorbed quantity of lead on the floor in addition to the concentration of residual lead in the equilibrium answer. It became located that the variation in the amount of lead adsorbed by means of the soil was related to the chemical and bodily houses and the brought materials to these soils. The results highlighted the role of the initial concentration of the study soil samples in the efficiency of adsorption on the surfaces of added plant residues and animal residues. The adsorbed quantity improved with the increase within the delivered preliminary awareness for the have a look at soils and all brought materials, with the very best adsorbed fee (196.77) µg $gm^{-1}$of lead recorded for Kutayban soil with cow manure residues at an initial awareness of two hundred mg L^{-1}, even as the bottom adsorbed amount (16.90) µg gm-^{1} of lead changed into for Kutayban soil with the control remedy at a preliminary awareness of 20 mg L^{-1}. The adsorbed quantity of lead varied with special soils, brought materials, and preliminary concentrations, with the subsequent collection in growing adsorbed amount:

cow manure residues > wheat straw > control, with common values of ninety-eight.372, ninety-six.076, 89.752, and ninety-eight.48, 98.22, 88.11 for Al-Zubair and Kutayban soils, respectively.

Table 3.

The added and adsorbed quantities of lead and their percentage in the adsorption experiment for Al-Zubair soil

Coefficient	Con. Initial added Pb mg L^{-1}	Con. of adsorbed lead µg gm^{-1}	Per. Absorbed Pb (%)	Coefficient	Con. Initial added Pb mg L^{-1}	Con. of adsorbed lead µg gm^{-1}	Per. Absorbed Pb (%)
Comparative 0 ton ha^{-1}	20	18.22	91.1	Comparative 0 ton ha^{-1}	20	18.22	91.1
	40	25.95	64.87		40	25.95	64.87
	80	75.72	94.65		80	75.72	94.65
	160	140.20	87.62		160	140.20	87.62
	200	188.67	94.33		200	188.67	94.33
Average	100	89.752	86.514	Average	100	89.752	86.514
Wheat straw 20 tons ha^{-1}	20	19.64	98.20	Cow manure 40 tons ha^{-1}	20	19.35	96.79
	40	38.71	96.79		40	39	97.5
	80	77.43	96.79		80	78.38	97.98
	160	156.28	97.67		160	156.34	97.71
	200	187.32	93.66		200	196.25	98.12
Average	100	95.876	96.622	Average	100	97.864	97.62
Wheat straw 40 tons ha^{-1}	20	19.62	98.14	Cow manure 20 tons ha^{-1}	20	19.71	98.59
	40	39.03	97.59		40	39.52	98.81
	80	78.19	97.74		80	78.51	98.14
	160	154.79	96.74		160	157.39	98.37
	200	188.75	94.37		200	196.73	98.36
Average	100	96.076	96.916	Average	100	98.372	98.454

The exchange in the preliminary awareness of lead has an impact on the efficiency of adsorption, as a boom within the initial awareness of the detail creates an increase in the adsorption solution concentration, which in flip will increase the solution strain at the adsorption fabric and encourages ions to search for adsorption sites, whether or not superficial or in the pores of the adsorption cloth. This boom in adsorption on plant material surfaces might not reach the saturation factor of binding sites, as concentrations may not be enough to saturate all sites, meaning that the adsorption sites exceed the solution's capacity to fill active web sites effectively [23]. Previous studies have indicated that a lower

in the share of adsorption with a growth within the initial awareness does not always mean a lower inside the adsorbed amount. Instead, there is an increase inside the adsorbed quantity with a growth in the preliminary awareness, but this increase in adsorption does now not immediately correlate with the increase in the preliminary awareness. Doubling the preliminary attention does now not necessarily double the adsorption quantity; it can be much less than double, explaining the decrease in the percentage of adsorption [24].

Table 4.

The added and adsorbed quantities of Pb and their percentage in the adsorption experiment for Kutayban soil

Coefficient	Con. Initial added Pb mg L^{-1}	Con. of adsorbed Pb µg gm^{-1}	Per. Absorbed Pb (%)	Coefficient	Con.Initial added Pb mg L^{-1}	Con. of adsorbed Pb µg gm^{-1}	Per. Absorbed Pb (%)
Comparative 0 ton ha^{-1}	20	16.90	84.5	Comparative 0 ton ha^{-1}	20	16.90	84.5
	40	30.45	76.12		40	30.45	76.12
	80	70.65	88.31		80	70.65	88.31
	160	132.44	82.77		160	132.44	82.77
	200	190.11	95.05		200	190.11	95.05
Average	100	88.11	85.35	Average	100	88.11	85.35
Wheat straw 20 tons ha^{-1}	20	19.58	97.9	Cow manure 40 tons ha^{-1}	20	19.59	97.99
	40	39.48	98.71		40	39.54	98.85
	80	78.40	98.00		80	78.77	98.47
	160	157.20	98.25		160	157.74	98.58
	200	196.44	98.22		200	196.76	98.38
Average	100	98.22	98.216	Average	100	98.48	98.454
Wheat straw 40 tons ha^{-1}	20	19.63	98.19	Cow manure 20 tons ha^{-1}	20	19.561	97.80
	40	39.52	98.80		40	39.46	98.66
	80	77.42	96.77		80	78.40	98.00
	160	156.31	97.69		160	132.25	98.28
	200	195.51	97.75		200	196.77	98.38
Average	100	97.678	84.5	Average	100	98.288	98.224

After subjecting the facts to these equations, the consequences showed that everyone equations succeeded in describing the facts for the studied soil samples by means of calculating the coefficient of determination (R^2) as in keeping with table 5. However, the equations differed inside the linear system in providing the first-class description of the information thru the connection among

the real and calculated adsorbed amounts. Therefore, the fulfillment of these equations for the studied soils in describing the adsorption reactions indicates that those elements are bound to adsorption sites on every surface, which might also include all adsorption techniques described by these equations however with varying proportions of these sites and bindings on every surface. This way that there may be a mixture of adsorption websites with one of a kind proportions that bind the element to the site. For example, as Langmuir assumes, there are precise and homogeneous adsorption sites in power with marginal interplay between the adsorbed molecules and the cloth web sites. Additionally, there is an adsorption surface characterized through having adsorption websites with various strength distributions with interactions among the adsorbed molecules and within the form of more than one layers as described by way of the Freundlich equation [25].

Table 5.

Coefficient of determination (R^2) values for the specific linear equations describing lead adsorption in the soil samples of the study

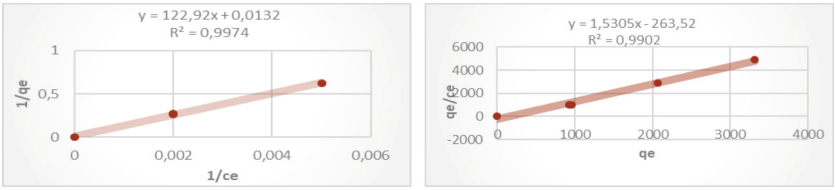
Cow manure			Wheat straw		
Linear Formulas					
Soil Type	**Equations**	**R^2**	**Soil Type**	**Equations**	**R^2**
Al-Al-Zubair	Langmuir I	0.882	Al-Al-Zubair	Langmuir I	0.861
	Langmuir II	0.997		Langmuir II	0.991
	Langmuir III	0.942		Langmuir III	0.963
	Langmuir IV	0.990		Langmuir IV	0.909
	Freundlich	0.999		Freundlich	0.914
Kutayban	Langmuir I	0.898	Kutayban	Langmuir I	0.992
	Langmuir II	0.903		Langmuir II	0.915
	Langmuir III	0.919		Langmuir III	0.924
	Langmuir IV	0.935		Langmuir IV	0.963
	Freundlich	0.931		Freundlich	0.971

For the cause of comparing the take a look at of lead adsorption in a few soils of Basra Governorate (Al-Zubair and Kutayban), the maximum usually and comprehensively used equations for reading adsorption reactions, Freundlich and Langmuir, had been examined. These equations obtained excessive determination values (R^2) in describing the character of lead adsorption in the studied soils with the aid of calculating the constants of those equations, as proven in table 5. The Freundlich equation stood out, with all R^2 values being tremendously large for Al-Zubair soil at zero.999, while the Langmuir equa-

tion yielded the very best willpower coefficient of zero.997 for Kutayban soil. From this, it can be concluded that the 2 equations were quite near, with a mild superiority of the Freundlich equation in presenting an outline of the nature of lead adsorption.

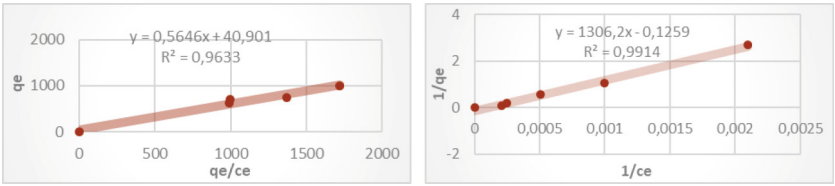
The results showed (Fig.1, 2, 3(B), 4,5(A)) it's miles glaring that the Langmuir equation excelled in its linear shape in reaching the satisfactory description of the studied information for all equations regarding animal and plant residues used, except (Fig. 3(A)) for one coefficient from the full of all coefficients. This unique coefficient included the response of lead with cow manure residues in Al-Zubair soil, where the Freundlich equation outperformed in supplying the first-class description of the data by achieving the very best willpower coefficient of zero.999 compared to the other equations used for lead adsorption on the surfaces of brought materials. On the alternative hand, the Langmuir equation with the second one (Fig. 1(B)) assumption yielded a dedication coefficient of zero.997 for Al-Zubair soil. This equation (Langmuir) assumes that adsorption takes place in a unmarried layer with partial bonding, and adsorption handiest occurs at a consistent wide variety of unique sites which might be same and equivalent, without a lateral interaction and steric dilemma among the adsorbed molecules, even with adjacent web sites [26].

The Langmuir equation, in its assumptions, indicates that adsorption is homogeneous and that each molecule possesses capacity energies (enthalpies) and adsorptive activation energy (all web sites have equal affinities for adsorption) and not using a migration of the adsorption material on the surface stage. On the other hand, the Freundlich equation envisions adsorption in a couple of layers with irregular warmth and affinity distribution on a heterogeneous floor, not like Langmuir, which requires a homogeneous floor. The achievement of the thermal adsorption equations (Langmuir and Freundlich) in describing the studied statistics is due to the fact that adsorption between heavy factors and the natural residues under take a look at contained more than one styles of bonding due to the one of a kind nature of the web sites, material compositions, heavy elements, and as a result the version in affinities among the web sites and detail ions. This led to unique forms of bonds, which include layers of ion molecules, as defined by way of Langmuir, which accounted for the majority of the bonding, even as there were other bonds that included non-homogeneous and overlapping web sites in power and in a couple of layers, wherein the Freundlich equation succeeded According to the (Fig. 3(A), Fig. 5(B)).



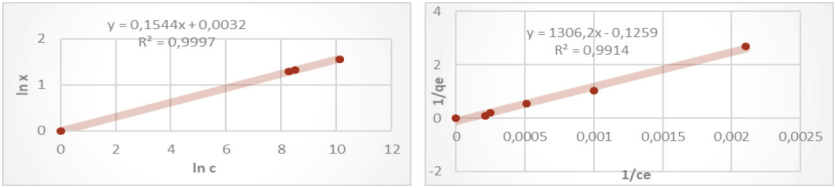
(A) (B)

Fig. 1. (A): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Langmuir (IV) equation on cow manure surfaces. (B): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Langmuir (II) equation on cow manure surfaces



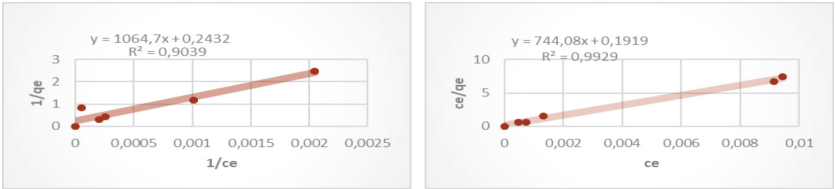
(A) (B)

Fig. 2. (A): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Langmuir (III) equation on wheat straw residue surfaces. (B): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Langmuir (II) equation on wheat straw residue surfaces



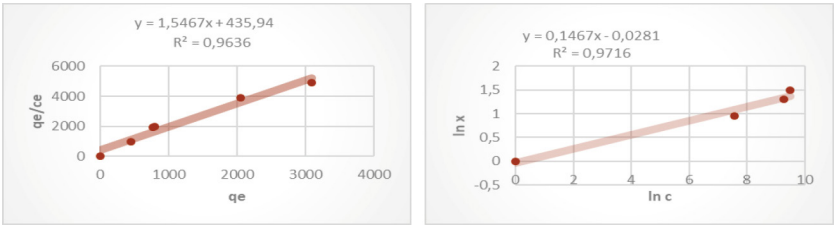
(A) (B)

Fig. 3. (A): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Freundlich equation on cow manure surfaces. (B): The thermal adsorption of lead element in Al-Zubair soil according to the Langmuir (II) equation on wheat straw residue surfaces



(A) (B)

Fig. 4. (A): The thermal adsorption of lead element in Kutayban soil according to the Langmuir (II) equation on cow manure residue surfaces. (B): The thermal adsorption of lead element in Kutayban soil according to the Langmuir (I) equation on wheat straw residue surfaces



(A) (B)

Fig 5. (A): The thermal adsorption of lead element in Kutayban soil according to the Langmuir (**IV**) equation on wheat straw residue surfaces. (B): The thermal adsorption of lead element in Kutayban soil according to the Freundlich equation on wheat straw residue surfaces.

The constants of the Freundlich equation, as shown in Table 6, 1/n and Kf, represent the adsorption density and capability in succession. Where 1/n measures the density of trade or surface heterogeneity. According to theory, adsorption situations are favorable if the Freundlich consistent is less than 1 [27]. Indicated that the adsorption technique for values < n 1 suggests favorable adsorption situations that in shape surfaces with excessive variability in properties, which means that this adsorption process is fine defined through the Freundlich equation. The consistent Kf represents the distribution consistent, or adsorption capability. The values of this regular ranged from the lowest adsorption restriction of 1.002 ml g^{-1} for the manage treatment to the best restriction of one 0.244 ml g^{-1} for cow manure residues for lead in Al-Zubair soil. In comparison, Kutayban soil had a lower adsorption capacity limit of 1.0055 ml g-1 for the manage treatment and a better adsorption restriction of one 0.61 ml g^{-1} for cow manure residues for lead. This demonstrates the excessive adsorption ability of cow manure residues in casting off lead from infected soils, and the adsorption floor's susceptibility varied with the form of delivered materials.

It is believed that the physical surface homes and chemical additives of the adsorption floor may play a position in influencing the nature of the relationship between the adsorption floor and the adsorption cloth. Additionally, it was mentioned Kilislioglu and Bilgin (2003) that the adsorbed amount depends on the equilibrium between the competitive adsorption of ions, ion length, the steadiness of the bond between the element ion and the adsorption fabric, the nature of the detail ions, the adsorption material response, and the distribution of active websites on the adsorption cloth [28]. Despite the similarities between the 2 equations in a few properties, the consistent inside the adsorption description method, as within the Langmuir equation, supports the outcomes obtained

from making use of the Freundlich equation, which is based on heterogeneous floor residences.

To illustrate the effect of adding exceptional tiers of natural residues (wheat straw and cow manure) on lead adsorption, the Langmuir equation changed into utilized by plotting the connection between C/X values in opposition to C values and plotting the connection among Log X against Log C to attain the constants of the Freundlich equation, where Log K represents the intercept and the slope of the directly line represents b. It is evident that both equations provided a great description of lead adsorption thru the big willpower fee (R^2). When surveying the values of the constant n for the Freundlich model, which shows the intensity of adsorption, it changed into located that each one values of this regular are extra than one (1 > n), in line with table 5. This manner, consistent with the belief of adsorption cases, that this sort of interaction is favorable [29]. This may be attributed to the distribution of floor web sites or any aspect that reduces the interference of the adsorbate with the adsorption fabric while the surface depth will increase [30].

Table 6.

Constants of linear heat conduction symmetry models for lead adsorption on organic residues under study

Parameters	Coefficient	Equation	Soil type
K_f=1.0244 ml g^{-1} , n=0.1745	Comparative	Freundlich	Al-Zubair
K_f=1.002 ml g^{-1} , n=0.155	Cow manure		
K_f=1.0086 ml g^{-1} , n=0.2449	Wheat straw		
qm =$(-0.2789)^{-1}$ µg g^{-1} , K_L=0.0001 ml $µg^{-1}$	Comparative	Langmuir I	
qm = $(0.0003)^{-1}$ µg g^{-1} , K_L =0.1875 ml $µg^{-1}$	Cow manure		
qm =$(-1.6593)^{-1}$ µg g^{-1} , K_L=0.0003 ml $µg^{-1}$	Wheat straw		
qm=$(1381.8)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=7003.547 ml $µg^{-1}$	Comparative	Langmuir II	
qm =$(122.92)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=9312.121 ml $µg^{-1}$	Cow manure		
qm =$(1306.2)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=10374.900 ml $µg^{-1}$	Wheat straw		
qm=-174.508 µg g^{-1} , K_F= -0.5062 ml $µg^{-1}$	Comparative	Langmuir III	
qm = -164.037 µg g^{-1} , K_f= -0.4619 ml $µg^{-1}$	Cow manure		
qm = -72.442 µg g^{-1} , K_f= -0.5646 ml $µg^{-1}$	Wheat straw		
qm=-313.39 µg g^{-1} , K_f= $(-3.5567)^{-1}$ ml $µg^{-1}$	Comparative		
qm =263.52 µg g^{-1} , K_f=$(-1.5305)^{-1}$ ml $µg^{-1}$	Cow manure		
qm =33.87 µg g^{-1} , K_f=$(-2.2969)^{-1}$ ml $µg^{-1}$	Wheat straw	Langmuir IV	

K_f =1.0055 ml g^{-1} ,n=0.0911	Comparative	Freun-dlich	Ku-tayban
K_f =1.061 ml g^{-1} , n=0.214	Cow manure		
K_f =1.0284 ml g^{-1} , n=0.1467	Wheat straw		
qm=$(0.0739)^{-1}$ µg g^{-1} ,K_L=0.0002 ml μg^{-1}	Comparative	Langmuir I	
qm =$(0.1889)^{-1}$ µg g^{-1} ,K_L=0.0005 ml μg^{-1}	Cow manure		
qm=$(0.1919)^{-1}$ µg g^{-1} ,K_L=0.0002 ml μg^{-1}	Wheat straw		
qm=$(1175.5)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=9779.534 ml μg^{-1}	Comparative	Langmuir II	
qm =$(1064.7)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=4377.878 ml μg^{-1}	Cow manure		
qm =$(1484.8)^{-1}$ µg g^{-1} , K_f=40021.563 ml μg^{-1}	Wheat straw		
qm= - 505.696 µg g^{-1} ,K_f= -0.941 ml μg^{-1}	Comparative	Langmuir III	
qm = -430.852 µg g^{-1} , K_f= -0.4366 ml μg^{-1}	Cow manure		
qm = -742.769 µg g^{-1} , K_f= -0.3769 ml μg^{-1}	Wheat straw		
qm= 215.35 µg g^{-1} , K_f= $(-2.1796)^{-1}$ ml μg^{-1}	Comparative		
qm = -237.22 µg g^{-1} , K_f= $(-1.9506)^{-1}$ ml μg^{-1}	Cow manure		
qm =435.94 µg g^{-1} , K_f= $(-1.5467)^{-1}$ ml μg^{-1}	Wheat straw	Langmuir IV	

Conclusion

The additives to the study's soil samples of cow residues and wheat straw differed between them in giving values to the constants of adsorption equations (qm and k), where it is observed through the results high values of the binding power coefficient (k) For cow residues and wheat straw, maximum adsorption values decrease(qm) in sandy loam (zubair soils) compared with silty loam (kutayban soils). According to the Langmuir equation (I) , cow residues and wheat straw has a role in improving soil properties, as these equations successfully describe lead adsorption by soil samples and by using additives .It is noted from the results of the study that there is a large and important effect of the chemical and physical properties of the soil in determining the adsorption capacity of the soil, found that the value of the binding energy coefficient (K) of the Freundlich and Langmuir equations showed a positive correlation with the increase in the soil clay content. And calcium carbonate. It can be concluded that increasing the soil content of colloids (clay and silt) significant role in the adsorption of lead by the soil.

Conflict of interest. The authors do not report any financial or personal connections with other persons or organizations.

References

1. Bhagure, G. R., & Mirgane, S. R. (2010). Heavy metal concentrations in groundwaters and soils of Thane region of Maharashtra, India. *Environmen-*

tal Monitoring and Assessment, *173*(1–4), 643–652. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1412-9

2. Abdulateef, A. A., & Naser, K. M. (2021). A study of irrigation water pollution by some heavy metals in Baghdad Governorate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *910*(1), 012091. https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012091
3. Mustafa, G., & Komatsu, S. (2016). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)—Proteins and Proteomics*, *1864*(8), 932–944. https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020
4. Nazli, F., Mustafa, A., Ahmad, M., Hussain, A., Jamil, M., Wang, X., Shakeel, Q., Imtiaz, M., & El-Esawi, M. A. (2020). A review on practical application and potentials of phytohormone-producing plant growth-promoting rhizobacteria for inducing heavy metal tolerance in crops. *Sustainability*, *12*(21), 9056. https://doi.org/10.3390/su12219056
5. Uddin, M. K. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, *308*, 438–462. https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029
6. Duru, M., Nwanekwu, K., Adindu, E., Odika, P. (2012). Heavy metal and bioload levels of Otamiri River, Owerri, Imo State, Nigeria. *Archives of Applied Science Research*, *4*, 1002–1006.
7. Al-Jumaili, M. F., & Ahmed, S. H. (2018). Soil and water pollution. Baghdad, Iraq, 2018, pp. 175–184.
8. WHO. (2018). Global alliance to eliminate lead paint. Retrieved from www.who.int.
9. Fairén, A. G., Davila, A. F., Lim, D., Bramall, N., Bonaccorsi, R., Zavaleta, J., Uceda, E. R., et al. (2010). Astrobiology through the ages of Mars: The study of terrestrial analogues to understand the habitability of Mars. *Astrobiology*, *10*(8), 821–843. https://doi.org/10.1089/ast.2009.0440
10. Facchinelli, A., Sacchi, E., & Mallen, L. (2001). Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environmental Pollution*, *114*(3), 313–324. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00243-8
11. WHO. (2000). The world health report: Health systems—Improving performance. Geneva: World Health Organization. Retrieved from Google Books.
12. Hernberg, S. (2000). Lead poisoning in a historical perspective. *American Journal of Industrial Medicine*, *38*(3), 244–254. https://doi.org/10.1002/1097-0274(200009)38:3<244::AID-AJIM3>3.0.CO;2-F
13. Gopal, R., & Khurana, N. (2011). Effect of heavy metal pollutants on sunflower. *African Journal of Plant Science*, *5*(9), 531–536.

14. Makino, T., Luo, Y., Wu, L., Sakurai, Y., Maejima, Y., Akahane, I., & Arao, T. (2010). Heavy metal pollution of soil and risk alleviation methods based on soil chemistry. *Pedologist*, *53*(3), 38–49.
15. Hayani, A. S. J. Z. A., & Al-Obaidi, M. A. J. (2018). Lead adsorption in some calcareous soils in northern Iraq. *Iraqi Journal of Soil Science*, *18*(1), 240–246.
16. Mishra, S. (2012). Application of granular activated carbon developed from agricultural waste as a natural gas storage vehicle. *International Journal of Engineering and Technology*, *4*(4), 468–470. https://doi.org/10.7763/IJET.2012.V4.412
17. Kwon, J.-S., Yun, S.-T., Lee, J.-H., Kim, S.-O., & Jo, H. Y. (2010). Removal of divalent heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and arsenic(III) from aqueous solutions using scoria: kinetics and equilibria of sorption. *Journal of Hazardous Materials*, *174*(1–3), 307–313. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.052
18. Yadanaparthi, S. K. R., Graybill, D., & Wandruszka, R. von. (2009). Adsorbents for the removal of arsenic, cadmium, and lead from contaminated waters. *Journal of Hazardous Materials*, *171*(1–3), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.103
19. Sparks, D. L., Singh, B., & Siebecker, M. G. (n.d.). *Environmental Soil Chemistry*. Retrieved from Google Books, Elsevier, pp. 297.
20. Al-Qudro, M. B., Ajouri, A., & Miwak, H. M. (2017). Study of cadmium and lead adsorption kinetics in soil using column experiment. *Al-Baath University Journal*, *39*(17), 107–118.
21. Gupta, B. K. S. (1989). Morphology and generic placement of the foraminifer "Anomalina" Wuellerstorfi Schwager. *Journal of Paleontology*, *63*(5), 706–713.
22. Goldberg, S., & Glaubig, R. A. (1985). Boron adsorption on aluminum and iron oxide minerals. *Soil Science Society of America Journal*, *49*(6), 1374–1379. https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900060009x
23. Ali, D. A. M., & Yassin, M. M. (2023). Comparison study for some heavy metals removal by plant residues from its aqueous solutions. *European Scholar Journal*, *4*(8), 1–9.
24. Dávila-Jiménez, M. M., Elizalde-González, M. P., Geyer, W., Mattusch, J., & Wennrich, R. (2003). Adsorption of metal cations from aqueous solution onto a natural and a model biocomposite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *219*(1–3), 243–252. https://doi.org/10.1016/S0927-7757(03)00052-9
25. Soto, M. L., Moure, A., Domínguez, H., & Parajó, J. C. (2011). Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. *Journal of Food Engineering*, *105*(1), 1–27. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.02.010

26. Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, *156*(1), 2–10. https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013
27. Mupa, M. T. (2015). Preparation of rice hull activated carbon for the removal of selected pharmaceutical waste compounds in hospital effluent. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, *7*(8), 1–12. https://doi.org/10.4172/2161-0525.S7-008
28. Ayben Kilislioğlu, & Binay Bilgin. (2003). Thermodynamic and kinetic investigations of uranium adsorption on amberlite IR-118H resin. *Applied Radiation and Isotopes*, *58*(2), 155–160. https://doi.org/10.1016/S0969-8043(02)00316-0
29. Kamari, A., & Ngah, W. S. W. (2009). Isotherm, kinetic and thermodynamic studies of lead and copper uptake by H_2SO_4 modified chitosan. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *73*(2), 257–266. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.05.024
30. Ünlü, N., & Ersoz, M. (2006). Adsorption characteristics of heavy metal ions onto a low-cost biopolymeric sorbent from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, *136*(2), 272–280. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.12.013

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ayat Jasem Mohammed: was responsible for material preparation, data collection and writing the draft.

Salwa Jumaa Fakher: contributed to design the study, analyse the collected data, and write the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ayat Jasem Mohammed, MSc Student, Eng. Agriculture
Ministry of Agriculture, Basra Agriculture Directorate
Independence Str., Al-Ashar, Basra, 60001, Iraq
ayatjasemmohammed@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0003-1016-7760

Salwa Jumaa Fakher, Professor, Lecture, PhD Degree, Department of soil science and Water Resources
University of Basra, College of Agriculture
Baghdad Str., Karma Ali, Basra, 60001, Iraq
salwa.fakher@uobasrah.edu.iq
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8137-5784

Поступила 01.07.2024
После рецензирования 07.08.2024
Принята 26.08.2024

Received 01.07.2024
Revised 07.08.2024
Accepted 26.08.2024

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1048 **EDN: PXYOLA**
УДК 630:116.64

CC BY NC ND

Научная статья

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС И ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А.С. Манаенков, П.М. Подгаецкая, В.Н. Петров

Аннотация

Состояние вопроса. На территории степных малолесных районов Западной Сибири насаждения государственных защитных лесных полос (ГЗЛП) выполняют важную экологическую, социальную и организационно-хозяйственную функцию. Они достигли возраста 52-63 лет, местами распались или теряют жизнеспособность, местами успешно развиваются и, в целом, имеют большую познавательную ценность для развития защитного лесоразведения.

Цель работы – определить современное состояние древостоев, выявить наиболее эффективные приемы их создания и выращивания в широкополосных насаждениях на землях засушливой зоны.

Материалы и методы исследования. Исследования проводились в 2022-2023 гг. на временных пробных площадях с использованием типовых методик таксации насаждений, изучения лесных культур старших возрастов и математической обработки данных полевых наблюдений.

Результаты. Установлено, что закладка насаждений с применением паровой обработки почвы и глубокого рыхления, посадки сеянцев главных пород чистыми рядами через 2,5-3,0 м, себя оправдала. Большое влияние на их развитие оказывает первоначальный породный состав. В сухой степи в смешанных и сложных лиственных насаждениях происходит раннее угнетение роста и выпад главной породы: *Betula pendula, Populus ×sibirica, Ulmus laevis*.

Острую конкуренцию им составляют *Acer negundo* и, особенно, *Malus baccata,* растущая как во внутренних, так и в опушечных рядах. Вырубка этих пород в среднем возрасте не дает положительного эффекта. Лучше растут и дольше сохраняют жизнеспособность чистые насаждения как лиственных, так и хвойных пород. Целесообразность создание широких полос из *Ulmus parvifolia*, а также его использование как спутника нуждается в дополнительном изучении.

Заключение. При создании защитных насаждений в сухой степи использование агрессивных пород в качестве примеси, подлеска и опушек следует исключать. На каштановых почвах большую перспективу имеет разведение чистых культур *Pinus silvestris*, на темно-каштановых – *Pinus silvestris* и *Larix sibirica*. На черноземах региона устойчивым ростом и большой жизнеспособностью обладают чистые древостои как лиственных, так и хвойных пород. Хвойные древостои отличаются большей долговечностью и товарной ценностью.

В настоящее время большая часть насаждений ГЗЛП нуждается в санитарно-селективных рубках, направленных на улучшение их состояния, условий роста и возобновления долговечных пород.

Ключевые слова: атмосферные осадки; каштановые почвы; темно-каштановые почвы; южные черноземы; широкополосные насаждения; породный состав; перспектива использования пород

Для цитирования. Манаенков, А. С., Подгаецкая, П. М., & Петров, В. Н. (2025). Современное состояние насаждений государственных защитных лесных полос и проблемы защитного лесоразведения на юге Западной Сибири. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 246-266. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1048

Original article

CURRENT STATE OF PLANTATIONS OF STATE PROTECTIVE FOREST STRIPS AND PROBLEMS OF PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

A.S. Manaenkov, P.M. Podgaetskaya, V.N. Petrov

Abstract

Background. On the territory of the steppe low-forest areas of Western Siberia, plantations of state protective forest strips perform an important ecological, social, organizational and economic function. They have reached the age of 52-63 years,

in some places they have disintegrated or are losing viability, in some places they are successfully developing and, in general, have great cognitive value for the development of protective afforestation.

The **purpose** of the work is to determine the current state of stands, to identify the most effective methods of their creation and cultivation in broadband plantations on the lands of the arid zone.

Materials and methods. The research was conducted on temporary sample plots using standard methods of plantation taxation, study of old-growth forest cultures and mathematical processing of field observation data.

Results. It has been established that the establishment of plantations with the use of fallow tillage and deep loosening, planting seedlings of the main species in clean rows at 2.5-3.0 m justified itself. The initial species composition has a great influence on their development. In the dry steppe in mixed and complex deciduous plantations there is early growth suppression and loss of the main species: *Betula pendula*, *Populus ×sibirica*, *Ulmus laevis*. *Acer negundo* and, especially, *Malus baccata*, introduced during planting both in the inner and downslope rows, are a sharp competition to them. Cutting out these species in middle age does not have a positive effect. Clean stands of both deciduous and coniferous species grow better and remain viable longer. The feasibility of creating wide strips of *Ulmus parvifolia*, as well as its use as a companion needs further study.

Conclusion. When creating protective plantations in dry steppe, the use of aggressive species as an admixture, undergrowth and edges should be excluded. On chestnut soils the breeding of pure *Pinus silvestris* cultures has a great prospect, on dark chestnut soils - *Pinus silvestris* and *Larix sibirica*. On chernozems of the region, pure stands of both deciduous and coniferous species have stable growth and high viability. Coniferous stands are characterized by greater longevity and marketability.

Key words: atmospheric precipitation; chestnut soils; dark chestnut soils; southern chernozems; broad-band plantations; species composition; prospects of species utilization

For citation. Manaenkov, A. S., Podgaetskaya, P. M., & Petrov, V. N. (2025). Current state of plantations of state protective forest strips and problems of protective afforestation in the south of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 246–266. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1048

Введение

Проблема защиты почвенного покрова от водной и ветровой эрозии, сохранения почвенного плодородия и рациональной организации полеводства в аграрных регионах, как в России, так и за рубежом, не теряет своей

актуальности [2; 5 и др.]. Одним из наиболее доступных, экологичных и долго-действующих средств ее решения является лесная мелиорация земель [8-10; 14; 20]. В отечественной практике она реализуется в форме облесения водоразделов, полезащитного лесоразведения, облесения оврагов и звеньев древней гидрографической сети – агролесомелиорации [7; 11; 12; 14; 18; 19]. За рубежом – также в разных формах под общим названием – агролесоводство [21-24 и др.].

Так, в свете реализации Постановления Совета Министров СССР и ЦК ВКП (б) от 20 октября 1948 г. «О плане полезащитного лесоразведения… » [13], в Алтайском крае была разработана система мелиоративных мероприятий на период 1949-1965 гг. В частности, она предусматривала создание семи крупных ГЗЛП общей протяженностью 1532 км и площадью 21072 га, как опоры и связующего звена для автономных систем полезащитных лесных полос на территории земледельческих хозяйств. В период 1952-1957 гг. планировалось создать две ГЗЛП в направлении Рубцовск-Славгород протяженностью 320 км и – Алейск-Веселовское протяженностью 250 км. А В Новосибирской области была спроектирована придорожная ГЗЛП Краснозерское-Чистоозерное протяженностью более 100 км в виде продолжения ГЗЛП Алейск-Веселовское.

Однако, по разным причинам, в т. ч. неготовности лесохозяйственных предприятий, основные работы по их закладке выполнялись в 60-е и более поздние годы. В начале нового тысячелетия совокупная площадь насаждений ГЗЛП по двум регионам составила 13309 га, в т. ч. покрытая лесом – 11310 га (85%). ГЗЛП Рубцовск-Славгород (4886 га) и Алейск-Веселовское (5336 га) созданы в виде трех полос шириной по 60 м, расположенных в первой – через 300, во второй – 400 м друг от друга. Через каждые 1000 м заложены одиночные поперечные полосы такой же ширины. ГЗЛП Краснозерское-Чистоозерное (670 га) состоит из одной-двух полос шириной по 60 м.

В субширотном направлении (с СЗ на ЮВ) ГЗЛП пересекают 15 административных районов с разными почвенно-климатическими условиями. Согласно лесомелиоративному районированию [6], большая часть ГЗЛП Рубцовск-Славгород (3394 га) расположена на территории Западно-Кулундинского (Ia – сухая степь) района с каштановыми и темно-каштановыми почвами преимущественно средне- и легкосуглинистого гранулометрического состава с содержанием гумуса 2,0-3,5 %. Норма атмосферных осадков 230-300 мм/год. Дефляционная опасность высокая, дней с ветрами 6 м/с и более 115-120 в году. ЮЗ часть этой и основная центральная часть ГЗЛП Алейск-Веселовское, вся ГЗЛП Краснозерское-Чистоозерное

(в сумме 6776 га) – в Восточно-Кулундинском (Iб – засушливая степь) лесомелиоративном районе на преобладающих средне- и легкосуглинистых южных черноземах с содержанием гумуса 3,0-4,5%. Атмосферных осадков 300-350 мм/год. Рельеф равнинный. Прилегающая территория также дефляционно опасна – в течение года 113-120 дней с ветрами скоростью 6 м/с и более. Юго-восточная оконечность ГЗЛП Алейск-Веселовское (1140 га) находится в Левобережном (относительно Оби) районе (IIа – умеренно засушливая колковая степь). Почвенный покров здесь сложен средне- и легкосуглинистыми южными и обыкновенными чернозёмами с содержанием гумуса 4,5-6,0%. Осадков выпадает 350-400 мм в год, рельеф в основном равнинный. Прилегающая территория подвержена совместному проявлению водной эрозии и дефляции. Число дней с опасными ветрами относительно небольшое – составляет 25-45 в году.

В целом, по трассам ГЗЛП преобладающие типы почвогрунта не содержат токсичных концентраций водорастворимых солей. Пресные и слабоминерализованные гидрокарбонатно-кальциевые грунтовые воды залегают на глубине 4-10 м и более.

Проектами на создание ГЗЛП было предусмотрено пять типов лесных культур, которые при выполнении практических работ в разных районах и в разное время подвергались модификации.

1. Лиственничный тип предназначен для черноземов южных средне- и маломощных, средне- и легкосуглинистого состава. Он предусматривает 24 ряда посадки с размещением посадочных мест 2,5 х 0.6 м: в 1 и 24 ряду опушечный кустарник (облепиха (*Hippophae rhamnoides* L.) или лох узколистный (*Elaeagnus angustifolia* L.)). Четные ряды – из яблони сибирской (*Malus baccata* (L.) Borkh.) с чередованием со смородиной золотистой (*Ribes aureum* Pursh), нечетные ряды – из лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.).

2. Березовый – для черноземов маломощных средне- и легкосуглинистых слабосолонцеватых малокарбонатных, а также для темно-серых, серых лесных и подзолистых почвах. Число рядов, размещение посадочных мест главной породы (*Betula pendula* Roth.) и кустарников в нем аналогичны тем, что в лиственничном типе культур.

3. Тополевый тип – для лугово-черноземных осолоделых и солонцеватых почв с размещением посадочных мест 2,5 х 0,7 м. Опушечные ряды (1, 24) – облепиха или лох. Ряды 2, 5 , 8…23 – яблоня сибирская с чередованием в ряду со смородиной золотистой. Ряды 3 и 4, 6 и 7…21 и 22 – спаренные из тополя сибирского (*Populus ×sibirica*).

4. Сосновый тип предназначен для облесения участков с маломощными супесчаными и песчаными почвами. Состоит из 39 рядов с размещением посадочных мест 1,5 х 0,7 м. Ряды 1 и 39 – облепиха или лох, – 2 и 38 – вишня песчаная, – 3-37 – сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.).

5. Вязовый тип – для каштановых и темно-каштановых почв легко- и среднесуглинистого состава различной степени солонцеватости. Состоит из 24 рядов с размещением посадочных мест 2,5 х 0,6-0,8 м. В опушечных рядах облепиха или лох, во 2-м, 5, 8, 11…23 – клен американский с чередованием в ряду со смородиной золотистой. Ряды 3 и 4, 6 и 7 и т.д. – спаренные из вяза мелколистного (*Ulmus parvifolia* Jacq.). В поперечных 30-метровых полосах этого типа меньше рядов в центральной части, а кустарниковые опушки такие же, как и в продольных полосах.

Согласно данным лесоустройства, основная обработка почвы под насаждения ГЗЛП повсеместно проводилась по системе однолетнего черного пара с осеней (в следующем году) глубокой (на 38-40 см) перепашкой и весенним предпосадочным боронованием. Агротехнические уходы заключались в ручных прополках рядов 2-3 раза за вегетацию в первые два-три года и культивации почвы междурядий по схеме 5-4-3-1...2 до смыкания крон.

Лесные полосы в ГЗЛП Рубцовск-Славгород на территории Новосибирской области (участок Краснозерское-Чистоозерное) состоят из 18 рядов через 3 м, из них 14 средних ряда занимают главные породы – тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) и береза повислая.

По осредненным данным лесоустройства на начало текущего столетия, покрытая лесом площадь в ГЗЛП на 82% состоит из лесных культур. Около 30% насаждений расположено в сухой степи, 59% – в засушливой и 11% – умеренно засушливой колковой степи. 13% покрытых лесом земель занимают хвойные породы, 12% – твердолиственные, 74% – мягколиственные, в т. ч. 65% береза; 1% – древостои прочих пород. В агролесомелиоративных районах (Ia, Iб, IIa) под насаждениями березы находится соответственно 69, 64 и 62% площади, тополя и осины – 2, 10 и 22%, вяза и ильма (*Ulmus laevis* Pall.) – 15, 8 и 5%, лиственницы – 4, 11 и 9%, сосны – 4 и 5%. Средний возраст насаждений – около 40 лет. На долю молодняков 1 и 2 классов возраста приходилось 8 и 10%, средневозрастные – 60%, спелые и перестойные – 14%. В зоне сухой степи спелые и перестойные насаждения представлены ильмовыми породами и яблоней сибирской, в засушливой степи – березой, тополем, кленом и ильмовыми, в умеренно засушливой колковой степи – тополем.

Цель. Определить современное состояние древостоев, выявить наиболее эффективные приемы их создания и выращивания в широкополосных насаждениях на землях засушливой зоны.

Материалы и методы

Объектами исследования, проведенного в 2022-2023 гг., являлись 30-60-летние насаждения в Бурлинском, Славгородском, Табунском и Кулундинском районах Алтайского края (ГЗЛП Рубцовск-Славгород, сухая степь, почвы – каштановые и темно-каштановые), а также в Краснозерском районе Новосибирской области, Хабарском, Суетском и Благовещенскомо районах Алтайского края (ГЗЛП Аллейск-Веселовское, засушливая степь, почва – южные черноземы и переходные типы). Насаждения на территории этих районов составляют около половины всей площади ГЗЛП Западной Сибири.

На подготовительном этапе работы изучали фондовые материалы, тематические карты, материалы лесоустройства, лесохозяйственные регламенты лесничеств, проекты и книги учета лесохозяйственных мероприятий, планшеты текущего и предшествующих периодов, публикации и иные источников информации. Выделяли участки ГЗЛП, контрастные по лесорастительным условиям и состоянию насаждений, а также различающиеся по истории и лесокультурным приемам их создания, режимам уходов за древостоем.

Исследование состояния и роста древостоев проводили на временных пробных площадях с использованием общепринятых методов лесной таксации и изучения лесных культур старших возрастов [1; 16]. Пробные площади прямоугольной формы закладывали на всю ширину отдельной ленты ГЗЛП или с таким расчетом, чтобы на ней была полностью отражена схема смешения пород.

Подробно описывали строение древостоя, характеристики подлеска и подроста, живого и мертвого напочвенного покрова, другие особенностей насаждений. Изучение почвенных условий проводили методом бурового зондирования на глубину 1-2 м с отбором образцов почвы и грунта (включая материнскую породу) для лабораторных анализов. Определяли глубину вскипания от HCl (скопления карбонатов) и залегания верхнего горизонта грунтовой воды.

Регрессионный анализ данных полевых наблюдений проводили на ЭВМ с использованием типовой программы STATGRAPHICS 5.0; оценку уровня связи роста древостоев с изучаемыми факторами – по [3].

Результаты

Установлено, что на исследуемой территории основными является различные модификации березового типа лесных культур с подлеском и без него. На относительно небольшой площади встречаются насаждения, созданные с использованием модификаций других типов культур, а также смешанные березово-сосновые и лиственнично-вязовые древостои с рядами яблони сибирской.

Таким образом, в периоды наиболее масштабных лесокультурных работ (в 60-е и 80-90-е годы), как в сухой, так и в засушливой степи допускались или были обычными значительные отклонения от рекомендованных для тех или иных условий типов лесных культур (табл.1). Нередко насаждения создавали из 2-3 главных пород с кустарником и без него. Или, наоборот, из одной главной породы без кустарника, т.е. в расчете на формирование чистых одноярусных древостоев. С годами доля таких насаждений увеличивалась.

Таблица 1.

Лесокультурная характеристика насаждений ГЗЛП на каштановых типах почв и южных черноземах Западной Сибири (по материалам лесоустройства 1994…2000 гг.)

Годы создания	ГЗЛП Рубцовск-Славгород		ГЗЛП Алейск-Веселовкое	
	Площадь, га	Состав пород	Площадь, га	Состав пород
1960	50,3	10Б; 7Т3Б; 5Т4Б1Яб; 7Б3Яб	19,8	10С+Яб; 8Ос2Б
1961	112,6	10Б; 10Кл; 8Б2Яб	68,0	10С; 10Лц; 10Лц+Яб; 6Т4Б; 8Ос2Яб
1962	235,8	10Б; 10Ил; 10Ив; 9Кл1Б+Яб; 7Кл3Яб; 8Б2Яб+Лц; 6Т4Яб; 8Б2Яб	108,8	10Лц; 10Б;10Б+Яб; 10С+Яб; 10Т+Кл+Яб; 8Вм2Яб
1963	–	–	132,4	10С; 10Лц; 10Б; 10С+Яб; 9Вм1Яб
1964	4,8	10Б	131,6	10С; 10Б; 10С+Вм+Яб; 10С+Кл; 10Б+Яб; 9Т1Кл; 8Вм2Яб
1965	219,9	10Б; 10Яб; 5Б5Яб; 8Ил2Кл; 7Т3Кл+Яб	238,8	10Б; 10С; 10Б+Яб; 10С+Кл; 10С+Яб; 10Б+Яб; 7Б3Яб; 6Б3Вм1Ос; 10Кл+Т; 8Б2Кл
1966	29,4	10Б; 8Б2Яб; 7Ил3Кл; 8Вм2Кл	374,0	10Б;10Т; 10Лц; 10Кл; 10Б+Яб; 8Яб2Лц; 7Б2Яб; 6Лц4Яб
1967	401,2	10Б; 7Б3Яб; 6Б3Яб1Ил; 7Б2Кл1Яб;	282,0	10Б; 10С; 10Лц; 10Кл; 10Лц+Яб; 10Б+Яб
1968	541,5	10Б; 10Вм; 10Кл; 9Б1Яб; 7Ил3Кл; 6Яб3Б1Ил; 8Б1Т1Яб; 6Б3Кл1Вм; 5Б2Вм1Яб1Кл; 5Вм3Кл2Б	92,1	10Б; 10Кл; 10Б+Яб; 9Кл1Т+Яб; 7Б3Т

1969	71,0	10Б; 4Ил2Кл2Б2Яб; 7Кл3Вм; 4Б4Кл2Яб; 7Кл3Яб	333,6	10Лц; 10Кл; 10Б; 10Т; 10С; 9Лц1Т+Яб+Кл; 8Т2Б; 7Б3Яб+Т
1970	90,1	8Б2Кл; 7Б3Яб; 6Кл3Вм1Б; 7Вм3Кл; 5Б4Вм1Яб	161,6	10Б; 10Вм; 8Лц2С; 8Кл2Т; 9Б1Т
1975	20,3	10Б; 10Вм	2,5	10Б; 10Ос; 8Ос2Б
1976	2,8	10Б; 10Вм	18,1	10Б; 10Б+Яб; 10Б+Ос; 9Ос1Б
1977	20,7	10Б; 10Вм; 10Кл; 10Т; 9Т1Б; 7Кл2Б1Вм	2,6	10Б
1978	27,4	10Б; 6Б4Ил+Яб; 4Б4Яб2Кл; 6Ил4Яб; 8Б2Т	4,8	10Б
1983	69,7	10Б; 10Т; 10Вм	14,2	10Б; 10Т; 10Лц; 10С; 10Кл; 6Б4Т+Яб;6Б4Яб
1984	48,3	10Б; 10Вм	6,3	10Б+Яб
1985	39,7	10Б; 10Вм; 8Вм2Б	23,6	10Б; 10Т+Б; 10Б+Яб; 9Т1Б
1986	60,1	10Б; 10Вм; 8Б2Вм; 4Вм-3Кл3Б	35,9	10Б; 10Б+Яб; 8Б2С; 7Б3Вм

Примечание. Б – береза повислая, И – ильм, Вм – вяз мелколистный, Т – тополь сибирский, Кл – клен американский, Ос – осина, Лц – лиственница сибирская, С – сосна обыкновенная, Яб – яблоня сибирская.

На каштановых типах почв в чистых насаждениях предпочтение отдавалось березе и вязу мелколистному. Закладывались и полосы из яблони сибирской. В смешанных насаждениях и насаждениях с кустарником часто использовался клен американский. Сосновые насаждения стали входить в лесокультурную практику только в 90-е годы.

На черноземах прослеживаются те же закономерности, но в качестве главной породы, наряду с березой, нередко использовались осина (*Populus tremula* L.), тополь и хвойные породы – сосна и лиственница, реже – ильмовые. В опушечные и внутренние ряды чаще других пород вводилась яблоня сибирская.

На росте и современном состоянии насаждений ГЗЛП, без сомнения, отразилась динамика метеорологических условий в регионе, которая заключалась в одновременном повышении температуры воздуха и суммы атмосферных осадков, как в теплый, так и в холодный период.

Так, например, в Кулундинском районе Алтайского края за период с 1881 г. по 1960 г. среднегодовая температура воздуха составляла 1,3ºС, количество осадков – 245 мм/ год. С 1961 г. по 1990 г. соответственно – 2,4°С и 278 мм, а с 1971 по 2000 г. – 2,8ºС и 305 мм/ год. За последние

38 лет (1983/84-2020/21) было 8 засушливых (осадков выпало на 10–30% меньше многолетней нормы) и 13 влажных лет (осадков на 10–80% больше нормы).

Средняя сумма составила 352 ± 14 мм/год (это 143% многолетней нормы и 116% от средней суммы за 1971-2000 гг.). (По данным Алтайского центра по гидрометеорологии за период 1991-2020 гг. средняя сумма осадков составила 360 мм.). За теплый период (апрель-октябрь) – 244 ± 11 мм (111% от средней суммы за 1971-2000 гг.), холодный – 109 ± 5 мм (127% соответственно). Температурный режим воздуха тоже был неустойчивым. Так, за этот период 25 лет были на 0,2-3,2°С теплее, а остальные на 0,2-2,4°С холоднее обычных. Среднегодовая температура воздуха составила 3,3°С против 2,8°С.

Похожая динамика погодных условий в те же годы была характерна и для юго-западной части Барабинской степи. Так, за последние 16 лет средняя сумма осадков составила 350 мм/ год, что почти на 10% больше многолетней нормы (318 мм). За теплый период в среднем выпадало 251 мм (на 6 мм больше нормы), за холодный – 99 мм (на 36% больше нормы). Среднегодовая температура воздуха за этот период составила 1,8°С, многолетняя – 1,7°С. При этом 9 лет были на 0,1-2,1°С теплее, а 7 лет на 0,1-1,8°С холоднее нормы, а в целом температурный режим воздуха был типичным для региона.

Учитывая, что на территории засушливой зоны осадки холодного периода имеют превалирующее значение для влагозарядки почвы и водного питания древостоев [4; 17; 18], то можно считать, что насаждения ГЗЛП формировались и росли в относительно благоприятных условиях.

Изучение состояния насаждений на пробных площадях свидетельствует о его высокой неоднородности (табл. 2). Особенно оно разнится в сухой степи. В стадии распада (полнота 0,3-0,4) или в сильно угнетенном состоянии находятся насаждения на автоморфной каштановой почве возвышенных и ровных участков местности (глубина залегания грунтовой воды >6 м, горизонта вскипания – 45-50 см) (ПП 4 и 13) при норме осадков около 250 мм/год. В понижениях, где в питании древостоя участвуют перераспределенные осадки (глубина вскипания больше 70 см) и, особенно, грунтовая вода, состояние насаждений резко улучшается, а бонитет увеличивается с IV до I-IA (ПП 3, 16, 22). Лучше растут чистые насаждения, хуже смешанные и, особенно, – насаждения с яблоней сибирской.

Таблица 2.

Экологические условия и таксационные показатели насаждений ГЗЛП на юге Западной Сибири

№ ПП	∑Oc, мм/год	Почва	Глубина вскип. с HCl, см	УГВ, м	Состав насаждения	А, лет	Густота, шт./га	Hср., м	Dср., см	V, м³/га	Полнота	Бонитет	Zhcp. см	Zdcp, мм	Состояние
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	245	Каш.с.	85	>9	5Б5Яб*	56	75	8,5	9,3	2	0,3	IV	28,3	3,1	Неуд.
2	–»–	–»–	79	6-9	8Б2Яб	56	690	12,6	11,5	42	0,8	IV	22,5	2,1	Удов.
3	–»–	–»–	76	4-6	8Б2Яб	57	465	21,8	23,6	199	0,9	IA	38,2	4,1	Хор.
4	–»–	–»–	45	6-9	3Б7Яб*	63	165	4,7	8,8	11	0,3	IV	15,6	2,9	Неуд.
5	280	Т-каш.	170	4	9Б1Яб	60	540	15,1	24,3	143	0,8	III	25,2	4,1	Удов.
6	–»–	–»–	–»–	4	3Б7Яб*	59	130	9,4	8,7	5	0,4	IV	18,0	2,9	Неуд.
7	–»–	–»–	–»–	4	10Б	34	1570	16,7	15,8	230	1,0	IA	49,1	4,6	Хор
8	–»–	–»–	–»–	4	6Б4Яб	55	180	13,8	12,6	13	0,6	III	25,1	2,3	Удов.
9	275	–»–	61	4-6	3Б7Яб	56	176	19,6	23,9	69	0,6	I	35,0	4,3	Удов.
10	312	ЧЮ	70	6-8	10Б	59	422	20,0	19,2	126	0,6	I	33,9	3,3	Удов.
11	312	–»–	80	6-8	10Б	59	415	23,3	24,7	199	0,5	I	39,5	4,2	Удов.
12	245	Каш. с.	80	6-9	4Ил6Яб	62	420	10,3	15,3	36	1,0	IV	16,6	2,5	Неуд.
13	250	–»–	55	6-9	2Ил4Яб4Кл	62	50	5,8	8,4	9	0,4	IV	19,3	2,8	Неуд.
14	264	Каш. с.	69	6-9	8Вм2Яб	59	755	8,7	13,2	11	0,6	III	14,7	2,2	Удов.
15	245	Каш.с.	73	6-9	4Т6Яб	62	165	17,3	30,2	102	0,4	II	27,9	4,9	Неуд.
16	275	Т-каш.	61	4-6	6Т4Вм+Б	41	460	19,4	24,3	162	0,6	I	47,3	5,9	Удов.
17	312	ЧЮ	70	6-8	4Т6Б	52	158	20,6	23,7	51	0,6	IV	39,6	4,6	Удов.
18	312	ЧВ	55	6-8	3Т7Б	57	183	22,4	20,4	59	0,4	IV	39,3	3,6	Удов.
19	280	Т-каш.	70	4	8Лц2Яб	55	760	15,8	19,8	144	1,0	II	27,6	2,9	Хор.
20	312	ЧЮ	80	6-8	6Лц4Яб	58	900	19,4	17,6	216	1,0	I	33,4	3,0	Хор.
21	285	–»–	50	4	7Лц2Вм1Кл	61	1090	19,6	16,4	261	1,0	I	32,1	2,7	Хор.
22	245	Каш.с.	69	6-9	10С	31	3430	10,2	10,4	172	1,0	II	32,9	3,4	Хор.
23	280	Т-каш.	170	4	10С	55	430	20,4	33,4	292	0,8	I	37,1	6,1	Хор.
24	312	ЧЮ	76	6-8	1С9Б	57	32	23,5	28,0	21	0,9	IA	41,2	4,9	Хор.
25	280	–»–	65	6-8	10С	60	673	20,7	21,8	210	0,8	I	34,5	3,6	Хор.
26	275	–»–	50	6-8	3С7Б	61	241	17,6	18,0	55	0,8	II	28,9	2,9	Хор.
27	300	–»–	80	6-8	10С	57	440	16,6	21,6	145	0,8	II	29,1	3,8	Хор.
28	285	–»–	156	4	6С4Яб	61	780	19,6	24,4	240	1,0	II	32,1	4,0	Хор.

Примечание: ∑Oc – атмосферные осадки; УГВ – уровень грунтовой воды; А – возраст; Hср. – средняя высота; Dср. – средний диаметр; Zhcp – средний прирост в высоту; Zdcp –средний прирост в диаметре; обозначения древесных пород те же, что и в табл. 1. Каш.с., Т-каш., ЧЮ, ЧВ – почва каштановая супесчаная, темно-каштановая, южный и выщелоченный чернозем. 3Б7Яб* – порослевое поколение яблони в возрасте 30 лет.

На темно-каштановых почвах, южном и выщелоченном черноземе в динамике роста и состояния насаждений прослеживаются те же закономерности, но они слабее обусловлены экологическими и биоценотическими факторами: годовой нормой атмосферных осадков, глубиной залегания (корнедоступностью) грунтовой воды, а также густой и породным составом древостоя.

На всех типах почв лучше растут умеренно-густые хорошо сомкнутые (полнота не ниже 0,6) насаждения. В первом приближении можно утверждать, что в зависимости от лесообразующей породы оптимум густоты чистых насаждений в среднем возрасте колеблется в разных пределах и в автоморфных условиях снижается с 800-1100 деревьев – на южных черноземах и темно-каштановых почвах до 400-700 деревьев / га – на каштановых почвах. При наличие дополнительных источников водного питания его диапазон расширяется.

Во всем многообразии лесорастительных условий юга Западной Сибири, при традиционных схемах размещения посадочных мест на формирование искусственных насаждений сильно влияет их начальный породный состав.

Так, лучше растут и в возрасте 50-60 лет сохраняют жизнеспособность чистые древостои практически всех лесообразующих пород. Даже небольшая примесь (до 3-х ед.) конкурентных сопутствующих пород и, особенно, яблони сибирской, создание из нее опушечных рядов быстро снижает бонитет и сохранность главной породы. Особенно сильно угнетается рост и ускоряется ее отмирание в смешанных насаждениях на каштановых автоморфных почвах. Эта закономерность несколько менее строго, но прослеживается и в понижениях, и при залегании грунтовой воды на корнедоступной глубине, а также в наиболее влагообеспеченных районах.

Имеются основания полагать, что большей толерантностью к конкуренции примеси обладают быстрорастущие относительно теневыносливые породы.

Ильмовые, клен и, в особенности, яблоня из материнских деревьев и подроста формируют плотный второй ярус, ухудшающий водный режим ризосферы, санитарное и противопожарное состояние насаждений, делает их труднопроходимыми. Запоздалая (в возрасте 25-35 лет) вырубка (посадка на пень) этих пород не дает существенного положительного эффекта (ПП 1, 4, 6). В конечном итоге, происходит трансформация двухъярусного насаждения в одноярусное – кустарниковое (рис.).



Рис. Смешанное березово-кленовое-яблоневое насаждение в возрасте старше 50 лет. ГЗЛП Рубцовск-Славгород в сухой степи

Сравнение данных лесоустройства 1994 г. и данных исследования авторов на пробных площадях показало, что за период жизни с 27-39 лет до 56-63 лет в смешанных насаждениях на каштановых почвах береза и ильм снижают свое участие в составе на 3-5 единиц. Их средняя высота при этом уменьшается на 5-50%. За тот же период, тополь и вяз теряют одну единицу в составе, а их средний прирост в высоту уменьшается в 1,6-2 раза и более. Сомкнутость лесного полога снижается или сохраняется, и даже повышается за счет развития нижнего яруса. На темно-каштановых почвах и черноземах введение в культуры в качестве примеси агрессивных пород также с возрастом ухудшает состав насаждений, рост и состояние древостоя главной породы, и тем больше, чем выше ее светолюбие. Естественное поселение и развитие подроста яблони в чистых средневозрастных насаждениях березы и лиственницы с опушками из этой породы также неуклонно ухудшает их рост и состояние.

Сложные насаждения повсеместно наиболее представлены IV и III классами бонитета. Одноярусные чистые насаждения березы, тополя, ильма и вяза на автоморфных каштановых почвах растут по III-IV классам бонитета, сосна до 30 лет – по II. На темно-каштановых почвах насаждения лиственных пород растут по I-II, сосны и лиственницы – по I бонитету. На участках каштановых и темно-каштановых почв с доступной грунтовой водой бонитет насаждений на 1-2 единицы выше. На черноземах рост насаждений березы, лиственницы и сосны соответствует I-IA бонитетам.

Математический анализ данных таксации на примере 52-63-летних насаждений березы (табл. 2) подтверждают сделанные выводы. Полученные уравнения регрессии (1) и (2) свидетельствуют о том, что средняя высота ($У_1$) и средний диаметр ($У_2$) древостоя главной породы в сложных насаждениях ГЗЛП на юге Западной Сибири находятся в строгой и практиче-

ски одинаковой зависимости как от основных экологических (характера увлажнения ризосферы), так и биоценотических (состав насаждения и его возраст) факторов.

$$Y_1 = 32,35 + 0,05X_1 - 0,72X_2 - 0,58X_3 + 1,46X_4 - 0,006\ X_5, (1)$$
$$R = 0,76;\ SE = 5,95$$
$$Y_2 = -9,56 + 0,091X_1 - 0,78X_2 - 0,04X_3 + 1,68X_4 - 0,004\ X_5. (2)$$
$$R = 0,72;\ SE = 7,90$$

где:

X_1, X_2, X_3, X_4 и X_5 – норма атмосферных осадков (мм/год), глубина залегания водоносного горизонта (м), возраст древостоя (лет), доля главной породы в составе насаждения и ее густота (шт./ га).

Так, из уравнений (1) и (2) следует, что увеличение нормы атмосферных осадков и повышение доступности грунтовой воды улучшают рост (увеличивают высоту) березы (1) в сумме на 34%, а повышение доли этой породы в составе насаждения – на 33% (r = 0,58). В то время как возраст (продолжительность роста при угнетении спутниками) уменьшает ее на 13% (r = – 0,36), а густота верхнего яруса на его высоту заметного влияния не оказывает.

Радиальный рост древостоя березы имеет схожую зависимость от основных факторов (2). Условиями увлажнения ризосферы он детерминирован, примерно, на 38%, составом насаждения – 32%, а густотой и возрастом – на 1-2%.

Заключение

ГЗЛП на юге Западной Сибири, несмотря на большую неоднородность состояния насаждений, достигли высокого возраста и продолжают функционировать.

Как и в засушливых малолесных районах европейской территории России, они выполняют большую природоохранную (регулируют потоки углерода, служат коммуникациями и резерватами дикой флоры и фауны), социальную (дополнительные места отдыха населения) и организационно-хозяйственную функцию. Простираясь на большое расстояние, широкие лесные полосы являются опорой и связующим звеном систем полезащитных лесных полос, источником разнообразных лесных ресурсов, а также крупным экспериментальным объектом, имеющим большую познавательную ценность для совершенствования приемов создания и выращивания многорядных линейных и массивных защитных лесных насаждений в условиях засушливого климата и интенсивного опустынивания территории.

В частности, установлено, что в сложных природных условиях региона на формирование, развитие и долговечность искусственных древостоев определяющее влияние оказывают как экологические, так и биоценотические факторы.

Лесокультурная практика их закладки с применением паровой (влагонакопительной) обработки и глубокого рыхления почвы, а также посадка сеянцев главных пород чистыми рядами по схеме 2,5-3,0 х 0,6-0,7 м, проведение агротехнических уходов до смыкания крон, себя оправдали. Однако были допущены и просчеты.

Так, в зональных условиях сухой степи смешанные лиственные насаждения ГЗЛП подвержены ранней нежелательной трансформации породного состава. В них быстро снижается интенсивность роста, производительность и долговечность главной породы. Лучше растут и дольше сохраняют жизнеспособность чистые или с небольшой примесью неагрессивных пород древостои березы повислой, ильма, а на темно-каштановых почвах и черноземах – березы, тополя сибирского и бальзамического. Большое угнетающее воздействие на них, как сопутствующие породы, оказывает клен американский и яблоня сибирская. Использование этих пород в качестве примеси, подлеска и при создании опушечных рядов следует исключить. Неагрессивные кустарники (вишня степная, облепиха, лох узколистный) следует вводить только в опушечные ряды. Целесообразность создания широких полос из вяза мелколистно, а также использование его как спутника березы, тополя, ильма нуждается в дополнительном изучении.

На каштановых почвах большую перспективу имеет разведение чистых культур сосны обыкновенной, на темно-каштановых – сосны и лиственницы сибирской. В культурах на черноземах региона устойчивым ростом и большой жизнеспособностью обладают чистые древостои как лиственных (тополь, береза), так и хвойных (сосна, лиственница) пород. Последние образуют более долговечные и ценные в товарном отношении насаждения.

Неотложной задачей лесного хозяйства в настоящее время является проведение повсеместной инвентаризации насаждений ГЗЛП с определением первоочередных лесоводственных и других мероприятий по оздоровлению и повышению жизнеспособности древостоев, проектирование и выполнение работ. Наиболее массовыми должны стать санитарно-селективные рубки, направленные на улучшение санитарного, противопожарного состояния насаждений, условий роста и возобновления наиболее долговечных пород.

Информация о спонсорстве. Исследование было выполнено в рамках Государственного задания: «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России», № 122020100309-0.

Sponsorship information. The work was carried out on the topic of State task No. 122020100309-0 "Theoretical foundations, basic principles and technologies for improving the efficiency of protective afforestation and integrated phytomelioration on degraded, disturbed and low-productive lands of the arid zone of Russia".

Список литературы

1. Анучин, Н. П. (1982). *Лесная таксация: Учебник для вузов.* Москва: Лесная промышленность.
2. Эдельгериев, Р. С. Х., Иванов, А. Л., Донник, И. М., & др. (2021). *Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидации последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)* (Том 3). Москва: Издательство МБА. https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1
3. Доспехов, Б. А. (1965). *Методика полевого опыта.* Москва: Колос.
4. Зайцев, Н. М. (1981). Водный режим почв и влагообеспеченность лесных насаждений на Ергенях. В сборнике: *Повышение устойчивости защитных насаждений в полупустыне,* (стр. 10–32). Москва: Наука.
5. Организация Объединённых Наций (1994). *Конвенция Организации Объединённых Наций по борьбе с опустыниванием.* Нью-Йорк: Генеральная Ассамблея ООН. A/AC.241/27. Retrieved from https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD_Convention_text_RUS.pdf
6. Кукис, С. И., & Горин, В. И. (1973). История защитного лесоразведения в Алтайском крае. В сборнике: *Опыт полезащитного лесоразведения на Алтае* (стр. 13–71). Барнаул: Алтайское книжное издательство.
7. Кулик, К. Н., Манаенков, А. С., Раков, А. Ю., Нетребенко, В. Г., & Аленьтьев, Н. (2012). Полезащитное лесоразведение: значение, состояние, пути выхода из кризиса. *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, (1)*, 24–27.
8. Манаенков, А. С. (2023). Подходы к улучшению состояния полезащитных лесных полос на Северном Кавказе. *Лесоведение, (4)*, 412–426. https://doi.org/10.31857/S002411482304006X
9. Манаенков, А. С., Абакумова, Л. И., & Подгаецкая, П. М. (2014). Актуальные задачи полезащитного лесоразведения на юге Западной Сибири. *Лесное хозяйство, (6)*, 27–29.

10. Манаенков, А. С., & Корнеева, Е. А. (2021). Биогеографические аспекты оценки эффективности защиты пахотных земель лесными полосами. *Вестник Московского университета: Серия 5: География, (3)*, 48–54.
11. Манаенков, А. С., Подгаецкая, П. М., & Подгаецкий, М. Е. (2022). Особенности роста малорядных лесных полос на каштановых почвах. *Вестник Московского университета: Серия 5: География, (3)*, 134–142.
12. Манаенков, А. С., Костин, М. В., Шкуринский, В. А., & др. (2013). *Методическое руководство по повышению долговечности широкополосных защитных лесных насаждений на юге европейской территории России.* Волгоград: ВНИАЛМИ.
13. Совет Министров СССР и ЦК ВКП(б) (1948). *Постановление о плане полезащитного лесоразведения, внедрении травопольных севооборотов, строительстве прудов и водоёмов для обеспечения высоких и устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах Европейской части СССР.* Москва: ОГИЗ – Госполитиздат.
14. Парамонов, Е. Г., Ишутин, Я. Н., & Симоненко, А. П. (2003). *Кулундинская степь: проблемы опустынивания.* Барнаул.
15. Кулик, К. Н. (Ред.) (2006). *Полезащитное лесоразведение: Агролесомелиорация.* (5-е издание, переработанное и дополненное). Волгоград: ВНИАЛМИ.
16. Родин, А. Р., & Мерзленко, М. Д. (1984). *Методические рекомендации по изучению лесных культур старших возрастов.* Москва.
17. Сапанов, М. К., & Сиземская, М. Л. (2020). Климатогенные ограничения степного лесоразведения. *Лесоведение, (1)*, 46–54. https://doi.org/10.31857/S0024114820010131
18. Беляев, А. И., Манаенков, А. С., Пугачева, А. М., & др. (2022). *Создание долговечных полезащитных лесных полос на юге Западной Сибири (методические рекомендации).* Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН.
19. Кулик, К. Н., & др. (2017). *Стратегия развития защитного лесоразведения в Волгоградской области на период до 2025 года.* Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН.
20. Павловский, Е. С. (Ред.) (2004). *Энциклопедия агролесомелиорации.* Волгоград: ВНИАЛМИ.
21. Bentrup, G., Cernusca, I., & Gold, M. (2018). Supporting U.S. agricultural landscapes under changing conditions with agroforestry: annotated bibliography. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.C., 63 p.
22. Borelli, A., Conigliaro, M., & Olivier, A. (2017). Agroforestry for landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 22 p.

23. Burgess, P. J., Graves, A., García de Jalón, S., & Palma, J. H. N. (2019). Modelling agroforestry systems. In M. R. Mosquera-Losada & R. Prabhu (Eds.), *Agroforestry for Sustainable Agriculture* (pp. 209–238). Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing. https://doi.org/10.19103/AS.2018.0041.13
24. Zomer, R. J., Coe, R., Place, F., van Noordwijk, M., & Xu, J. (2014). Tree son farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. *Working Paper 179*. World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia, 33 p. https://doi.org/10.5716/WP14064

References

1. Anuchin, N. P. (1982). Forest taxation: Textbook for universities. Moscow: Lesnaya Promyshlennost'.
2. Edylgeriyev, R. S. Kh., Ivanov, A. L., Donnik, I. M., et al. (2021). Global climate and soil cover of Russia: Manifestations of drought, preventive measures, combatting, elimination of consequences, and adaptation measures (agricultural and forestry sectors) (Volume 3). Moscow: MBA Publishing House. https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1
3. Dospekhov, B. A. (1965). Methodology of field experiments. Moscow: Kolos.
4. Zaytsev, N. M. (1981). Water regime of soils and moisture availability of forest plantations in Yergeni Hills. In *Enhancing the sustainability of protective plantations in semi-arid lands* (pp. 10–32). Moscow: Nauka.
5. United Nations. (1994). United Nations convention to combat desertification. New York: United Nations General Assembly. A/AC.241/27. Retrieved from https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD_Convention_text_RUS.pdf
6. Kukhis, S. I., & Gorin, V. I. (1973). History of protective forest cultivation in Altai Territory. In *Experience of protective forest cultivation in Altai* (pp. 13–71). Barnaul: Altai Book Publishing House.
7. Kulik, K. N., Manaenkov, A. S., Rakov, A. Yu., Netrebenco, V. G., & Alentiev, N. (2012). Protective forest cultivation: Significance, state, and pathways out of crisis. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, *(1)*, 24–27.
8. Manaenkov, A. S. (2023). Approaches to improving the condition of protective forest belts in the North Caucasus. *Lesedovanie*, *(4)*, 412–426. https://doi.org/10.31857/S002411482304006X
9. Manaenkov, A. S., Abakumova, L. I., & Podgaetskaya, P. M. (2014). Current tasks of protective forest cultivation in the south of West Siberia. *Forestry Economy*, *(6)*, 27–29.
10. Manaenkov, A. S., & Koreneva, E. A. (2021). Biogeographic aspects of assessing the effectiveness of farmland protection by forest belts. *Bulletin of Moscow University: Series 5: Geography*, *(3)*, 48–54.

11. Manaenkov, A. S., Podgaetskaya, P. M., & Podgaetsky, M. E. (2022). Growth peculiarities of narrow-row forest belts on chestnut soils. *Bulletin of Moscow University: Series 5: Geography*, *(3)*, 134–142.
12. Manaenkov, A. S., Kostin, M. V., Shkursky, V. A., et al. (2013). Methodological guidance for enhancing the durability of broadband protective forest plantations in the southern European territory of Russia. Volgograd: VNIALMI.
13. Council of Ministers of the USSR and CC VKP(b). (1948). Resolution on implementing windbreak forest cultivation, introducing grass-field crop rotations, constructing reservoirs and ponds to secure high and sustainable yields in the steppe and forest-steppe regions of the European part of the USSR. Moscow: OGIZ – Gospolitizdat.
14. Paramonov, Ye. G., Ishutin, Ya. N., & Simonenko, A. P. (2003). Kulunda Steppe: Desertification problems. Barnaul.
15. Kulik, K. N. (Ed.). (2006). Protective forest cultivation: Agroforestry (5th edition, rev. and exp.). Volgograd: VNIALMI.
16. Rodin, A. R., & Merzlenco, M. D. (1984). Methodological recommendations for studying mature forest plantations. Moscow.
17. Sapanov, M. K., & Sizemskaia, M. L. (2020). Climatic constraints on steppe forest cultivation. *Lesedovanie*, *(1)*, 46–54. https://doi.org/10.31857/S0024114820010131
18. Beliaev, A. I., Manaenkov, A. S., Pugačeva, A. M., et al. (2022). Developing durable protective forest belts in the south of West Siberia (methodical recommendations). Volgograd: FNCAE RAS.
19. Kulik, K. N., et al. (2017). Strategy for the development of protective forest cultivation in the Volgograd region until 2025. Volgograd: FNCAE RAS.
20. Pavlovsky, E. S. (Ed.). (2004). Encyclopaedia of agroforestry. Volgograd: VNIALMI.
21. 21. Bentrup, G., Cernusca, I., & Gold, M. (2018). Supporting U.S. agricultural landscapes under changing conditions with agroforestry: annotated bibliography. U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.C., 63 p.
22. Borelli, A., Conigliaro, M., & Olivier, A. (2017). Agroforestry for landscape restoration. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 22 p.
23. Burgess, P. J., Graves, A., García de Jalón, S., & Palma, J. H. N. (2019). Modelling agroforestry systems. In M. R. Mosquera-Losada & R. Prabhu (Eds.), *Agroforestry for Sustainable Agriculture* (pp. 209–238). Cambridge: Burleigh Dodds Science Publishing. https://doi.org/10.19103/AS.2018.0041.13
24. Zomer, R. J., Coe, R., Place, F., van Noordwijk, M., & Xu, J. (2014). Tree son farms: an update and reanalysis of agroforestry's global extent and socio-ecological characteristics. *Working Paper 179*. World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia, 33 p. https://doi.org/10.5716/WP14064

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Манаенков Александр Сергеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
manaenkov1@yandex.ru

Полина Михеевна Подгаецкая, научный сотрудник
Западно-Сибирская агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Западно-Сибирская АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН)
ул. Лесная, 12А, Кулундинский р-н, п. Октябрьский, Алтайский край, 658915, Российская Федерация
agloswnialmi@mail.ru

Петров Валерий Николаевич, научный сотрудник
Западно-Сибирская агролесомелиоративная опытная станция – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (Западно-Сибирская АГЛОС – филиал ФНЦ агроэкологии РАН)
ул. Лесная, 12А, Кулундинский р-н, п. Октябрьский, Алтайский край, 658915, Российская Федерация
agloswnialmi@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander S. Manaenkov, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Protective Afforestation and Phytomelioration of Low-Yielding Lands
Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC of agroecology RAS)

97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
manaenkov1@yandex.ru

Polina M. Podhayetskaya, Research Associate
West Siberian Agroforestry Experimental Station - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences"
12A, Lesnaya Str., Kulundinsky district, Oktyabrsky settlement, Altai Territory, 658915, Russian Federation
agloswnialmi@mail.ru

Valery N. Petrov, Research Associate
West Siberian Agroforestry Experimental Station - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences"
12A, Lesnaya Str., Kulundinsky district, Oktyabrsky settlement, Altai Territory, 658915, Russian Federation
agloswnialmi@mail.ru

Поступила 16.05.2024 Received 16.05.2024
После рецензирования 21.07.2024 Revised 21.07.2024
Принята 10.08.2024 Accepted 10.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1022 **EDN: XEZDDW**
УДК 630.6.332

CC BY NC ND

Научная статья

ОБОСНОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЕ ОБУСТРОЙСТВО ЗЕМЕЛЬ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОПУСТЫНИВАНИЮ

Е.А. Корнеева

Аннотация

Обоснование. В последние десятилетия экологические проблемы, связанные с деградацией земель и истощением почвенного покрова, стали особенно острыми на юге России. Последствия от этих угроз принято называть опустыниванием.

Лесная мелиорация является одним из эффективных мероприятий по управлению опустыниванием земель. При этом инструментарий оценки затрат на создание лесонасаждений на землях, подверженных опустыниванию, проработан слабо. В этой связи требуются исследования по разработке оптимальных экономически эффективных лесомелиоративных режимов.

Цель исследования. Обосновать в современных ценах инвестиции в создание защитных лесных насаждений на пахотных угодьях Нижнего Поволжья для управления опустыниванием.

Материалы и методы. Затраты рассчитывались с помощью программного комплекса «Гранд-Смета» в ценах IV квартала 2022 года в соответствии с климатическими критериями степени уязвимости исследуемой территории к опустыниванию, установленными с помощью программы для ЭВМ «Математическая модель оценки вероятности опустынивания в зависимости от климатических факторов».

Результаты. Получены фактическая величина, структура, динамика и функции затрат, необходимых на создание 1 га защитных лесных насаждений в природно-климатических условиях Нижнего Поволжья. Установлено, что лесомелиоративное обустройство агротерритории региона, которая по климатическому критерию относится к категории со средним, высоким и гипервысоким риском опасности опустынивания, составляет 2,2-11,3 тыс. руб. в расчете на единицу (на 1 га) агролесоландшафта.

Заключение. Исследования показали, что затраты на лесную мелиорацию пахотных земель, подверженных опустыниванию, должны быть строго обоснованы не только с позиции полноценного предотвращения деградации почвенного покрова, но и, что немаловажно сегодня, с позиции экономически эффективных вариантов инвестирования.

Ключевые слова: опустынивание; программа для ЭВМ; уязвимость земель к деградации; лесная мелиорация; затраты

Для цитирования. Корнеева, Е. А. (2025). Обоснование затрат на лесомелиоративное обустройство земель, подверженных опустыниванию. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 267-281. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1022

Original article

JUSTIFICATION OF THE COSTS OF FOREST RECLAMATION OF LANDS SUBJECT TO DESERTIFICATION

E.A. Korneeva

Abstract

Background. In recent decades, environmental problems related to land degradation and depletion of soil cover have become especially acute in the south of Russia. The consequences of these threats are commonly referred to as desertification.

Forest reclamation is one of the effective measures to manage land desertification. Along with numerous forest reclamation technological solutions known in science, the tools for estimating the costs of creating plantations on lands prone to desertification are poorly developed. In this regard, research is required to develop optimal cost-effective forest reclamation regimes.

Purpose. To justify investments in the creation of protective forest plantations in the arable lands of the Lower Volga region to manage desertification at the level of modern prices.

Materials and methods. The costs were calculated using «Grand Smeta» software package in prices of the fourth quarter of 2022 in accordance with the climatic criteria for the degree of vulnerability of the studied territory to desertification, established using the computer program «Mathematical model for estimating the probability of desertification depending on climatic factors».

Results. The actual value, structure, dynamics and functions of the costs required to create 1 ha of protective forest plantations in the natural and climatic conditions of the Lower Volga region are obtained. It has been established that the forest management of agroterritories in the region, which, according to the climatic criterion, belongs to the category with medium, high and hyperhigh risk of desertification, amounts to 2.2-11.3 thousand rubles per unit (per 1 ha) of the agroforestry landscape.

Conclusion. Research has shown that the costs of forest reclamation of arable lands subject to desertification must be strictly justified not only from the perspective of full-fledged prevention of soil degradation, but also, importantly today, from the perspective of cost-effective investment options.

Keywords: desertification; computer software; vulnerability of lands to degradation; forest reclamation; costs

For citation. Korneeva, E. A. (2025). Justification of the costs of forest reclamation of lands subject to desertification. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 267–281. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1022

Введение

Неотложной задачей обеспечения продовольственной безопасности России [17; 23] является сохранение и восстановление продуктивного потенциала сельскохозяйственных угодий и защита почвенного покрова пашни от деградации [4]. Ветровая эрозия – одна из наиболее распространенных и разрушительных ее форм. Опустынивание рассматривают как конечное следствие деградации земель в экосистеме [24].

Проблема опустынивания земель напрямую связана с устойчивостью почвенного покрова, которая предусматривает возможность противостоять различным процессам деградации и реагировать на процесс изменения плодородия [2]. Концепция устойчивого управления земельными ресурсами представляет собой систему технологий, которая объединяет экологические и социально-экономические принципы для эффективного управления землями, используемыми в сельском хозяйстве [22; 27].

Лесная мелиорация является не только эффективной технологией предотвращения деградации и опустынивания земель [7], но и действенным средством адаптации сельского хозяйства к изменению климата и смягчению его последствий [20]. Кроме того, облесенные угодья обеспечивают многочисленные экосистемные услуги и вносят определенный вклад в региональную экономику страны [19].

В отличие от естественных лесов с нулевой стоимостью создания, лесомелиоративное обустройство пахотных земель требует немалых ин-

вестиций [26]. В этой связи требуется обоснование затрат на создание защитных лесных насаждений в Нижнем Поволжье в соответствии с риском опустынивания с целью выбора наиболее приемлемого варианта для управления и обеспечения устойчивости агропроизводства региона.

Цель исследования – обосновать в современных ценах инвестиции в создание защитных лесных насаждений на пахотных угодьях Нижнего Поволжья для управления опустыниванием.

Материалы и методы

Исследования базировались на новой методологии оценки эффективности капитальных вложений на лесомелиоративное обустройство пахотных земель в России [8] и за рубежом [18].

Были рассчитаны затраты на создание ветроломных защитных насаждений площадью 1 га с нахождением кустарника в крайних рядах, характеризующихся силой роста и долговечностью видового состава:

а) чистая посадка быстрорастущих древесных пород с кустарником, высаженным в крайних рядах;

б) смешанная посадка долговечных, медленнорастущих древесных пород и кустарников в крайних рядах.

Сочетание пород и основные параметры зоны, занятой под лесонасаждения (рядность, длина, ширина, расположение посадочных площадей и т.д.), определялись в соответствии с лесорастительными условиями Нижнего Поволжья на основе типовых руководящих документов [10; 11].

Затраты на создание защитных насаждений отражаются в расходных статьях баланса и включают стоимостное выражение проектно-сметной документации, землеотвода и подготовки почвы, посадки, приобретения семян и посадочного материала (включая погрузочно-разгрузочные работы и их транспортные расходы), дополнительных посадок выпавших культур, ухода за почвой в рядах и междурядьях и выращивания леса.

Расчет затрат производили с помощью программного комплекса «Гранд Смета» в ценах 4 кв. 2022 года. Расчет стоимости одного гектара лесной площади производился на основе имеющихся проектно-технических документов на работы по защитному лесоразведению [14]. Для пересчета сметной стоимости строительно-монтажных работ в современные цены использовались индикаторы изменения их стоимости [12].

В качестве основной системообразующей связи рассматривалось ветрозащитное действие лесополосы на сельскохозяйственный ландшафт [3]. Расчеты проводились на модели, имитирующей пашню и насаждения

площадью 400 га (2000х2000 м), с учетом уязвимости условий природно-климатических зон Нижнего Поволжья к опустыниванию.

Климатические показатели этих зон были установлены и классифицированы по районам и их административному положению в соответствии с агролесомелиоративным районированием РФ [1; 13].

Степень уязвимости земель к деградации и опустыниванию определялась с помощью программы для ЭВМ «Математическая модель оценки вероятности опустынивания в зависимости от климатических факторов» [6]. Основу данного программного продукта составил инструментарий специализированного метода MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use) [21; 25].

Результаты исследований

Обработка земель в бассейне Нижней Волги в основном приурочена к черноземам. Уровень использования пахотных земель здесь самый высокий (85-90%). В сухих степях (около 69 %) и полупустынях (63 %) уровень возделывания ниже. Почвы, подверженные дефляции, также широко используются для возделывания. Только в Волгоградской области таких почв 4137,1 га, в степной зоне – 2122,8 га, в зоне сухой степи – 1936,3 га, в полупустынной зоне – 78,0 га [15].

Затраты на создание защитных лесонасаждений включают подготовку проектно-сметной документации, перенос проекта на землю, отвод земель, подготовку почвы, посадку деревьев и кустарников, затраты на семена и посадочный материал, включая погрузочно-разгрузочные работы и их транспортировку, пополнение лесопосадок, уход за почвой и содержание деревьев в надлежащем виде. Помимо прямых затрат, в стоимость работ по природоохранному лесоразведению входят накладные расходы, плановые накопления и лимитированные затраты.

Проектно-изыскательские работы включают подготовку и проведение полевых исследований, камеральную обработку полученных данных и разработку проекта природоохранного лесообустройства пашни. Общая стоимость этого комплекса работ зависит от категории сложности изысканий (топографических условий) и в современных ценах она составляет около 3,0-7,2 тыс. рублей/га [16].

Системы обработки (улучшения) почв, дающие хорошие результаты при создании лесонасаждений, характеризуются следующими показателями [1]. На дренированных обыкновенных черноземах, где почва после уборки зерновых покрывается коркой, производится отвальная вспашка

осенью до 30 см, на следующий год производится дополнительная глубокая вспашка до 40 см, покровное боронование весной, зяблевая вспашка с безотвальным рыхлением до 30 см и предпосадочная вспашка. На каштановых почвах производится удаление стеблей, весеннее покровное боронование и летняя вспашка в первый год, осенью производится безотвальная обработка на глубину до 60 см, на второй год отвальная вспашка осенью до 30 см, зяблевая обработка и предпосевное боронование. Светло-каштановые почвы обрабатываются на глубину до 60 см в двухлетней системе "черный пар". Стоимость мероприятий по обработке почвы увеличивается по мере ухудшения условий выращивания и составляет 7,1-24,8 тыс. рублей/га.

Общая стоимость всех выполняемых работ по созданию полезащитных ветроломных лесных полос на дефляционно-опасных землях зависит, прежде всего, от качества лесорастительных условий и породного состава лесонасаждений (табл. 1). Величина затрат в расчете на гектар лесополосы увеличивается по направлению от севера к югу региона – от лесостепной зоны к полупустыне – примерно с 66 до 100 тыс. руб. Это связано как с изменением качества обрабатываемой почвы и ростом расходов на ее предпосадочную обработку, так и с количеством уходов за почвой в защитных лесных полосах до смыкания крон деревьев. Количество указанных уходов увеличивают с усилением засушливости климата с 5 до 10 лет, а в полупустыне уход осуществляется нередко на протяжении всей жизни лесной полосы (по мере надобности) [7].

Наибольшая доля в общей стоимости мероприятий по созданию ветроломных лесных полос занимает стоимость работ по посадке и дополнению лесных полос, а также мероприятий по уходу в рядах и междурядьях – в среднем, соответственно, 38% и 32%. Затраты на лесоводственные уходы за насаждениями с участием дуба в 2,1-2,5 раза больше, чем в насаждениях из других быстрорастущих пород, что связано с особенностями роста этих насаждений. Однако в целом создание лесных насаждений из медленнорастущих древесных пород, создание которых нецелесообразно в полупустынной зоне, обходится в среднем на 8% дешевле, чем насаждений из других быстрорастущих пород, что обусловлено, главным образом, более низкой закупочной ценой желудей по сравнению с сеянцами двухлетками.

Для определения территориальной динамики затрат на создание ветроломных лесных полос была установлена их величина в расчете на единицу площади, подлежащей лесомелиоративному обустройству. Для этого моделировались варианты облесения территории размером 400 га с раз-

личными межполосными расстояниями, измеряемыми высотами лесонасаждений в кратном их степени противодеградационной защиты размере (Н). Это позволило выявить капиталоемкость различных режимов облесения пахотной территории и определить связь затрат с природной зоной (табл. 2). Установлено, что при всех вариантах лесомелиоративного обустройства затраты являются функцией природно-климатических условий исследуемой территории (r^2≈95-99 %).

Таблица 1.

Стоимость создания 1 га ветроломных полезащитных лесных полос в Нижнем Поволжье, руб . (составлено автором)

Статья затрат	Лесостепь	Степь	Сухая степь	Полупустыня
Гидротермический коэффициент (ГТК)	0,9	0,8	0,6	0,4
Проектные изыскания	3000	3000	3000	3000
Системы подготовки почвенного покрова	1-летний черный пар с зяблевой вспашкой	1-летний черный пар с зяблевой вспашкой	1-летний черный пар с плантажной вспашкой	2-летний черный пар с плантажной вспашкой
Вариант 1 – использование быстрорастущих пород (лесостепь, степь – береза повислая, сухая степь, полупустыня – робиния лжеакация, гледичия трехколючковая, вяз приземистый)				
Система подготовки почвы	7097	7097	15490	24820
Закладка и дополнение посадок	34448	34448	37745	30733
Агротехнические уходы	19488	29568	31451	32038
Лесоводственные уходы в насаждениях 1-го возрастного периода	7169	7218	6098	6098
Итого	71202	81331	93784	96689
Вариант 2 – использование медленнорастущих пород (дуб черешчатый)				
Система подготовки почвы	7097	7097	15490	х
Закладка и дополнение посадок	23704	23704	23704	х
Агротехнические уходы	20383	30016	32030	х
Лесоводственные уходы в насаждениях 1-го возрастного периода	14933	14933	14933	х
Итого	66117	75750	86157	х

Таблица 2.

Зависимость капиталоемкости (*y*, тыс. руб.) лесомелиоративных режимов от природно-климатических условий (x, ГТК) аграрной территории, тыс. руб./400 га агролесоландшафта (составлено автором)

Лесомелиоративный режим	Регрессионное уравнение для медленнорастущих пород	Регрессионное уравнение для быстрорастущих пород
Типовой режим (30 Н)	$y = -3107x + 3326$ $r^2 = 0{,}977$	$y = -2451x + 2889$, $r^2 = 0{,}959$
Промежуточный режим (22 Н)	$y = -5784x + 5693$ $r^2 = 0{,}997$	$y = -4336x + 4636$, $r^2 = 0{,}980$
Оптимальный режим (15 Н)	$y = -7609x + 7593$ $r^2 = 0{,}948$	$y = -5799x + 6298$, $r^2 = 0{,}976$

Реализация лесомелиоративных мероприятий требует значительных инвестиций, поэтому важно обосновать их размер, учитывая степень уязвимости земель к экологическим угрозам. Главной функцией ветроломных лесных полос является защита пахотных земель от деградации и опустынивания. При разработке лесомелиоративного режима необходимо учитывать эти факторы, а также природно-климатические и экологические условия местности [5].

С помощью использования программного продукта «Математическая модель оценки вероятности опустынивания в зависимости от климатических факторов», и мониторинга климатических индикаторов чувствительности земель к опустыниванию проанализирована степень подверженности этому процессу территории Нижнего Поволжья (табл. 3).

Исследование показало, что риск опустынивания от климатических условий увеличивается по мере продвижения с северо-запада на юго-восток региона, где количество осадков уменьшается, а климат становится более аридным. Управление риском опустынивания в Нижнем Поволжье возможно снижением его величины до безопасных пределов за счет корректировки пространств между защитными лесными насаждениями – их уменьшения с 30 Н до 15 Н. Защищенность угодий при этом будет приближена к 100 %.

Экономически оправданный размер удельных затрат в расчете на единицу площади агроландшафта, обустраиваемого системой лесонасаждений с указанными межполосными пространствами, в Нижнем Поволжье составляет 2,2-11,3 тыс. руб. на 1 га агролесоландшафта. Величина этих затрат в 1,2-2,2 раза выше капиталоёмкости типового лесомелиоративного режима, рекомендуемого нормативными документами для данных лесорастительных условий.

Таблица 3.

Затраты на проведение мероприятий по лесомелиоративному обустройству пахотных земель бассейна Нижней Волги в зависимости от степени уязвимости земель к деградации и опустыниванию (составлено автором)

	Лесостепь	Степь	Сухая степь	Полупустыня
	Север Саратовской области	Северо-запад Волгоградской области	Западная часть Волгоградской области	Юго-восток Волгоградской области
Среднегодовые осадки, мм	500	350	250	200
Индекс аридности Де Мартонна	33,33	22,58	13,66	10,00
Уязвимость к деградации и опустыниванию	класс среднего риска	класс сильного риска	класс сильного риска	класс риска гиперопустынивания
Лесомелиоративный режим	22 Н	15 Н	15 Н	15 Н
Затраты на единицу обустроенной лесом пахотной площади (оптимум)*, тыс. руб.	2,16	4,15	9,24	11,29
Нормативные затраты на лесную мелиорацию (30 Н), тыс. руб.	1,80	2,49	4,35	5,09

* – в среднем для быстрорастущих и медленнорастущих лесообразующих пород

Вместе с тем, несмотря на более значительную величину, указанные затраты на лесомелиоративные мероприятия позволят обеспечить более высокую отдачу от капиталовложений за счет предотвращения ущерба землепользователей от деградации и опустынивания земель в виде потерь почвенного плодородия и обеспечения устойчивости аграрного производства региона на длительную перспективу [9].

Выводы

При обосновании затрат на лесную мелиорацию пахотных земель в современных природно-хозяйственных условиях следует руководствоваться не только инструктивными документами по созданию защитных лесных насаждений на полях, но и оценивать текущую климатическую ситуацию подверженности земель деградации и опустыниванию, а также имеющийся объем финансовых ресурсов. Это позволит разработать наиболее эффективный вариант размещения лесополос в ландшафте не только с точки зрения полноценной мелиоративной и противодеградационной защиты

территории, но, что в настоящее время немаловажно, и с точки зрения экономически эффективного варианта инвестиций.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках темы государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № FNFE-2022-0015: «Управление процессами опустынивания аридных территорий по данным мониторинга почв, климата и земель, подверженных опустыниванию, методами математического моделирования».

Список литературы

1. Агролесомелиорация (5-е издание переработанное и дополненное). (2006). Волгоград: ВНИАЛМИ. 746 с.
2. Беляков, А. М., & Кошелев, А. В. (2023). Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны Волгоградской области. *Аридные экосистемы*, *29*(1), 120–130. https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-120-130
3. Васильев, Ю. И. (2003). *Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв.* Волгоград: ВНИАЛМИ. 176 с.
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. (2022). Москва: ФГБНУ Росинформагроте. 356 с.
5. Корнеева, Е. А. (2020). Эффективность финансирования лесомелиоративных мероприятий для обеспечения устойчивого развития аграрных регионов юга европейской территории России. *Экономика региона*, *16*(3), 871–883. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-15
6. Корнеева, Е. А., & Беляев, А. И. (2023). Математическая модель оценки вероятности опустынивания в зависимости от климатических факторов. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2023668489 от 08 июня 2023 г.
7. Манаенков, А. С. (2018). *Лесомелиорация арен засушливой зоны* (2-е издание переработанное и дополненное). Волгоград: Издательство ФНЦ агроэкологии РАН. 428 с.
8. Манаенков, А. С., & Корнеева, Е. А. (2012). Методологические аспекты экономической оценки многофакторного воздействия на агроландшафты ветроломных лесных полос. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*, *(27)*, 27–30.
9. Манаенков, А. С., & Корнеева, Е. А. (2016). Почвозащитная эффективность лесной мелиорации на склоновых землях юга Европейской территории России. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, *(1)*, 24–27.

10. Методические указания по размещению полезащитных лесных полос в районах с активной ветровой эрозией. (1984). Москва: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина. 59 с.
11. Нормативы формирования оптимальных лесомелиоративных комплексов на пахотных землях с учётом факторов деградации агроландшафтов в хозяйствах разной формы собственности. (2002). Москва: Россельхозакадемия. 56 с.
12. Министерство строительства и ЖКХ РФ (2022). Письмо № 58497-ИФ/09 от 08 ноября 2022 г. «О рекомендуемой величине индексов изменения сметной стоимости строительства в IV квартале 2022 года». Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Получено с http://docs.cntd.ru/document/564316115 (дата обращения: 21 февраля 2023 г.)
13. Погода и климат. (2022). Получено с http://www.pogodaiklimat.ru/ (дата обращения: 15 декабря 2022 г.)
14. Сборник расчетно-технологических карт на работы по защитному лесоразведению. Том I. Создание полезащитных и водорегулирующих лесных полос. (1985). Москва: Союзгипролесхоз. 268 с.
15. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Волгоградской области на период до 2015 года. (2009). Волгоград: ИПК Волгоградской ГСХА «Нива». 304 с.
16. Справочник базовых цен на проектные работы для строительства «Объекты лесного хозяйства». (2006). Москва: Росстрой. 17 с.
17. Bakharev, V. V., Mityashin, G. Yu., Stelmashonok, E. V., et al. (2023). Trends of Evolution of Food Security: Digital Transformation, Social Entrepreneurship and Human Dignity. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(2), 363–391. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391
18. Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., & Nolè, A. (2012). Performance Evaluation and Cost Assessment of a Key Indicator System to Monitor Desertification Vulnerability. *Ecological Indicators*, *23*, 123–129. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015
19. Korneeva, E. A. (2023). Monetary Valuation of Ecosystem Services Provided by Protective Forest Plantations in the Agroforestry System in the South of the Volga Upland. *Forests*, *14*, 1955. https://doi.org/10.3390/f14101955
20. Korneeva, E. A., & Belyaev, A. I. (2023). Assessment of the Impact of Forest Reclamation Measures for the Adaptation of Agriculture to Climate Change in the South of the Russian Plain. *Forests*, *14*, 1593. https://doi.org/10.3390/f14081593
21. Kosmas, C., Kirkby, M., & Geeson, N. (1999). Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertifica-

tion. *MEDALUS Project Report EUR 18882*, European Commission, Brussels. 94 p.
22. Kotliarov, I. D. (2022). Heterogeneity of Stakeholders as an Obstacle to the Development of Agricultural Cooperatives in Russia. *Russian Peasant Studies*, *7*(4), 20–32. https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32
23. Plotnikov, V., Nikitin, Y., Maramygin, M., & Ilyasov, R. (2021). National Food Security under Institutional Challenges (Russian Experience). *International Journal of Sociology and Social Policy*, *41*(1–2), 139–153. https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074
24. Sarparast, M., Ownegh, M., Najafinejad, A., & Sepehr, A. (2018). An Applied Statistical Method to Identify Desertification Indicators in Northeastern Iran. *Geoenvironmental Disasters*, *5*, 3. https://doi.org/10.1186/s40677-018-0095-3
25. Sepehr, A., Hassanli, A. M., Ekhtesasi, M. R., & Jamali, J. B. (2007). Quantitative Assessment of Desertification in South of Iran Using MEDALUS Method. *Environmental Monitoring and Assessment*, *134*, 243–254. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9613-6
26. Tubalov, A. A. (2023). Spatial Principles of Territories Selection for Priority Development of Agroforestry Complexes. *Forests*, *6*, 1225. https://doi.org/10.3390/f14061225
27. Weiland, S., Hickmann, T., Lederer, M., Marquardt, J., & Schwindenhammer, S. (2021). The 2030 Agenda for Sustainable Development: Transformative Change Through Sustainable Development Goals? *Politics and Governance*, *9*, 90–95. https://doi.org/10.17645/pag.v9i1.4191

References

1. Agrolesoamelioration (5th Edition, Revised and Extended). (2006). Volgograd: VNIALMI. 746 p.
2. Beliakov, A. M., & Koshelev, A. V. (2023). Characteristics of degradation processes in agricultural landscapes of the xerophytic steppe zone of the Volgograd region. *Arid Ecosystems*, *29*(1), 120–130. https://doi.org/10.24412/1993-3916-2023-1-120-130
3. Vasilyev, Yu. I. (2003). Efficiency of forest belt systems in combating soil deflation. Volgograd: VNIALMI. 176 p.
4. Report on the Status and Usage of Agricultural Lands in the Russian Federation in 2021. (2022). Moscow: FGNU Rosinformagrotekh. 356 p.
5. Korneeva, E. A. (2020). Efficiency of financing forestry improvement measures for ensuring sustainable development of agricultural regions in the southern part of the European territory of Russia. *Regional Economics*, *16*(3), 871–883. https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-15

6. Korneeva, E. A., & Belyaev, A. I. (2023). Mathematical model for estimating probability of desertification depending on climatic factors. Patent certificate № 2023668489 dated June 8, 2023.
7. Manaenkov, A. S. (2018). Afforestation of Dryland Arenas (2nd Edition, Revised and Extended). Volgograd: Publishing House of FNC AE RAS. 428 p.
8. Manaenkov, A. S., & Korneeva, E. A. (2012). Methodological aspects of economic evaluation of multifactorial impact on agricultural landscapes by windbreak forest belts. *Proceedings of the Lower Volga Agrouniversity Complex: Science and Higher Professional Education*, *(27)*, 27–30.
9. Manaenkov, A. S., & Korneeva, E. A. (2016). Soil-protective efficiency of forestry improvements on sloping lands in the southern part of the European territory of Russia. *Bulletin of Russian Agricultural Sciences*, *(1)*, 24–27.
10. Guidelines for placing protective forest belts in areas with active wind erosion. (1984). Moscow: All-Union Lenin Academy of Agricultural Sciences. 59 p.
11. Normatives for forming optimal forestry-improvement complexes on cultivated lands considering degraded agricultural landscapes in farms with different ownership structures. (2002). Moscow: Rosselkhozakademia. 56 p.
12. Ministry of Construction and Housing and Utilities of the Russian Federation. (2022). Letter No. 58497-IF/09 dated November 8, 2022, "On Recommended Indices for Adjusting Budget Prices in the Fourth Quarter of 2022". Electronic Fund of Legal and Technical Documentation. Retrieved from http://docs.cntd.ru/document/564316115 (Accessed February 21, 2023).
13. Weather and Climate. (2022). Retrieved from http://www.pogodaiklimat.ru/ (Accessed December 15, 2022).
14. Handbook of Calculated Technological Maps for Protective Afforestation Works. Volume I. Creation of Protective and Water-regulating Forest Strips. (1985). Moscow: Soyuzgiproleskhoz. 268 p.
15. System of Adaptive Landscape Farming in the Volgograd Region for the Period Until 2015. (2009). Volgograd: IPK Volgograd State Agricultural Academy "Niva". 304 p.
16. Reference Manual of Baseline Prices for Design Work in Construction "Objects of Forestry". (2006). Moscow: Rosstroy. 17 p.
17. Bakharev, V. V., Mityashin, G. Yu., Stelmashonok, E. V., et al. (2023). Trends of Evolution of Food Security: Digital Transformation, Social Entrepreneurship and Human Dignity. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(2), 363–391. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391
18. Ferrara, A., Salvati, L., Sateriano, A., & Nolè, A. (2012). Performance Evaluation and Cost Assessment of a Key Indicator System to Monitor Desertifica-

tion Vulnerability. *Ecological Indicators*, *23*, 123–129. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.015

19. Korneeva, E. A. (2023). Monetary Valuation of Ecosystem Services Provided by Protective Forest Plantations in the Agroforestry System in the South of the Volga Upland. *Forests*, *14*, 1955. https://doi.org/10.3390/f14101955
20. Korneeva, E. A., & Belyaev, A. I. (2023). Assessment of the Impact of Forest Reclamation Measures for the Adaptation of Agriculture to Climate Change in the South of the Russian Plain. *Forests*, *14*, 1593. https://doi.org/10.3390/f14081593
21. Kosmas, C., Kirkby, M., & Geeson, N. (1999). Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification. *MEDALUS Project Report EUR 18882*, European Commission, Brussels. 94 p.
22. Kotliarov, I. D. (2022). Heterogeneity of Stakeholders as an Obstacle to the Development of Agricultural Cooperatives in Russia. *Russian Peasant Studies*, *7*(4), 20–32. https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32
23. Plotnikov, V., Nikitin, Y., Maramygin, M., & Ilyasov, R. (2021). National Food Security under Institutional Challenges (Russian Experience). *International Journal of Sociology and Social Policy*, *41*(1–2), 139–153. https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074
24. Sarparast, M., Ownegh, M., Najafinejad, A., & Sepehr, A. (2018). An Applied Statistical Method to Identify Desertification Indicators in Northeastern Iran. *Geoenvironmental Disasters*, *5*, 3. https://doi.org/10.1186/s40677-018-0095-3
25. Sepehr, A., Hassanli, A. M., Ekhtesasi, M. R., & Jamali, J. B. (2007). Quantitative Assessment of Desertification in South of Iran Using MEDALUS Method. *Environmental Monitoring and Assessment*, *134*, 243–254. https://doi.org/10.1007/s10661-007-9613-6
26. Tubalov, A. A. (2023). Spatial Principles of Territories Selection for Priority Development of Agroforestry Complexes. *Forests*, *6*, 1225. https://doi.org/10.3390/f14061225
27. Weiland, S., Hickmann, T., Lederer, M., Marquardt, J., & Schwindenhammer, S. (2021). The 2030 Agenda for Sustainable Development: Transformative Change Through Sustainable Development Goals? *Politics and Governance*, *9*, 90–95. https://doi.org/10.17645/pag.v9i1.4191

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Корнеева Евгения Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук (ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97 , г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
korneeva.eva@list.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Evgenia A. Korneeva, PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher
Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
korneeva.eva@list.ru

Поступила 07.04.2024
После рецензирования 29.07.2024
Принята 07.08.2024

Received 07.04.2024
Revised 29.07.2024
Accepted 07.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054 **EDN: XLRKHE**
УДК 630.453:595.7(571.51)

CC BY NC ND

Научная статья

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВСПЫШКИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА НА ОСНОВЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СИБИРИ

С.М. Сультсон, А.А. Горошко, Д.А. Демидко, П.В. Михайлов, О.А. Слинкина, Н.Н. Кулакова

Аннотация

Обоснование. Деградация темнохвойных лесов с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в результате массового размножения сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) приводит к значительному экологическому и экономическому ущербу на региональном уровне. Идентификация экологии поведения популяции фитофага в условиях горного рельефа открывает возможности совершенствования системы мониторинга и применения цифровой модели рельефа для прогноза распространения вспышки, что позволит своевременно предпринимать активные лесозащитные мероприятия.

Цель. Провести анализ пространственно-временной динамики закономерности развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных в условиях горных южно-таежных лесов Сибири.

Материалы и методы. Исследование проведено методом ретроспективного анализа на базе геоинформационной системы совмещенного с данными дистанционного зондирования Земли. Материалом послужил временной ряд спутниковых снимков Landsat – 8, полученных с геопортала Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) с пространственным разрешением данных 30 м.

Результаты. На основе временных рядов космоснимков Landsat – 8 исследована динамика повреждений темнохвойных лесных формаций, индуцированная вспышкой массового размножения сибирского шелкопряда. Произведена оценка площади дефолиированных лесов и ландшафтной приуроченности повреждений с применением цифровой модели рельефа ASTER, в целях детализации параметров прогноза развития вспышки фитофага по

орографическим признакам – высоте над уровнем моря, уклону местности и экспозиции склонов в условиях среднегорного рельефа.

Заключение. Рекомендуемые тенденции раннего обнаружения очагов массового размножения фитофага в границах горных южно-таежных лесов должны быть направлены на первоначальном мониторинге темнохвойных насаждений, сосредоточенных на высотах от 400 до 600 м над уровнем моря, расположенных на пологих участках и склонах крутизной до 15^0, включая экспозиции преимущественно занятых зеленомошниковой группой типов леса.

Ключевые слова: Landsat 8; мониторинг и анализ; ландшафтная экология; сибирский шелкопряд; *Dendrolimus sibiricus* Tschetv.; повреждение древостоев; сибирский кедр; *Pinus sibirica* Du Tour; пихта сибирская; *Abies sibirica* Ledeb.; высота над уровнем моря; уклон местности; экспозиция склона; цифровая модель рельефа; тип леса; пространственно-временная динамика

Для цитирования. Сультсон, С. М., Горошко, А. А., Демидко, Д. А., Михайлов, П. В., Слинкина, О. А., & Кулакова, Н. Н. (2025). Анализ пространственного распространения вспышки сибирского шелкопряда на основе рельефа местности в условиях горных южно-таёжных лесов Сибири. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 282-307. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054

Original article

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SIBERIAN SILKMOTH OUTBREAK AREA BASED ON TERRAIN FEATURES IN THE SIBERIAN MOUNTAIN SOUTHERN TAIGA FORESTS

S.M. Sultson, A.A. Goroshko, D.A. Demidko, P.V. Mikhaylov, O.A. Slinkina, N.N. Kulakova

Abstract

Background. The degradation of coniferous forests dominated by siberian fir *(Abies sibirica* Ledeb.) as a consequence of outbreaks of the Siberian silkmoth (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) gives rise to considerable environmental and economic damage at the regional level. An improved understanding of the ecology of the pest population in mountainous terrain will facilitate the development of a more effective monitoring system and the use of a digital terrain model to predict

the spread of the outbreak. This will allow the implementation of timely active forest protection measures.

Purpose. This study aims to investigate the spatiotemporal patterns of the Siberian silkmoth outbreak by analyzing orographic data from mountainous southern taiga forests in Siberia.

Materials and methods. The study was carried out by the method of retrospective analysis based on a geoinformation system combined with data from remote sensing of the Earth. The research was based on a time series of Landsat-8 images obtained from the USGS Earth Explorer data portal (https://earthexplorer.usgs.gov/) with a spatial resolution of 30 m**.**

Results. This was achieved by analyzing time series data from Landsat-8 satellite images. An assessment was conducted of the area of defoliated forests and the relief features of such an area using the ASTER digital elevation model. This was done in order to detail the parameters for predicting the development of the pest outbreaks based on the following orographic characteristics in mid-mountain relief: height above sea level, terrain slope and slope exposure.

Conclusion. It is recommended that the early detection of Siberian silkmoth outbreaks in mountainous southern taiga forests should be aimed at the initial monitoring of dark coniferous stands concentrated at altitudes from 400 to 600 m above sea level, located on flat areas and slopes of up to 15 degrees, including exposures predominantly occupied by feather moss forest types.

Keywords: Landsat 8; monitoring and analysis; landscape ecology; Siberian silkmoth; *Dendrolimus sibiricus* Tschetv.; damage to forest stands; Siberian pine; *Pínus sibírica* Du Tour; Siberian fir; *Ábies sibírica* Ledeb.; altitude; terrain slope; slope exposure; digital elevation model; forest type; spatiotemporal dynamics

For citation. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Demidko, D. A., Mikhaylov, P. V., Slinkina, O. A., & Kulakova, N. N. (2025). Analysis of the spatial distribution of the Siberian silk moth outbreak area based on terrain features in the Siberian mountain southern taiga forests. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 282–307. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1054

Введение

Популяция сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) является неотъемлемой частью таежных лесных экосистем, закономерно предпочитая определенные наиболее благоприятные условия для существования и функционирования в пространственно-временной динамике.

Как показывает практика, на протяжении нескольких десятилетий в большинстве случаев кардинальные меры по уничтожению фитофага

предпринимаются по достижении популяции эруптивной стадии, что в конечном итоге не всегда позволяет спасти значительные площади ценных лесных экосистем. Большая часть из них уже представляет погибшие или в перспективе значительно ослабленные насаждения, не имеющие возможности на восстановление [1; 13; 15]. Известно, что вспышки сибирского шелкопряда, наряду с пожарами, в значительной степени предопределяют ход сукцессионных процессов в таежных лесах [2; 16; 23]. В настоящее время, несмотря на отлаженную систему лесопатологического мониторинга, значительная проблема в своевременности принятия решений по борьбе с сибирским шелкопрядом лежит в плоскости современного лесоуправления и лесной законодательной базы. Несовершенство системы усложняет и затягивает процесс организации мероприятий для своевременного принятия мер специалистами лесопатологами по борьбе с фитофагом, что влечет за собой негативные последствия в утрате ценных сибирских лесов на длительный период и в совокупности приносит как экологический, так и экономический ущерб лесному хозяйству.

В связи с существующей проблемой целесообразно совершенствование методов, направленных на раннее обнаружение развития вспышки сибирского шелкопряда. В основе алгоритма должны лежать организационные моменты, связанные с территориальной особенностью существования резерватов популяции, выделенные на основе знаний о биоэкологии фитофага в сочетании с оперативным анализом состояния территории методами применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1; 6; 9; 17; 26; 29]. Кроме того, в случае развития вспышки важна возможность прогнозирования закономерности развития очага, поскольку данный процесс также обусловлен определёнными факторами и не всегда носит хаотический характер.

Одним из предикторов жизнедеятельности и распространения насекомого-вредителя является орографический фактор, выражающийся через особенности элементов рельефа, высоту над уровнем моря, экспозицию и крутизну склонов, возможное расселение вредителя с учетом его экологии. Организация фонового мониторинга с учетом знаний об уровне устойчивости лесного участка позволяет детально отслеживать их состояние и при раннем обнаружении предпринимать своевременно меры по предотвращению массового размножения [7; 12; 25; 33].

Цель исследования. Провести анализ пространственно-временной динамики закономерности развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных в условиях горных южно-таежных лесов Сибири.

В рамках существующей проблемы целью данного исследования являлось решение следующих задач:

- исследовать закономерность пространственно-временной динамики развития вспышки сибирского шелкопряда на основе особенностей орографических данных территории;
- проанализировать характер приуроченности очагов массового размножения фитофага к определенным элементам рельефа в условиях горных южно-таежных лесов;
- оценить перспективы раннего обнаружения очагов сибирского шелкопряда с помощью известных закономерностей биоэкологии вида и методов применения ДЗЗ.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено методом ретроспективного анализа на базе геоинформационной системы (ГИС) совмещенного с ДЗЗ. Для анализа использовался временной ряд спутниковых снимков Landsat – 8 полученных с геопортала Earth Explorer (https://earthexplorer.usgs.gov/) с пространственным разрешением данных 30 м. В современных исследованиях существуют хорошо зарекомендовавшие себя высокоточные методы классификации поврежденных фитофагами территорий с помощью таких изображений [4; 5; 8; 26; 29; 36]. В данной работе классификация снимков на предмет выделения повреждённых и неповрежденных участков леса проводилась на основе алгоритма «Случайный лес» и «xgBoost». При сравнении площадей нужно учитывать, что алгоритм классификации несколько занижает поврежденную площадь, поскольку не учитывает слабые повреждения насаждений, которые расположены преимущественно по краям очагов.

Определение особенностей расположения повреждений насаждений с учетом особенностей орографии осуществлялось с помощью цифровой модели рельефа ASTER Global DEM Version 3 (https://lpdaac.usgs.gov/news/nasa-and-meti-release-aster-global-dem-version-3/). В классификации использовалось три слоя рельефа: высота местности над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов.

Район исследования расположен в таежной зоне Саянского лесозащитного района и относится к зоне средней лесопатологической угрозы. Объектом изучения являлась область массового размножения сибирского шелкопряда в период 2018–2020 гг. в границах темнохвойных южных горно-таежных лесов Восточного Саяна (Красноярский край, Ирбейское лесничество).

Ландшафтный комплекс характеризуется среднегорным рельефом и территориально относится к Южно-Сибирской горной лесорастительной зоне, Алтае-Саянскому горно-таежному лесному району. Климат района резко континентальный и находится под влиянием влажных западных воздушных масс летом и сибирского антициклона зимой. Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 149–151 день. Абсолютный минимум температуры в январе – минус 50 ºС, абсолютный максимум в июле – 38,6 ºС. Среднегодовое количество осадков около 527 мм. Преобладающими ветрами являются ветры юго-восточного направления со средней скоростью 2,8–4,7 м/с.

Анализ развития вспышки фитофага проведен за период с июня 2018 по май 2020 гг. Количество сцен по данным космоснимков на определённую дату, демонстрирующих состояние лесов до вспышки и в различных стадиях повреждений популяцией вредителя, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Периоды наблюдений

Снимок	Дата съемки
LC08_L1TP_141022_20180812_20180815_01_T1	25.06.2018
LC08_L1TP_141022_20180929_20181009_01_T1	29.09.2018
LC08_L1TP_140022_20190504_20190520_01_T1	04.05.2019
LC08_L1TP_141022_20190730_20190801_01_T1	30.07.2019
LC08_L1TP_140022_20190909_20190917_01_T1	09.09.2019
LC08_L1TP_141022_20200513_20200526_01_T1	13.05.2020

В данной работе представлены сцены, наиболее выраженно демонстрирующие пространственно-временную динамику распространения сибирского шелкопряда в границах исследуемой территории (рис. 1). Фрагмент снимка, включающий зону поврежденных древостоев ограничен координатами - 54°92′ с.ш. / 95º77′ в.д.

Основной кормовой культурой сибирского шелкопряда в данном районе является пихта и кедр. Для оценки кормовой базы вредителя использовался планово-картографический материал лесоустройства. Региональная особенность темнохвойных формаций выражается в господстве зеленомошной группы, представленной целым набором типов леса. Кедровники и пихтарники чернично-зеленомошные, образующие типологический фон всей территории, приурочены к почвам подзолистого типа. Значительные площади занимают кедровники бадановые, произрастающие на слаборазвитых каменистых почвах и преимущественно на крутых склонах.

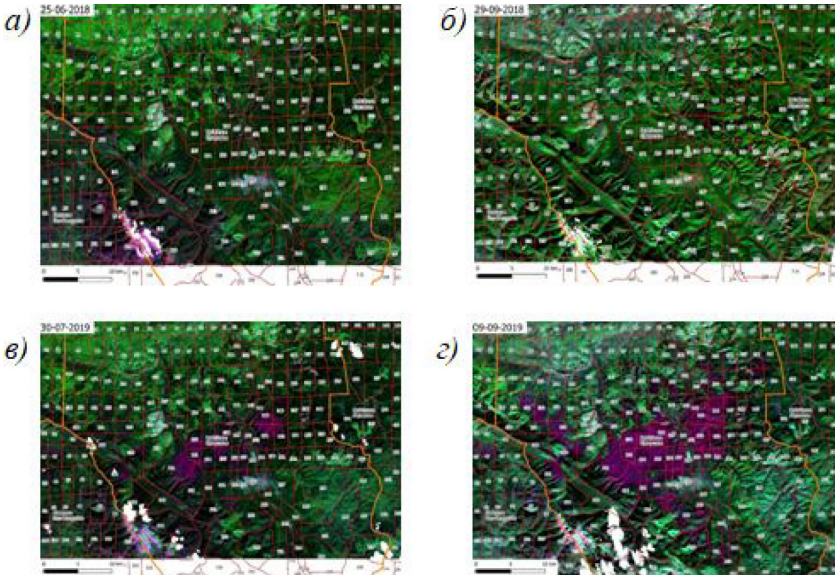


Рис. 1. Исследуемая область, показывающая экстенты изображений LANDSAT-8, полигоны обследований темнохвойных лесов, поврежденных сибирским шелкопрядом: *а*) состояние лесов до вспышки, суммарные площади поврежденных насаждений: *б*) – 109.7 га, *в)* – 3460.0 га, *г)* – 17690.2 га

Пихтовые леса приурочены к местообитаниям с благоприятным сочетанием тепла и влаги, представлены вейниково-крупнотравными и зеленомошно-кустарничковым типами леса. Сосняки зеленомошниковые отмечаются фрагментарно и локально. Лиственничники горно-таежные не имеют широкого распространения располагаясь, как и ельники, исключительно в ложбинах и по долинам рек. По возрастной структуре преобладают спелые и перестойные древостои, III – IV классов бонитета. Средняя полнота 0,5 – 0,7. Отдельные участки насаждений представлены высокобонитетными березовыми и осиновыми древостоями травяной группы типов леса.

Результаты и обсуждение

Исследуемая территория представлена участком хребта Идарское Белогорье, расположенного на северо-восточном макросклоне Восточного Саяна покрытых темнохвойными лесными формациями. Доминирующим повсеместно является среднегорный резко расчленённый эрозионный ре-

льеф с крутыми и затяжными склонами гор, часто обрывающимися у берегов рек отвесными скалами. Средние отметки высот над уровнем моря колеблются от 470 до 1200 м, крутизна склонов от 10 до 25^0, нередко достигает 40^0 [20; 35]. В северной части исследуемого участка элементы рельефа заняты лиственными и светлохвойными древостоями, в понижениях образуются болота, что одновременно исключает данную территорию из площади потенциального распространения сибирского шелкопряда. Кедровые и пихтовые древостои зонально приурочены к более высоким местоположениям и сосредоточены в центральной и южной частях данной местности.

Детальный анализ развития вспышки сибирского шелкопряда проводился с 29 сентября 2018 года. С данного периода на снимках зафиксированы первые повреждения насаждений, появившихся в результате дефолиации крон деревьев гусеницами сибирского шелкопряда.

Вспышки численности насекомых-вредителей тесно связаны с климатическими факторами, такими как продолжительные засухи и длительные периоды высокой температуры в различные сезоны вегетационного периода [10; 15; 21; 27; 28; 34]. Переход популяции в фазу вспышки произошел весной 2019 года. Массовому размножению сибирского шелкопряда способствовала недостаточная влагообеспеченность всего вегетационного периода 2015 года и июня, июля, сентября 2016 года, на фоне повышенных среднесуточных температур в этот период [32; 35].

Экологические аспекты формирования очагов размножения вредителя обусловлены наличием оптимальных условий гидротермических режимов напочвенного и почвенного покровов, значительных запасов основной кормовой породы вредителя, что способствует ускоренному развитию гусениц сибирского шелкопряда и повышенной выживаемости в кронах и в подстилке [19]. Сочетание перечисленных факторов предопределяет закономерности в экологии поведения фитофага в границах определенного природного территориального комплекса. Поэтому первичные очаги локальных вспышек массового размножения обычно приурочены к определённым ландшафтным структурам [3; 10; 15; 17; 25].

В горных условиях распространение сибирского шелкопряда находится в зависимости от высоты склона. По данным Ю.П. Кондакова в Алтае-Саянской лесорастительной области массовая концентрация вредителя характерна для нижнего пояса гор, по мере продвижения вверх популяция сокращается, доходя до отметки 800-900 м над уровнем моря. На более значительных высотах он почти не встречается [4; 10; 11]. Однако в совре-

менных условиях глобальное потепление климата вносит корректировки в экологию вредителя и способствует продвижению шелкопряда на север и выше в горы [24; 32]. На рисунке 2 представлена пространственная характеристика приуроченности поврежденных насаждений в зависимости от высоты над уровнем моря в границах исследуемой территории.

На снимках дефолиированные участки леса наблюдаются в виде периферических кругов неправильной формы, опоясывающих центр очага с погибшими деревьями. Данная картина связана с тем, что в период поражения лесов насекомыми-вредителями инвазии распространяются из центра очагов к периферии по принципу «затухающей волны» – чем дальше от ядра, тем меньше интенсивность повреждения древостоев [4; 10; 18; 35].

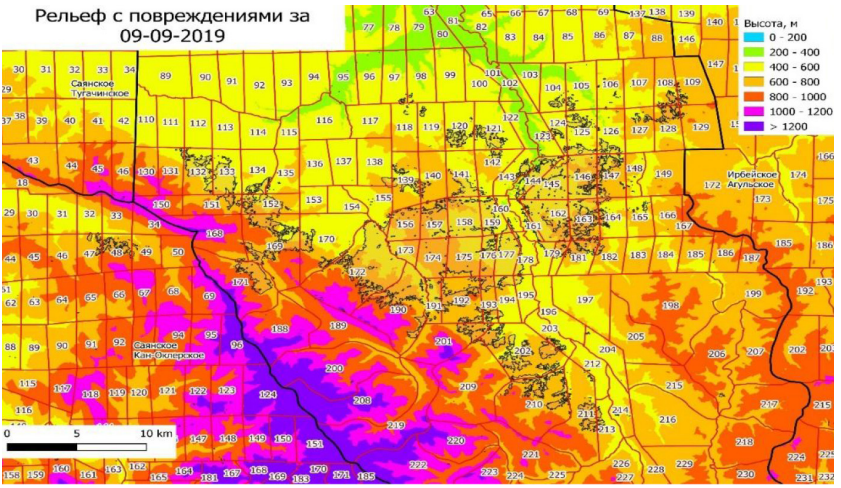


Рис. 2. Цифровая модель рельефа с участками поврежденных сибирским шелкопрядом темнохвойных насаждений в зависимости от высоты над уровнем моря

Наглядно пространственно-временная динамика распределения поврежденных насаждений по высоте над уровнем моря показана на рисунке 3.

При анализе учитывался только прирост площадей, поврежденных сибирским шелкопрядом, например, площади, поврежденные на 30.07.2019 не включали повреждения, обнаруженные ранее. То же справедливо для повреждений на 09.09.2019. Такой подход позволяет анализировать только те нарушения лесного полога, которые были выявлены между текущей и предшествующей датами.

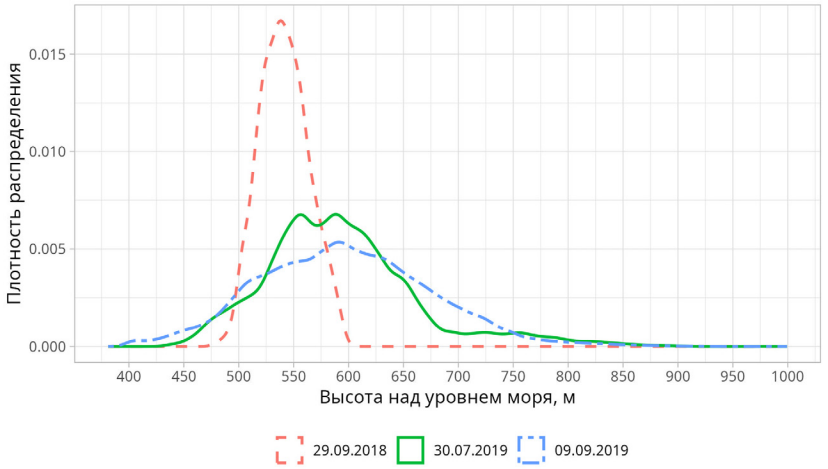


Рис. 3. Пространственно-временная динамика повреждения насаждений сибирским шелкопрядом с учетом высоты над уровнем моря

График показывает, что медианные значения высоты повреждений насаждений в 2018 г. были меньше, чем в последующие периоды. С течением времени размах варьирования повреждений по высоте увеличивается. Распределение случайных величин близко к нормальному. Описательные статистики распределений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Статистические показатели распределения поврежденных насаждений по высоте над уровнем моря

Дата	Рост площади, га	Высота, м				Квантиль						
		средняя	медиана	макс.	мин.	0,005	0,025	0,25	0,50	0,75	0,975	0,995
29.09.2018	109,7	541	540	596	478	491	501	525	540	557	586	592
30.07.2019	3198,2	584	582	746	429	456	477	545	582	620	712	739
09.09.2019	14120,5	595	593	807	385	412	451	541	593	646	744	786

Детальный анализ показал, что первоначальные очаги роста численности фитофага приурочены к участкам с высотой от 480 до 600 м над уровнем моря. В июле следующего вегетационного периода площадь повреждения древостоев увеличилась в 29 раз, проявления оча-

гов наблюдаются в диапазоне от 430 до 750 м над уровнем моря. К сентябрю прирост площади повреждений возрос еще в 4,4 раза. В горной части граница распространения вспышки сибирского шелкопряда останавливается в предгорье северо-восточного склона хребта, формируя вытянутую линию с отдельными участками локальных повреждений в выположенных участках рельефа (рис. 2). Максимальная высота обнаружения дефолиированных древостоев сибирским шелкопрядом составила 807 м с долей участия менее 0,5 % от общей площади поврежденных участков [35]. По данным Ю.П. Кондакова верхний предел очагового распространения сибирского шелкопряда на абсолютных высотах 800-900 м в горных южно-таежных лесах обусловлен лимитирующей ролью климатических факторов – многолетними показателями суммы активных температур 1200 ^{0}C и коэффициентом увлажнения 2.0 (по В.С. Мезенцеву) [11].

Следовательно, данный фактор при прогнозе развития вспышки сибирского шелкопряда для условий данного ландшафта должен учитываться крайние точки диапазона от 400 до 900 м. В целях раннего обнаружения активизации популяции вредителя основная зона мониторинга должна быть сосредоточена на участках темнохвойных лесов на высотах от 400 до 600 м.

При анализе пространственного размещения очагов сибирского шелкопряда важно изучить закономерности его экологической приуроченности к определённым элементам ландшафта [8]. Важна природная структура мест, где зарождается очаг массового размножения. Комплексными показателями рельефа при прогнозировании местонахождения резерваций вредителя является экспозиция и уклоны местности, сочетающие наиболее благоприятные микроклиматические условиями для массового размножения фитофага. В большинстве случаев центры инвазий сибирского шелкопряда приурочены к темнохвойным лесным формациям, произрастающим на пологих склонах, выпуклых вершинах холмов, слабовыпуклых частях наклонных вершин холмов южных экспозиций, слабовыпуклых и выпуклых частях восточных и юго-восточных пологих склонов [3; 7; 8; 10; 15; 25; 30; 31]. Такие участки темнохвойных лесов характеризуются наиболее дренированными и прогреваемыми условиями, произрастающими на рыхлых, относительно свежих и пористых, без признаков оглеения дерново-подзолистых почвах. Здесь наблюдаются более ранний сход снежного покрова, чем на других формах рельефа, и более поздние осенние заморозки, что

увеличивает продолжительность питания гусениц вредителя в кронах деревьев. Аэрация, гидротермический режим почвы и мощность подстилки определяют здесь лучшие условия для зимовки гусениц сибирского шелкопряда [3; 8; 15; 25].

На рисунке 4 представлена динамика распределения площадей, поврежденных сибирским шелкопрядом в зависимости от уклона местности.

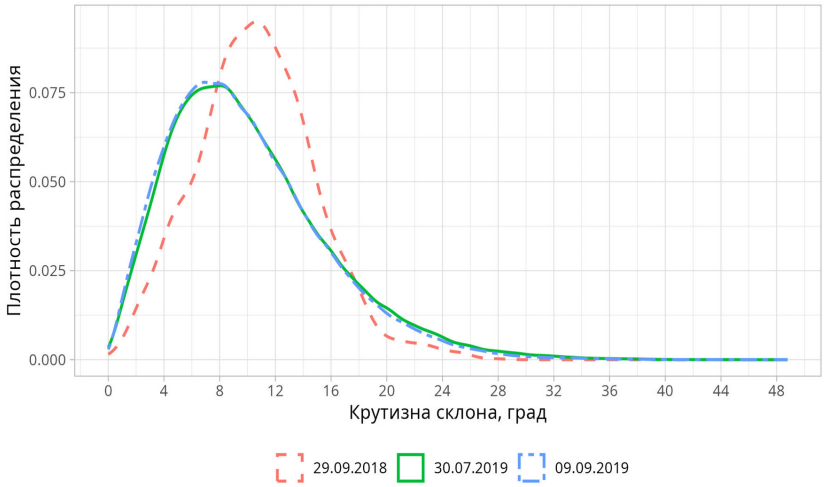


Рис. 4. Распределение площади поврежденных насаждений в зависимости от крутизны склона

График площади повреждений первоначальных очагов показывает сосредоточенность очагов преимущественно на пологих участках и склонах до 15^0, что неоднократно ранее подтверждено другими исследователями [3; 8; 15; 24]. В процессе распространения вспышки конкурентные отношения повышают миграционную активность особей, что при наличии в близлежащих участках кормовой базы сопровождается распространением вредителя на склоны большей крутизны [35]. В условиях среднегорного рельефа типичная картина объедания древостоев гусеницами в местах массового размножения характеризуется объеданием хвои у деревьев на вершинах и средних частях склонов, избегая пониженных участков из-за влажности и холодных микроклиматических условий [11; 18; 22; 25].

Детальная характеристика статистических признаков распределения площадей по данному признаку представлена в таблице 3.

Таблица 3.

Статистические показатели распределения поврежденных насаждений в зависимости от уклона местности

Дата	Уклон местности, градусы				Квантиль						
	средняя	медиана	макс.	мин.	0,005	0,025	0,25	0,50	0,75	0,975	0,995
29.09.2018	10,6	10,6	27,8	0,1	1,5	2,7	7,8	10,6	13,3	19,7	24,2
30.07.2019	9,8	9,0	42,4	0,1	0,8	1,8	5,8	9,0	12,9	22,5	28,8
09.09.2019	9,8	9,0	48,8	0,0	0,8	1,7	5,7	9,0	12,9	22,6	28,2

Результаты показывают приуроченность поврежденных насаждений к элементам рельефа с уклоном местности около 10^0, как по среднему значению, так и по медиане. На протяжении всех периодов наблюдений в 75 % случаях распространение вспышки происходило преимущественно в насаждениях, расположенных на склонах до 13^0 спорадически доходя до крутых склонов в 28^0 [35].

Анализ распределения площади поврежденных насаждений по экспозиции склонов представлен на рисунке 5.

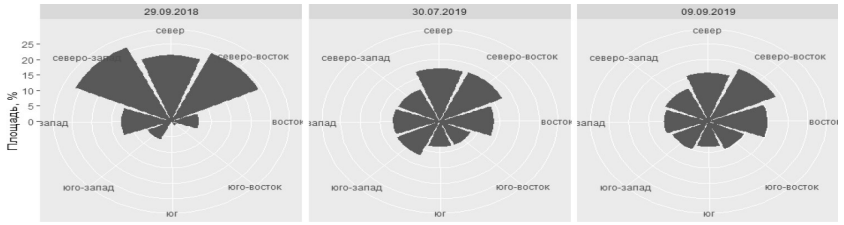


Рис. 5. Динамика распределения площади поврежденных темнохвойных древостоев с учетом экспозиции склонов

Диаграмма показывает наибольшие площади повреждений на северных и северо-восточных склонах. Эмпирически данный факт обусловлен местоположением экспериментального участка в границах северо-восточного макросклона Восточного Саяна. Из всего многообразия склоновых элементов северная экспозиция наиболее часто встречается на исследуемой территории [17; 35]. В то же время изучение экологического размещения очагов сибирского шелкопряда свидетельствует о четкой приуроченности вспышек его массового размножения к определенным лесотипологическим условиям [7; 8; 10; 18; 22]. Фоновым типом леса в

границах кормовой базы фитофага является зеленомошниковая группа, повсеместно встречающаяся на склонах как северной, так и южной экспозиций.

Детальный анализ первичных очагов вспышки показал, что повреждённые древостои представлены в основном пихтарниками зеленомошниковыми, занимающими весь спектр экспозиций на пологих склонах и крутизной до 15^0 [35]. Кедровники черничниковые широко представлены на северных, северо-западных и северо-восточных склонах. Пихтарники черничниковые преимущественно концентрируются на склонах южной экспозиции. Исследованиями экологии сибирского шелкопряда доказана приуроченность резерваций к данной группе типов леса. Моховой напочвенный покров сочетает в себе оптимальные температурно-влажностные условия для жизнедеятельности фитофага [3; 5; 7; 18; 22]. Зимовать гусеницы сибирского шелкопряда предпочитают под моховой подстилкой на глубине до 20 см от поверхности [18; 22]. Избегает сибирский шелкопряд сырых, холодных местообитаний, формирующихся преимущественно в пониженных участках рельефа, а также участков лесов на крутых эрозионных склонах и маломощных почвах [8; 22].

На диаграмме (рис. 5) видно, что по мере разрастания очагов эффект доминирования склонов северных экспозиций во времени сглаживается, так как в зону повреждения попадают близлежащие участки темнохвойных лесов травяной группы типов леса, расположенные на склонах различных экспозиций. Преимущественно это кедровники бадановые на крутых склонах и пихтарники вейниково-крупнотравные, произрастающие на выположенных участках рельефа и склонах южной экспозиции.

Массовые миграции гусениц в очагах размножения в темнохвойных лесах хотя и имеют место, но наблюдаются редко [18]. Одной из причин быстрого распространения и расселения сибирского шелкопряда по лесу является наличие больших площадей хвойных насаждений, а также рельеф местности. В тех случаях, когда в очаге одновременно возникает несколько участков обесхвоенного леса, а затем они сливаются, масса гусениц может оказаться в центре мертвой зоны. Голодные гусеницы в этих условиях становятся очень подвижными, в поисках пищи они поднимаются на каждое дерево, встречающееся на пути. При визуальных наблюдениях создается впечатление, что гусеницы ползут здесь в разных направлениях. На самом деле большинство их движется в сторону ближайшей стены живого леса [18]. Почвенный покров, состоящий из мха или слоя опавшей хвои с редкими кустиками багульника и черники, явля-

ется самым благоприятным для перемещения гусениц с дерева на дерево. Моховой покров имеет мягкую волнистую поверхность, а редкие кустики не препятствуют движению гусениц. Покров из злаков, осок, высоких и тонких трав затрудняет их передвижение по земле, и они инстинктивно не стремятся двигаться в сторону таких участков [22].

За две недели предельно возможного голодания гусеницы V и VI возрастов преодолевают в мертвой зоне очага расстояние до 300 м. В условиях горного рельефа темнохвойной тайги гусеницы старшего возраста за 30-32 дня могут продвинуться на 800-1000 м. [18]. Реки с участками небольшой ширины (2-3 м) также не являются серьёзным препятствием для передвижения гусениц сибирского шелкопряда на новые территории [22]. В среднем за месяц миграция гусениц от границы очага может составлять от 300 до 500 м. Если на пути нет причин, препятствующих распространению, то расселение фитофага протекает очень быстро, измеряясь тысячами гектаров [22].

Отрицательное влияние на расселение шелкопряда влияет примесь лиственных пород. Наличие вблизи очага заражения больших площадей березовых древостоев (с участием в составе от 6 единиц) совершенно прекращает распространение вредителя [22]. В данном случае такие территории в границах кормовой базы располагались на верхнем пределе распространения вспышки, где наблюдаются малые очаги повреждений, в основном ограниченные участками березово-осиновых древостоев. В остальных случаях имеющиеся в структуре темнохвойных лесов участки лиственных древостоев занимали незначительную площадь и не могли обеспечить мозаичность структуры кормовой базы, способной служить существенным препятствием при миграции вредителя в близлежащие насаждения.

Полнота древостоя не играет существенной роли при расселении вредителя, за исключением низкополнотных насаждений, поскольку расстояния между деревьями имеют значение при перемещении гусениц. Наиболее интенсивные повреждения чаще всего наблюдается в насаждениях с полнотой от 0,5 до 0,7 [22]. В данном случае участки повреждений включали древостои с полнотой до 0,8 включительно.

В ряде научных наблюдений замечена избирательность в питании вредителя [14; 22]. Отмечено, что, хвоя ели сибирской менее привлекательна для сибирского шелкопряда [4]. Присутствие ели в составе является индикатором малоблагоприятных условий для развития фитофага. По данным А.С. Исаева, в сильно поврежденных насаждениях участие ели в составе

не превышает 1 единицы. При больших значениях степень повреждения снижается [7; 17]. П.П. Окуневым для района исследований отмечается характерная особенность наименьшей степени повреждения сосны обыкновенной, по сравнению с другими хвойными породами [14].

Влияние вышеперечисленных факторов на миграционную способность гусениц в условиях горного рельефа требует дополнительных исследований с целью комплексного подхода при прогнозировании и контроле развития очагов фитофага в границах определенной местности.

Заключение

Идентификация экологии поведения популяции фитофага в условиях горного рельефа открывает возможности совершенствования системы мониторинга и применения цифровой модели рельефа для прогноза распространения вспышки, что позволит своевременно предпринимать активные лесозащитные мероприятия.

В завершении проведенного анализа следует отметить, что при параметризации прогноза зоны фонового мониторинга должны быть сосредоточены на участках темнохвойных лесов на высотах от 400 до 600 м с потенциальной площадью распространения до 900 м. В границах кормовой базы участками массового размножения (резерватами) могут выступать пологие участки и уклоны местности от 10 до 15^0, исключая сырые местообитания и понижения рельефа. В силу предпочтения фитофагом участков лесов с моховой подстилкой, которые в горных южно-таежных лесах равноценно представлены на склонах как северных, так и южных экспозиций в спектр наблюдений следует включать преимущественно все участки данного типа леса, расположенных с учетом вышеперечисленных параметров. Основываясь на ранее проведённых наблюдениях, склоны южных экспозиций ориентировочно должны выступать первоочередными участками резерваций. В целом полученные в процессе анализа результаты согласуются с данными ранее проведённых исследований и могут служить основой параметризации дискретных величин для условий среднегорного рельефа при моделировании прогноза вспышек сибирского шелкопряда с дальнейшей возможностью экстраполяции выявленных закономерностей на аналогичные территории.

В современных условиях проблема массового уничтожения темнохвойной тайги сибирским шелкопрядом до настоящего времени остаётся актуальной, что требует скорейшего принятия мер по совершенствованию системы мониторинга и государственного лесоуправления в целом.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение коллективом научной лаборатории «Защита леса» проекта «Методологические основы оценки лесопатологических рисков в насаждениях юга Средней Сибири» (№ FEFE-2024-0016).

Список литературы

1. Гниненко, Ю. И., & Баранчиков, Ю. Н. (2021). Факторы биологической регуляции популяций сибирского шелкопряда и их использование в защите леса. *Сибирский лесной журнал*, *(5)*, 9–25. https://doi.org/10.15372/SJFS20210503
2. Гродницкий, Д. Л., Разнобарский, В. Г., Солдатов, В. В., & Ремарчук, Н. П. (2002). Деградация древостоев в таёжных шелкопрядниках. *Приложение 1 Сибирского экологического журнала*, *1*, 3–12.
3. Денисова, Н. Б., Соболев, А. А., & Шипинская, У. С. (2020). Результаты обследования очагов сибирского шелкопряда (Dendrolimus sibiricus Tschetw.) на территории Васюганского лесничества Томской области. *Лесной вестник*, *24*(6), 65–72. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-65-72
4. Журавлёв, Г. П. (1960). *Рекомендации по надзору за сибирским шелкопрядом в лесах Дальнего Востока.* ДальНИИЛХ. 33 с.
5. Ильинский, А. И. (1952). *Надзор за хвое- и листогрызущими вредителями в лесах и прогноз их массовых размножений.* Москва-Ленинград: Гослесбумиздат. 186 с.
6. Им, С. Т., Федотова, Е. В., & Харук, В. И. (2008). Спектродиаметрическая космосъёмка в анализе зоны вспышки массового размножения сибирского шелкопряда. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*, *1*(4), 346–358.
7. Исаев, А. С., Пальникова, Е. Н., Суховольский, В. Г., & Тарасова, О. В. (2015). *Динамика численности дефолиирующих лесных насекомых: Модели и прогнозы.* Москва: ООО «КМК Сайентифик Пресс». 262 с.
8. Исаев, А. С., & Ряполов, В. Я. (1979). Анализ ландшафтно-экологической приуроченности очагов сибирского шелкопряда с применением аэрокосмической съёмки. В сборнике: *Исследование таёжных ландшафтов дистанционными методами* (с. 152–167). Новосибирск: Наука.
9. Князева, С. В., Королева, Н. В., Эйдлина, С. П., & Сочилова, Е. Н. (2019). Оценка состояния растительности в очаге массового размножения сибир-

ского шелкопряда по спутниковым данным. *Лесоведение*, *(5)*, 385–398. https://doi.org/10.1134/S0024114819050036

10. Кондаков, Ю. П. (1974). Закономерности массовых вспышек сибирского шелкопряда. В сборнике: *Популяционная экология лесных животных* (с. 206–264). Новосибирск: Наука.
11. Кондаков, Ю. П. (2002). Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края. *Энтомологические исследования в Сибири*, *2*, 25–74.
12. Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Федеральное агентство лесного хозяйства, Всероссийский научный исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства. (2006). *Методические рекомендации по надзору, учёту и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов.* Пушкино, Московская область: ВНИИЛМ. 107 с.
13. Российский центр защиты леса. (2020). *Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Российской Федерации за 2019 год.* Пушкино: Росцентр защиты леса. 165 с.
14. Окунев, П. П. (1955). Географическое распространение и зоны вредности сибирского шелкопряда. *Географический сборник. V. Географические вопросы лесного хозяйства*, 13–24.
15. Павлов, И. Н., Литовка, Ю. А., Голубев, Д. В., Астапенко, С. А., & Хромогин, П. В. (2018). Новая вспышка массового размножения Dendrolimus sibiricus Tschetw. в Сибири (2012–2017 гг.): закономерности развития и перспективы биологического контроля. *Сибирский экологический журнал*, *(4)*, 462–478.
16. Перевозникова, В. Д., & Баранчиков, Ю. Н. (1999). Структура запасов наземной фитомассы в свежих шелкопрядниках пихтовой тайги Нижнего Приангарья. *Энтомологические исследования в Сибири*, *(2)*, 87–102.
17. Пономарёв, Е. И., Якимов, Н. Д., Третьяков, П. Д., & Сультсон, С. М. (2023). Оценка дефолиации тёмнохвойных древостоев после воздействия сибирского шелкопряда по дистанционным данным. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, *20*(4), 175–186. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-175-186
18. Рожков, А. С. (1965). *Вспышки сибирского шелкопряда и меры борьбы с ними.* Москва: Наука. 179 с.
19. Ряполов, В. Я. (1985). Методика составления карт повреждаемости лесов насекомыми-вредителями. *География и природные ресурсы*, *(2)*, 97–106.
20. Смагин, В. Н., Ильинская, С. А., Назимова, Д. И., Новосельцева, И. Ф., & Чередникова, Ю. С. (1980). *Типы лесов гор Южной Сибири.* Новосибирск: Наука. 336 с.

21. Тарасова, О. В., & Волков, В. Е. (2021). Влияние погодных условий на развитие вспышек массового размножения сибирского шелкопряда в Средней Сибири. *Сибирский лесной журнал*, *(5)*, 49–59. https://doi.org/10.15372/SJFS20210506
22. Флоров, Д. Н. (1948). *Вредитель сибирских лесов.* Иркутск: ОГИЗ, Иркутское областное издательство. 132 с.
23. Харук, В. И., & Антамошкина, О. А. (2017). Воздействие сибирского шелкопряда на горимость лесных территорий. *Сибирский экологический журнал*, *5*, 647–654. https://doi.org/10.15372/SEJ20170510
24. Харук, В. И., Им, С. Т., & Ягунов, М. Н. (2018). Миграция северной границы распространения сибирского шелкопряда. *Сибирский экологический журнал*, *25*(1), 32–44. https://doi.org/10.15372/SEJ20180103
25. Шипинская, У. С., Денисова, Н. Б., & Соболев, А. А. (2019). Динамика очагов Dendrolimus sibiricus Tschetw на территории Томской области. *Academy*, *(43)*, 40–42.
26. Bright, B. C., Hudak, A. T., Egan, J. M., Jorgensen, C. L., Rex, F. E., Hicke, J. A., & Meddens, A. J. H. (2020). Using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in northern Idaho, USA. *Forests*, *11*(5), 529. https://doi.org/10.3390/f11050529
27. Bjørnstad, O. N., Peltonen, M., Liebhold, A. M., & Baltensweiler, W. (2002). Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps. *Science*, *298*(5595), 1020–1023. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1075182
28. Creeden, E. P., Hicke, J. A., & Buotte, P. C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, *312*, 239–251. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051
29. Egan, J. M., Kaiden, J., Lestina, J., Stasey, A., & Jenne, J. L. (2019). Techniques to enhance assessment and reporting of pest damage estimated with aerial detection surveys. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Region, Forest Health Protection: Missoula, MT, USA*, *R1-19-09*, 33 p.
30. Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Kuz'michev, V. V., et al. (2003). Landsat-based analysis of insect outbreaks in southern Siberia. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *29*(2), 286–297. https://doi.org/10.5589/m02-094
31. Kharuk, V. I., Demidko, D. A., Fedotova, E. V., & Dvinskaya, M. L. (2016). Spatial and temporal dynamics of Siberian silkmoth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai. *Contemporary Problems of Ecology*, *9*(6), 711–720. https://doi.org/10.1134/S199542551606007X
32. Kharuk, V. I., Im, S. T., & Soldatov, V. V. (2020). Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. *Journal of Mountain Science*, *17*, 1891–1900. https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3

33. Kovalev, A., & Soukhovolsky, V. (2021). Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data. *Forests*, *12*, 1188. https://doi.org/10.3390/f12091188
34. Nelson, W. A., Bjørnstad, O. N., & Yamanaka, T. (2013). Recurrent insect outbreaks caused by temperature-driven changes in system stability. *Science*, *341*(6147), 796–799. https://doi.org/10.1126/science.1238477
35. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Verkhovets, S. V., Mikhaylov, P. V., Ivanov, V. A., Demidko, D. A., & Kulakov, S. S. (2021). Orographic factors as a predictor of the spread of the Siberian silk moth outbreak in the mountainous southern taiga forests of Siberia. *Land*, *10*(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/land10020115
36. Wulder, M. A., Dymond, C. C., White, J. C., Leckie, D. G., & Carroll, A. L. (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, *221*, 27–41.

References

1. Gninenko, Y. I., & Baranchikov, Y. N. (2021). Factors of biological regulation of populations of the Siberian silkmoth and their use in forest protection. *Siberian Forestry Journal*, *(5)*, 9–25. https://doi.org/10.15372/SJFS20210503
2. Grodnitsky, D. L., Raznobarsky, V. G., Soldatov, V. V., & Remarchuk, N. P. (2002). Stand degradation in Siberian spruce-fir forests infested by the Siberian silkmoth. *Appendix 1 of Siberian Ecological Journal*, *1*, 3–12.
3. Denisova, N. B., Sobolev, A. A., & Shipinskaya, U. S. (2020). Survey results of outbreaks of the Siberian silkmoth (Dendrolimus sibiricus Tschetv.) in the Vasyugan forest district of Tomsk region. *Forest Messenger*, *24*(6), 65–72. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2020-6-65-72
4. Zhuravlyov, G. P. (1960). Recommendations for surveillance of the Siberian silkmoth in Far Eastern forests. DalNIILKH. 33 p.
5. Ilinskii, A. I. (1952). Monitoring of foliage-eating insect pests in forests and forecasting their mass reproduction. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat. 186 p.
6. Im, S. T., Fedotova, E. V., & Kharkuk, V. I. (2008). Spectrodiameter satellite imagery in analyzing the area of Siberian silkmoth outbreak. *Journal of Siberian Federal University. Series: Engineering & Technologies*, *1*(4), 346–358.
7. Isaev, A. S., Palnikova, E. N., Sukhovolsky, V. G., & Tarasova, O. V. (2015). Population dynamics of defoliating forest insects: Models and forecasts. Moscow: LLC “KMK Scientific Press”. 262 p.
8. Isaev, A. S., & Ryapolov, V. Ya. (1979). Analysis of landscape-ecological specificity of Siberian silkmoth outbreaks using aerial and satellite imaging. In *Remote Sensing Methods in Taiga Landscapes* (pp. 152–167). Novosibirsk: Nauka.

9. Knyazeva, S. V., Korolyova, N. V., Eydlina, S. P., & Sochilova, E. N. (2019). Assessment of vegetation condition in the area of mass reproduction of the Siberian silkmoth using satellite data. *Silviculture*, *(5)*, 385–398. https://doi.org/10.1134/S0024114819050036
10. Kondakov, Y. P. (1974). Regularities of massive outbreaks of the Siberian silkmoth. In *Population Ecology of Forest Animals* (pp. 206–264). Novosibirsk: Nauka.
11. Kondakov, Y. P. (2002). Mass outbreaks of the Siberian silkmoth in forests of the Krasnoyarsk region. *Entomological Research in Siberia*, *2*, 25–74.
12. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Federal Agency of Forestry, All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry. (2006). Methodological recommendations for supervision, accounting, and prediction of massive reproductions of stem pests and sanitary conditions of forests. Pushkino, Moscow region: VNII LM. 107 p.
13. Russian Forest Protection Center. (2020). Overview of sanitary and forest pathological conditions of forests in the Russian Federation in 2019. Pushkino: Roscenter for Forest Protection. 165 p.
14. Okunev, P. P. (1955). Geographic distribution and harmfulness zones of the Siberian silkmoth. *Geographical Collection. V. Geographical Questions of Forestry*, *13–24.*
15. Pavlov, I. N., Litovka, Y. A., Golubev, D. V., Astapenko, S. A., & Khromogin, P. V. (2018). New outbreak of mass reproduction of Dendrolimus sibiricus Tschetw. in Siberia (2012–2017): Development regularities and prospects for biological control. *Siberian Ecological Journal*, *(4)*, 462–478.
16. Perevoznikova, V. D., & Baranchikov, Y. N. (1999). Structure of aboveground biomass reserves in fresh silkmoth-infested coniferous forests of Lower Angara. *Entomological Research in Siberia*, *(2)*, 87–102.
17. Ponomarev, E. I., Yakimov, N. D., Tretyakov, P. D., & Sulston, S. M. (2023). Defoliation assessment of dark coniferous stands after Siberian silkmoth attack using remote sensing data. *Modern Problems of Spaceborne Earth Observation*, *20*(4), 175–186. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-4-175-186
18. Rozhkov, A. S. (1965). Outbreaks of the Siberian silkmoth and measures to combat them. Moscow: Nauka. 179 p.
19. Ryapolov, V. Ya. (1985). Methodology for creating maps of forest damage caused by insect pests. *Geography and Natural Resources*, *(2)*, 97–106.
20. Smagin, V. N., Ilinskaya, S. A., Nazimova, D. I., Novoseltseva, I. F., & Chereditnova, Y. S. (1980). Types of forests in the mountains of Southern Siberia. Novosibirsk: Nauka. 336 p.

21. Tarasova, O. V., & Volkov, V. E. (2021). Impact of weather conditions on the development of Siberian silkmoth outbreaks in Middle Siberia. *Siberian Forestry Journal*, *(5)*, 49–59. https://doi.org/10.15372/SJFS20210506
22. Florov, D. N. (1948). Pest of Siberian forests. Irkutsk: OGIZ, Irkutsk Regional Publishing House. 132 p.
23. Kharkuk, V. I., & Antamoshkina, O. A. (2017). Impact of the Siberian silkmoth on forest fire occurrence. *Siberian Ecological Journal*, *5*, 647–654. https://doi.org/10.15372/SEJ20170510
24. Kharkuk, V. I., Im, S. T., & Yagnov, M. N. (2018). Migration of the northern boundary of the Siberian silkmoth distribution. *Siberian Ecological Journal*, *25*(1), 32–44. https://doi.org/10.15372/SEJ20180103
25. Shipinskaya, U. S., Denisova, N. B., & Sobolev, A. A. (2019). Dynamics of Dendrolimus sibiricus Tschetw. outbreaks in Tomsk region. *Academy*, *(43)*, 40–42.
26. Bright, B. C., Hudak, A. T., Egan, J. M., Jorgensen, C. L., Rex, F. E., Hicke, J. A., & Meddens, A. J. H. (2020). Using satellite imagery to evaluate bark beetle-caused tree mortality reported in aerial surveys in a mixed conifer forest in northern Idaho, USA. *Forests*, *11*(5), 529. https://doi.org/10.3390/f11050529
27. Bjørnstad, O. N., Peltonen, M., Liebhold, A. M., & Baltensweiler, W. (2002). Waves of larch budmoth outbreaks in the European Alps. *Science*, *298*(5595), 1020–1023. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1075182
28. Creeden, E. P., Hicke, J. A., & Buotte, P. C. (2014). Climate, weather, and recent mountain pine beetle outbreaks in the western United States. *Forest Ecology and Management*, *312*, 239–251. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051
29. Egan, J. M., Kaiden, J., Lestina, J., Stasey, A., & Jenne, J. L. (2019). Techniques to enhance assessment and reporting of pest damage estimated with aerial detection surveys. *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Region, Forest Health Protection: Missoula, MT, USA*, *R1-19-09*, 33 p.
30. Kharuk, V. I., Ranson, K. J., Kuz'michev, V. V., et al. (2003). Landsat-based analysis of insect outbreaks in southern Siberia. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *29*(2), 286–297. https://doi.org/10.5589/m02-094
31. Kharuk, V. I., Demidko, D. A., Fedotova, E. V., & Dvinskaya, M. L. (2016). Spatial and temporal dynamics of Siberian silkmoth large-scale outbreak in dark-needle coniferous tree stands in Altai. *Contemporary Problems of Ecology*, *9*(6), 711–720. https://doi.org/10.1134/S199542551606007X
32. Kharuk, V. I., Im, S. T., & Soldatov, V. V. (2020). Siberian silkmoth outbreaks surpassed geoclimatic barrier in Siberian Mountains. *Journal of Mountain Science*, *17*, 1891–1900. https://doi.org/10.1007/s11629-020-5989-3

33. Kovalev, A., & Soukhovolsky, V. (2021). Analysis of forest stand resistance to insect attack according to remote sensing data. *Forests*, *12*, 1188. https://doi.org/10.3390/f12091188
34. Nelson, W. A., Bjørnstad, O. N., & Yamanaka, T. (2013). Recurrent insect outbreaks caused by temperature-driven changes in system stability. *Science*, *341*(6147), 796–799. https://doi.org/10.1126/science.1238477
35. Sultson, S. M., Goroshko, A. A., Verkhovets, S. V., Mikhaylov, P. V., Ivanov, V. A., Demidko, D. A., & Kulakov, S. S. (2021). Orographic factors as a predictor of the spread of the Siberian silk moth outbreak in the mountainous southern taiga forests of Siberia. *Land*, *10*(2), 1–16. https://doi.org/10.3390/land10020115
36. Wulder, M. A., Dymond, C. C., White, J. C., Leckie, D. G., & Carroll, A. L. (2006). Surveying mountain pine beetle damage of forests: A review of remote sensing opportunities. *Forest Ecology and Management*, *221*, 27–41.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Сультсон Светлана Михайловна, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sultson2011@yandex.ru

Горошко Андрей Александрович, научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
utrom3@gmail.com

Демидко Денис Александрович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»

Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sawer_beetle@mail.ru

Михайлов Павел Владимирович, канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, научная лаборатория «Лесных экосистем»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
mihaylov.p.v@mail.ru

Слинкина Ольга Александровна, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
sloa@mail.ru

Кулакова Надежда Николаевна, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, научная лаборатория «Защита леса»
Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
пр. Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация
nadezha21@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana M. Sultson, PhD (Agriculture), Assoc. Prof., Leading Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sultson2011@yandex.ru
SPIN-code: 8980-0250

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5679-1874
ResearcherID: AAQ-6490-2021
Scopus Author ID: 57211203392

Andrey A. Goroshko, Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
utrom3@gmail.com
SPIN-code: 3758-5809
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6461-144X
ResearcherID: AAD-1316-2022
Scopus Author ID: 57219091788

Denis A. Demidko, PhD (Biology), Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sawer_beetle@mail.ru
SPIN-code: 1579-0843
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6538-9828
ResearcherID: ABA-6936-2021
Scopus Author ID: 14622168900

Pavel V. Mikhaylov, PhD (Agriculture), Assoc. Prof., Leading Researcher, Scientific Laboratory of Forest Ecosystem
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
mihaylov.p.v@mail.ru
SPIN-code: 3337-8195
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3967-0709
ResearcherID: G-4082-2015
Scopus Author ID: 57211200376

Olga A. Slinkina, Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology

31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
sloa@mail.ru
SPIN-code: 4723-4950
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9453-318X
ResearcherID: AAC-8227-2022
Scopus Author ID: 6506026863

Nadezhda N. Kulakova, PhD (Agriculture), Senior Researcher, Laboratory of Forest Health
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii Rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
nadezha21@mail.ru
SPIN-code: 1137-3998
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6900-5115
ResearcherID: AEL-6927-2022
Scopus Author ID: 57211207296

Поступила 02.07.2024
После рецензирования 25.07.2024
Принята 07.08.2024

Received 02.07.2024
Revised 25.07.2024
Accepted 07.08.2024

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-973 **EDN: XQZVBT**
УДК 612.3:614.39:574.2:371.71

CC BY NC ND

Научная статья

ПИЩЕВОЕ ПОВЕДЕНИЕ И НУТРИТИВНЫЙ СТАТУС ПЕДАГОГОВ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИХ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ В ВОПРОСАХ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ

Н.И. Кадочникова, Н.Л. Демина

Аннотация

В настоящее время проблемы становления образа жизни и организации образования, способствующих формированию и сбережению здоровья имеют особую актуальность. Профессиональная деятельность педагога заключается не только в осознанном активном влиянии на обучающихся, но и личность самого педагога также имеет бессознательное воздействие, являясь своеобразной моделью поведения. Тем самым оказывая воспитательное воздействие на подрастающее поколение. Задачи охраны и укрепления здоровья обучающихся могут успешно решаться только в том случае, когда педагог сам обладает здоровьем и ведёт здоровый образ жизни. К сожалению, наличие знаний в области формирования и сбережения здоровья не гарантирует самосохранительное поведение.

Цель работы – изучение пищевого поведения педагогов и их нутритивного статуса как отражения их уровня компетентности в вопросах ЗОЖ.

Методология и методы. Для достижения поставленной цели было изучено пищевое поведение педагогов (n=100) общеобразовательных школ и дополнительного образования с использованием общепринятых методик – тест отношения к приёму пищи (EAT-26), голландский опросник пищевого поведения (DEBQ). Нутритивный статус – с использованием методики БИА. Для выявления здоровьесберегающей компетентности использовали тест «Индекс отношения к здоровью» (по С. Дерябо, В. Ясвину). Полученные данные обобщались и обрабатывались с помощью статистических методов анализа с использованием программного комплекса Biostat 7.3., Microsoft Excel для Windows и ABC01–0362.

Результаты. Полученные нами результаты показали, что педагоги лицеев и гимназий, в сравнении с педагогами средних образовательных школ и дополнительного образования, имели более сбалансированный нутритивный статус, их пищевое поведение являлось менее зависимым от различных факторов и по характеристикам более здоровым. В целом, их индекс отношения к здоровью соответствовал высокому уровню сформированности здоровьесберегающей компетенции.

Заключение. Взаимодействие с детьми, имеющими более высокий уровень познавательной активности, а также наличие поощрений со стороны администрации образовательных учреждений повышения компетентности своих сотрудников способствует большей ориентированности педагогов лицеев и гимназий на персональное и профессиональное саморазвитие в том числе в вопросах здорового образа жизни. В противном случае, возникает опасность формализации деятельности, что приводит к ригидности мышления и поведения в отношении обучаемых и к самому себе, а также объясняет недостаточную сформированность системы ценностей и мотиваций педагогов средних образовательных школ и дополнительного образования на самосохранительное поведение.

Практическая значимость. Результаты исследования могут быть использованы при разработке программ и организации мероприятий непрерывного здоровьеформирующего и здоровьесберегающего образования педагогов.

Ключевые слова: педагог; компетентность; пищевое поведение; здоровый образ жизни; здоровье; здоровьесбережение; нутритивный статус

Для цитирования. Кадочникова, Н. И., & Демина, Н. Л. (2025). Пищевое поведение и нутритивный статус педагогов как отражение их уровня компетентности в вопросах здорового образа жизни. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 308-328. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-973

Original article

EATING BEHAVIOR OF TEACHERS AS A REFLECTION OF THEIR LEVEL OF COMPETENCE IN MATTERS OF A HEALTHY LIFESTYLE

N.I. Kadochnikova, N.L. Dyomina

Abstract

At present, the problems of the formation of a way of life and the organization of education that contribute to the formation and preservation of health are of particular relevance. The professional activity of a teacher consists not only of a conscious active

influence on students, but the personality of the teacher himself also has an unconscious influence, being a kind of model of behavior. Thus, having an educational impact on the younger generation. The tasks of protecting and promoting the health of students can be successfully solved only if the teacher himself/herself is healthy and lives a healthy lifestyle. Unfortunately, the presence of an individual's theoretical knowledge in the field of healthy lifestyle culture does not guarantee his/her self-preservative behavior by no means.

The **purpose** of the work is to study the eating behavior of teachers and their nutritional status as a reflection of their level of competence in healthy lifestyle issues.

Methodology and methods. To achieve this goal the eating behavior of teachers at secondary schools and additional education was studied using generally accepted methods - the Eating Attitude Test (EAT-26), the Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ). Nutritional status – using the BIA technique. To identify health-preserving competence the "Health Attitude Index" test was used (according to S. Deryabo, V. Yasvin). The obtained data were summarized and processed using statistical analysis methods using the Biostat 7.3., Microsoft Excel for Windows and AVC01–0362 software package.

Results. Our results showed that teachers of lyceums and gymnasiums, in comparison with teachers at secondary schools and additional education, had a more balanced nutritional status, their eating behavior was less dependent on various factors and was healthier in characteristics. In general, their health attitude index corresponded to a high level of health-preserving competence.

Conclusion. Interaction with children who have a higher level of cognitive activity, as well as the presence of incentives from the administration of educational institutions to improve the competence of their employees, contributes to a greater focus of lyceum and gymnasium teachers on personal and professional self-development, including in matters of a healthy lifestyle. Otherwise, there is a danger of formalization of activities, which leads to rigidity of thinking and behavior in relation to students and to oneself, and also explains the insufficient formation of the system of values and motivations of teachers at secondary schools and additional education for self-preservation behavior.

Practical significance. The results of the study can be used in developing programs and organizing activities for continuous health-forming and health-preserving education of teachers.

Keywords: teacher; competence; eating behavior; healthy lifestyle; health; health conservation; nutritional status

For citation. Kadochnikova, N. I., & Dyomina, N. L. (2025). Eating behavior of teachers as a reflection of their level of competence in matters of a healthy lifestyle. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 308–328. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-973

Введение

Педагог – лицо, ведущее практическую работу по воспитанию, образованию и обучению, имеющее специальную подготовку в этой области [2]. Современный педагог должен быть профессионален и компетентен. Реализуя компетенции, он демонстрирует не только наличие знаний, умений и навыков, необходимых для профессиональной деятельности, но и возможность достижения определенных результатов в трудовой деятельности [6].

Термин «компетенция» включает в себя не только личностные качества педагога, его знания, умения и навыки, которые способствуют наиболее эффективному и качественному выполнению какую-либо работы, а также мотивационные факторы и ситуационные намерения, обеспечивающие эффективное решение педагогических задач в определенной образовательной организации [13; 14].

Компетентность педагога подразумевает на ряду с наличием значительного объёма знаний, также не малый опыт и умение использовать накопленные знания в нужный момент для реализации профессиональных функций [6]. Совокупность сформированных компетенций является основой профессионализма педагога. В него входят не только профессиональная, коммуникативная, информационная и правовая составляющие компетентности, но и личностный потенциал педагога, система его профессиональных ценностей, убеждений, установок, которые в совокупности дают качественные образовательные результаты [19].

Обзор литературы

В настоящее время проблемы становления образа жизни и организации образования, способствующих формированию и сбережению здоровья имеют особую актуальность [5; 10; 16; 17; 27; 28; 29].

Здоровый образ жизни – это способ жизнедеятельности, соответствующий генетически обусловленным типологическим особенностям данного человека, конкретным условиям жизни и направленный на формирование, сохранение и укрепление здоровья и на выполнение человеком его социально-биологических функций [20]. Одним из составляющих компонентов ЗОЖ, помимо гигиенической и сексуальной культуры, двигательной рекреации, оптимального режима труда и отдыха, отсутствия болезненных пристрастий, также относится культура питания [20; 23; 28].

Формирование культуры питания каждого человека происходит с учётом его генотипических и возрастно-половых особенностей. На неё оказывает влияние характер жизнедеятельности, привычки и профессия,

семейное положение и двигательная активность [20]. То есть для каждого индивида питание специфично по набору пищевых веществ, объёму, соотношению макро- и микронутриентов, частоте приёма пищи. Питание должно удовлетворять потребности организма в энергии и строительном материале, а также обеспечивать необходимый уровень обмена веществ. Питание является рациональным, если оно адекватно, сбалансированно, разнообразно и экологически чисто. Поэтому основными условиями, обеспечивающими рациональность, помимо оптимального индивидуального режима, являются санитарно-гигиенические правила хранения, производства и кулинарной обработки пищевых продуктов [20; 24; 25].

В становление культуры питания индивида существенный вклад вносит его пищевое поведение, которое включает в себя ценностное отношение к самой пище и её приёму, модель питания в естественных и экстремальных условиях, а также поведение, ориентированное на образ собственного тела [8]. Формирование пищевого поведения происходит на основе предыдущего опыта, индивидуальных потребностей и душевного состояния. В следствии этого потребность в пище, с одной стороны, являясь биологической, у человека может иметь и более сложные проявления и являться средством [8]:

- снятия психического, физического и эмоционального напряжения;
- чувственного и эстетического наслаждения, коммуникации и самоутверждения;
- проявлением традиций, ритуалов, стереотипов и привычек;
- компенсацией нереализованных потребностей и т. д.

В целом, целевые установки, модели пищевого поведения, стереотипы и эмоции, связанные с едой, у каждого человека весьма самобытны и специфичны. Тем не менее, считается [8; 22] что пищевое поведение может быть гармоничным (адекватным) или девиантным (отклоняющимся). Разграничивающими критериями являются количественные и качественные характеристики питания, а также место приёма пищи в иерархии ценностей индивида. Внешние проявления пищевых нарушений не противоречат юридическим, моральным, этическим и культурным нормам. Они имеют большое количество разнообразных определений и классификаций, являясь объектом всестороннего изучения. Многие исследователи констатируют, что пищевые аддикции оказывают разрушающее действие на целостность личности индивида и могут приводить к ретардации, нарушению и однонаправленности развития, затруднению становления и формирования межличностных взаимоотношений [9].

Запросы современного общества обуславливают не только требования к уровню образования, воспитания и развития подрастающего поколения,

которые отражаются в содержании осваиваемых программ образовательных учреждений, но и требования к личности самого педагога. В котором должны сочетаться высокий уровень профессионализма, компетентность с соответствующим внешним видом. В целом, внешний и внутренний образ педагога должен быть целостным и гармоничным, что оказывает влияние на результативность и эффективность взаимодействия всех субъектов учебно-воспитательного процесса [11; 15].

Профессиональная деятельность педагога заключается не только в осознанном активном влиянии на обучающихся, но и личность самого педагога также имеет бессознательное воздействие, являясь своеобразной моделью поведения. Тем самым оказывая воспитательное воздействие на подрастающее поколение. Так, по мнению В. А. Магина (2019) [7], М. Л. Сазановой и соавт. (2019) [16; 27], задачи охраны и укрепления здоровья обучающихся могут успешно решаться только в том случае, когда педагог сам обладает здоровьем и ведёт здоровый образ жизни. К сожалению, наличие знаний в области формирования и сбережения здоровья не гарантирует самосохранительное поведение [21]. Многие педагоги, как в России [16; 27], так и за рубежом [26], отмечают невысокий уровень своей компетентности в вопросах здорового образа жизни, в том числе в вопросах рационального питания и формирования здорового пищевого поведения [12].

Цель исследования – изучение пищевого поведения педагогов и их нутритивного статуса как отражения их уровня компетентности в вопросах здорового образа жизни.

Материалы и методы

Исследование проводилось на базе Вятского государственного университета в течение 2021–2023 года в три этапа. На первом этапе было проанализировано современное состояние исследуемой проблемы и разработана программа методологии исследования. На втором этапе была проведена оценка пищевого поведения, нутритивного статуса и здоровьесберегающей компетентности педагогов. Третий этап включал систематизацию, осмысление и обобщение результатов, уточнение теоретических выводов, обработку и документирование полученных результатов исследования.

В исследовании участвовали 100 педагогов общеобразовательных организаций г. Кирова в возрасте 23–59 лет. Все респонденты были разделены на 3 группы: в группу 1 вошли 33 педагога средней образовательной школы (СОШ), в группу 2 – 35 педагогов лицеев, гимназий (ЛГ), в группу 3 – 32 педагога дополнительного образования (ДОП).

Для достижения поставленной цели было изучено пищевое поведение педагогов с использованием общепринятых методик – тест отношения к приёму пищи (EAT-26) и голландский опросник пищевого поведения (DEBQ).

Голландский опросник пищевого поведения (The Dutch Eating Behaviour Questionnaire (DEBQ)) [3, 8] разработан для выявления типов пищевого поведения. В опросник входили 33 вопроса, каждый из которых имел 5 вариантов ответа: «никогда», «редко», «иногда», «часто» и «очень часто», которые впоследствии оценивались по шкале от 1 до 5, за исключением 31-го пункта, имеющего обратные значения. Обработка данных тестирования проводилась путём подсчёта баллов по каждой шкале и делением получившейся суммы на количество вопросов в данной шкале. Вопросы 1–10 представляли шкалу ограничительного пищевого поведения. Норма баллов по этой шкале составляет 2,4. Если полученное значение составляло равно и больше 2,4 балла, то данное пищевое поведение характеризовали как «ограничительное (контролируемое)». Вопросы 11–23 представляли шкалу эмоционального пищевого поведения. Норма баллов по этой шкале составляет 1,8. Если полученное значение составляло равно и больше 1,8 балла, то данное пищевое поведение характеризовали как «эмоциональное». Вопросы 24–33 представляли шкалу экстернального пищевого поведения. Норма баллов по этой шкале составляет 2,7. Если полученное значение составляло равно и больше 2,7 балла, то данное пищевое поведение характеризовали как «экстернальное».

Тест отношения к приёму пищи (Eating Attitudes Test (EAT-26)) [8, 18] состоит из 26 вопросов, отвечая на которые респондент отмечал степень выраженности различных симптомов по шкале Ликерта и выбирал один из следующих ответов: «никогда», «редко», «иногда», «довольно часто», «как правило» или «всегда». Все вопросы теста, за исключением 26-го, оценивались следующим образом: «всегда» –3; «обычно» – 2; «часто» – 1; «иногда» – 0; «редко» – 0; «никогда» – 0. 26-й вопрос оценивается следующим образом: «всегда» – 0; «обычно» – 0; «часто» – 0; «иногда» – 1; «редко» – 2; «никогда» – 3. Полученные результаты анализировались по шкале диеты (вопросы 1, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 22, 23, 24, 25), шкале булимии и пищевой озабоченности (вопросы 3, 4, 9, 18, 21, 26) и шкале орального контроля приёма пищи (вопросы 2, 5, 8, 13, 15, 19, 20). Общая сумма баллов вопросов до 20 рассматривалась как отсутствие нарушения пищевого поведения; и сумма баллов 6 и более – как неудовлетворённость своим весом. Значения по шкале диеты более 10 баллов свидетельствовало

об увлечённости диетами; по шкале булимии и пищевой озабоченности более 5 баллов – о наличие булимических симптомов и озабоченности мыслями о еде; по шкале орального контроля приёма пищи более 5 баллов – о наличии стремления к худобе.

Для определения нутритивного статуса, состава тела педагогов и соответствие его возрастным нормам использовалась *методика биоимпедансного анализа* НТЦ «Медасс», программа АВС01–0362. Измерительные и токовые электроды накладывались по стандартной тетраполярной схеме. Определяли следующие параметры: фазовый угол, доля жировой массы тела (ЖМТ), доля активной клеточной массы (АКМ), доля скелетно-мышечной массы (СММ), доля минеральной массы в безжировой массе тела (ММТ), доля общей воды в организме, основной обмен веществ и удельный обмен веществ. Центильные показатели состава тела были рассчитаны относительно референтной общероссийской выборки пациентов, обследованных в российских Центрах здоровья в 2010-2012 гг. С.Г. Рудневым и соавт. (2014).

Для выявления здоровьесберегающей компетентности педагогов использовали *тест «Индекс отношения к здоровью» (по С. Дерябо, В. Ясвину)* [1, 4]. Тест построен по принципу 24 пар альтернативных высказываний. За полное соответствие ответа испытуемого с ответом в ключе даётся 3 балла, за «скорее правильный ответ, чем неправильный» – 2 балла, за «скорее неправильный ответ, чем правильный» – 1 балл, за ответ, противоположный данному в ключе, – 0 баллов. Полученные результаты анализировались по компонентам здоровьесберегающей компетенции: эмоциональная шкала (вопросы 1, 5, 9, 13, 17 и 21), познавательная шкала (вопросы 2, 6, 10, 14, 18 и 22), практическая шкала (вопросы 3, 7, 11, 15, 19 и 23), и поступочная шкала (вопросы 4, 8, 12, 16, 20 и 24). Оценка сформированности здоровьесберегающей компетенции оценивалась путём суммирования баллов по компонентам: низкий уровень – 23 балла и меньше; средний уровень – 24–36 балла; высокий уровень – 37 балла и более.

Обработку результатов исследования проводили с использованием прикладных пакетов Biostat 7.3, Microsoft Excel для Windows и АВС01–0362.

При этом рассчитывали процентное соотношение и его ошибку для таких показателей, как тип пищевого поведения, отношения к приему пищи и нутритивного статуса; для показателей состава тела и здоровьесберегающей компетентности – среднее арифметическое значение и среднеквадратичное отклонение. В случае, когда данные представлены в процентном соотношении для выявления статистически значимых различий применя-

ли критерий хи-квадрат Пирсона. В случае сравнения средних значений показателей использовали t-критерий Стьюдента (эти данные имеют нормальное распределение), во всех случаях различия считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Тип пищевого поведения педагогов. Ограничительное пищевое поведение, которое характеризуется преднамеренными усилиями, направленными на достижение или поддержание желаемого веса посредством самоограничения в питании, было характерно для 11 (33,33%) педагогов СОШ, 5 (14,29%) – педагогов ЛГ и 13 (40,63%) – педагогов ДОП. Эмоциональное пищевое поведение, при котором желание поесть возникает в ответ на различные эмоциональные состояния («заедание» эмоций), имели 23 (69,70%) педагогов СОШ, 13 (37,14%) – педагогов ЛГ и 25 (78,13%) – педагогов ДОП. Экстернальным типом пищевого поведения, при котором триггером является внешний вид еды, ее запах, текстура либо вид других людей, принимающих пищу, обладали 20 (60,61%) педагогов СОШ, 15 (42,85%) – педагога ЛГ; и 28 (87,50%) – педагогов ДОП. В целом, полученные нами результаты свидетельствуют, о том, что среди обследованных нами педагогов отсутствовали лица с нарушениями пищевого поведения и более «независимый» тип пищевого поведения характерен для педагогов лицеев и гимназий (табл. 1).

Таблица 1.

Процент педагогов с разным типом пищевого поведения по результатам Голландского опросника пищевого поведения (DEBQ)

Показатель	Средняя образовательная школа (n = 33)	Лицеи и гимназии (n = 35)	Дополнительное образование (n = 32)
	1	2	3
Процент лиц с ограничительным пищевым поведением, %	33,33±8,21	14,29±5,92*	40,63±8,68▲
Процент лиц с эмоциональным пищевым поведением, %	69,70±8,00	37,14±8,17*	78,13±7,31▲
Процент лиц с экстернальным пищевым поведением, %	60,61±8,51	42,85±8,36	87,50±5,85*▲

Примечание: здесь * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона с группой 1; ▲ – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона группой 2.

Анализ *отношения педагогов к приёму пищи* выявил, что неудовлетворённость своим весом имели 18 (54,55%) педагогов СОШ, 8 (22,86%) – педагогов ЛГ и 27 (84,38%) – педагогов ДОП. Характерно стремление к худобе для 25 (75,76%) педагогов СОШ, 10 (28,57%) – педагогов ЛГ и 29 (90,63%) – педагогов ДОП. Увлечённость диетами была характерна для 15 (45,45%) педагогов СОШ, 5 (14,29%) – педагогов ЛГ и 30 (93,75%) – педагогов ДОП. Наличие булимических симптомов выявлено у 20 (60,61%) педагогов СОШ, 2 (5,71%) – педагогов ЛГ и 19 (59,38%) – педагогов ДОП. В целом, полученные нами результаты свидетельствуют, о том, что среди обследованных нами педагогов отсутствовали лица с нарушениями пищевого поведения и более «здоровое» отношение к приёму пищи характерно для педагогов лицеев и гимназий (табл. 2).

Таблица 2.

Процент педагогов, имеющих разное отношение к приёму пищи, по результатам теста Eating Attitudes Test (EAT-26)

Показатель	Средняя образовательная школа (n = 33)	Лицеи и гимназии (n = 35)	Дополнительное образование (n = 32)
	1	2	3
Процент лиц неудовлетворённых своим весом, %	54,55±8,67	22,86±7,10*	84,38±6,42*▲
Процент лиц, увлечённых диетами, %	45,45±8,67	14,29±5,92*	93,75±4,28*▲
Процент лиц, имеющих булимические симптомы и озабоченных мыслями о еде, %	60,61±8,51	5,71±3,92*	59,38±8,68▲
Процент лиц, стремящихся к худобе, %	75,76±7,46	28,57±7,64*	90,63±5,15▲

Примечание: здесь * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона с группой 1; ▲ – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона группой 2.

Данные *состава тела педагогов* представлены в таблице 3. Средние значения центиля таких показателей как фазовый угол, доля АКМ, доля СММ, доля ММТ, содержание общей воды и удельный обмен веществ находятся в диапазоне 25-75 центилей, что свидетельствует о том, что данные показатели соответствуют возрастным нормам. Однако, больше возрастной нормы (более 75 центилей) составило содержание жировой массы тела у педагогов СОШ и ДОП, а также ниже возрастной нормы (25

центилей) – удельный основной обмен у педагогов ДОП. В целом, педагоги ДОП отличались от своих коллег большим жировым компонентом и содержанием общей воды в составе тела, меньшим – скелетно-мышечным компонентом, более низким уровнем основного и удельного обмена веществ (табл. 3).

Таблица 3.

Средние значения компонентов состава тела педагогов и соответствие их возрастным нормам по данным БИА

Показатель	Средняя образовательная школа (n = 33)	Лицеи и гимназии (n = 35)	Дополнительное образование (n = 32)
	1	2	3
Фазовый угол, 50 кГц, град	6,25±0,10	6,29±0,10	6,17±0,10
Доля ЖМТ, %	34,42±1,16	29,76±0,98*	38,65±1,39*▲
Доля АКМ, %	54,88±0,46	54,20±0,67	54,19±0,48
Доля СММ, %	44,92±0,38	45,74±0,49	44,29±0,42▲
Доля ММТ, %	5,82±0,03	5,65±0,03*	5,71±0,02*
Доля общей воды, %	48,01±0,85	47,04±0,69	44,91±1,02*
Основной обмен веществ, ккал	1393,90±14,74	1441,87±19,97	1366,53±17,44▲
Удельный обмен веществ, ккал/кв.м	801,87±6,79	814,94±8,37	786,03±7,33▲
Фазовый угол, центиль	33,83±4,18	37,82±5,69	29,93±4,15
Доля ЖМТ, центиль	76,43±4,03	62,06±4,73*	85,20±3,76▲
Доля АКМ, центиль	43,90±5,23	41,18±5,21	40,33±4,44
Доля СММ, центиль	50,00±4,38	50,71±4,29	41,63±4,14
Доля ММТ, центиль	66,16±3,88	50,41±4,81*	62,90±4,12
Доля общей воды, центиль	41,37±4,71	33,59±5,24	52,37±5,21▲
Удельный обмен веществ, центиль	30,90±3,44	37,82±4,72	24,43±4,14▲

Примечание: здесь * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента с группой 1; ▲ – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента группой 2. Центильные показатели состава тела были рассчитаны относительно референтной общероссийской выборки пациентов, обследованных в российских Центрах здоровья в 2010-2012 гг. С.Г. Рудневым и соавт. (2014)

Анализ *нутритивного статуса* выявил, что недостаток в рационе питания белковой компоненты имели 13 (39,39%) педагогов СОШ, 10 (28,57%) – педагогов ЛГ и 17 (53,13%) – педагогов ДОП; витаминно-ми-

неральная недостаточность отмечалась у 4 (12,12%) педагогов СОШ, 1 (2,86%) – педагогов ЛГ и 3 (9,38%) – педагогов ДОП. Избыточное потребление сладкого и жирного было характерно для 17 (51,52%) и 7 (21,21%) педагогов СОШ, 5 (14,29%) и 2 (5,71%) – педагогов ЛГ, 23 (71,88%) и 14 (43,75%) – педагогов ДОП. Нарушение питьевого режима имели 13 (39,39%) педагогов СОШ, 8 (22,86%) – педагогов ЛГ и 14 (43,75%) – педагогов ДОП. В целом, менее сбалансированный рацион питания имели педагоги ДОП, а наиболее сбалансированный – педагоги ЛГ (табл. 4).

Таблица 4.

Нутритивный статус педагогов по данным БИА

Показатель	Средняя образовательная школа (n = 33)	Лицеи и гимназии (n = 35)	Дополнительное образование (n = 32)
	1	2	3
Процент лиц, имеющих недостаток белковой компоненты питания, %	39,39±8,51	28,57±7,64	53,13±8,82▲
Процент лиц, имеющих избыток продуктов с высоким гликемическим индексом, %	51,52±8,70	14,29±5,92*	71,88±7,95▲
Процент лиц, имеющих избыток продуктов с высоким содержанием жира, %	21,21±7,12	5,71±3,92*	43,75±8,77*▲
Процент лиц, имеющих нарушение питьевого режима, %	39,39±8,51	22,86±7,10*	43,75±8,77▲
Процент лиц, имеющих витаминно-минеральную недостаточность, %	12,12±5,68	2,86±2,82*	9,38±5,15

Примечание: здесь * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона с группой 1; ▲ – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по критерию хи-квадрат Пирсона группой 2.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существенных погрешностях в рационе питания, недостаточной двигательной активности и нарушениях процессов катаболической направленности у педагогов СОШ и ДОП.

При анализе компонентов *здоровьесберегающей компетентности* педагогов были получены следующие результаты. Педагоги СОШ и ДОП характеризовались среднем уровнем сформированности всех компонентов здоровьесберегающей компетенции. Педагоги ЛГ имели средний уровень

сформированности эмоционального компонента и высокий уровень – познавательного, практического и поступочного компонентов. Однако, сравнительный анализ показал, что здоровье сберегающая компетентность наиболее сформирована у педагогов ЛГ и менее – у педагогов ДОП (табл. 5).

Таблица 5.

Среднее значение шкал здоровьесберегающей компетентности педагогов по данным теста «Индекс отношения к здоровью» (по С. Дерябо, В. Ясвину)

Показатель	Средняя образовательная школа (n = 33)	Лицеи и гимназии (n = 35)	Дополнительное образование (n = 32)
	1	2	3
Эмоциональная шкала, балл	10,77±0,69	11,68±0,64	9,05±0,52▲
Познавательная шкала, балл	6,41±0,83	10,55±0,95*	5,50±0,64▲
Практическая шкала, балл	9,73±0,93	10,64±0,82	7,00±0,64*▲
Поступочная шкала, балл	6,41±0,80	9,14±0,75*	5,50±0,62▲
Индекс отношения к здоровью, балл	33,32±2,10	42,00±1,94*	27,05±1,36*▲

Примечание: здесь * – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента с группой 1; ▲ – различие статистически значимое ($p \leq 0,05$) по t-критерию Стьюдента группой 2.

В целом, у педагогов ЛГ индекс отношения к здоровью составил 42,00 балла, что соответствовало высокому уровню сформированности здоровьесберегающей компетенции. Согласно данным литературы [1, 4], это свидетельствует о положительном отношении к здоровью, адекватном восприятии собственного здоровья, ведении здорового образа жизни, рефлексивной его оценке, использовании здоровьесберегающих технологий. Полученные результаты обусловлены, по нашему мнению, большей личной заинтересованностью педагогов ЛГ, а также поощрениями со стороны администрации данных образовательных учреждений к повышению компетентности своих сотрудников в вопросах здорового образа жизни путём создания и реализации программ дополнительного профессионального образования здоровьесберегающей тематики, проведения обучающих Дней здоровья, а также разработки и внедрения систем материального поощрения лиц, повышающих свою здоровьесберегающую компетентность.

У педагогов СОШ и ДОП индекс отношения к здоровью составил 33,32 балла и 27,05 баллов, что соответствовало среднему уровню сформированности здоровьесберегающей компетенции. И это свидетельствует [1, 4] о прагматическом отношении к своему здоровью, заинтересованности

в получении знаний о здоровье и здоровом образе жизни, потребности в улучшении своих физических качеств посредством занятия физической культурой. Все это говорит [7, 12, 16, 21, 26, 27] о недостаточной сформированности системы ценностей и мотиваций педагогов СОШ и ДОП на самосохранительное поведение.

Заключение

Полученные нами результаты показали, что педагоги ЛГ, в сравнении с педагогами СОШ и ДОП, имели более сбалансированный нутритивный статус, их пищевое поведение являлось менее зависимым от различных факторов и по характеристикам более здоровым. В целом, их индекс отношения к здоровью соответствовал высокому уровню сформированности здоровьесберегающей компетенции. По нашему мнению, именно учителя, занимающиеся с детьми, имеющими более высокий уровень познавательной активности, сами в большей мере ориентированы на персональное и профессиональное саморазвитие. В случае, когда объектами обучения выступают «обычные» дети и/или ситуации взаимодействия с ними стандартизированы, а также отсутствие поощрений со стороны администрации образовательных учреждений повышения компетентности своих сотрудников, возникает опасность формализации деятельности. Это приводит в конечном итоге к ригидности мышления и поведения в отношении обучаемых и к самому себе. Это объясняет недостаточную сформированность системы ценностей и мотиваций педагогов СОШ и ДОП на самосохранительное поведение.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения этического комитета Вятского государственного университета (протокол №1 от 17.01.2020).

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.

Благодарности. Авторы статьи выражают глубокую благодарность заведующему кафедрой медико-биологических дисциплина Вятского государственного университета М. А. Морозовой за помощь в организации

исследования, а также всем педагогам, принявшим участие, и рецензентам, благодаря которым статья приняла законченный вид.

Список литературы

1. Айзман, Р. И., Лебедев, А. В., Айзман, Н. И., & Рубанович, В. Б. (2020). Комплексная оценка здоровья участников образовательного процесса: учебное пособие для среднего профессионального образования. Москва: Издательство Юрайт. С. 87–94.
2. Большой энциклопедический словарь. Педагог. Получено с https://rus-big-enc-dict.slovaronline.com/50175-ПЕДАГОГ (дата обращения: 04 августа 2022 г.).
3. Голландский опросник пищевого поведения (The Dutch Eating Behaviour Questionnaire (DEBQ)). Получено с https://psytests.org/diag/debq.html (дата обращения: 04 августа 2022 г.).
4. Дерябо, С., & Ясвин, В. (2022). Индекс отношения к здоровью. Получено с https://nsportal.ru/shkola/obshchepedagogicheskie-tekhnologii/library/2022/02/17/s-deryabo-v-yasvin-indeks-otnosheniya-k (дата обращения: 02 февраля 2024 г.).
5. Егорова, Н. В. (2022). Оценка здоровьесберегающей компетенции физкультурной образованности обучающихся общеобразовательных школ и классического университета в рамках её преемственного развития. *Педагогическое образование в России*, *(4)*, 136–144.
6. Ефимова, Г. З., Сорокин, А. Н., & Грибовский, М. В. (2021). Идеальный педагог высшей школы: личностные качества и социально-профессиональные компетенции. *Образование и наука*, *23*(1), 202–230. https://doi.org/10.17853/1994-5639-2021-1-202-230
7. Магин, В. А. (2019). Теоретический анализ понятия «культура здоровья педагога». *Проблемы современного педагогического образования*, *(63-4)*, 163–166.
8. Малкина-Пых, И. Г. (2007). *Терапия пищевого поведения.* Москва: Эксмо. С. 159–162, 166–170.
9. Менделевич, В. Д. (2007). *Руководство по аддиктологии.* Санкт-Петербург: Речь. 768 с.
10. Молодцова, Е. Ю., & Ребко, Э. М. (2020). Здоровьесберегающие, здоровьеразвивающие и здоровьеформирующие технологии в педагогическом образовании. В сборнике: *Безопасность жизнедеятельности: современные вызовы, наука, образование, практика: материалы X Межрегиональной научно-практической конференции с международным участием* (Южно-Сахалинск, 17–18 декабря 2019 г.). Южно-Сахалинск: СГУ. С. 22–27. https://doi.org/10.52606/9785888116135_22

11. Москвина, М. В. (2018). Роль личности педагога в творческом развитии личности ребенка. *Вестник научных конференций*, *(12-3)(40)*, 135–137.
12. Нарышкина, Е. В. (2017). Гигиеническая оценка знаний воспитателей детских садов и педагогов школ в области рационального питания. В сборнике: *Российская гигиена – развивая традиции, устремляемся в будущее: материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей* (Москва, 17–18 ноября 2017 г.). Москва: Изд-во «Дашков и К». С. 548–550.
13. Овчинников, А. В. (2014). О классификации компетенций. *Организационная психология*, *4*(4), 145–153.
14. Овчинников, А. В. (2014). Универсальная модель профессиональных компетенций. *Науковедение*, *(4)(23)*. Получено с https://www.naukovedenie.ru/PDF/100EVN414.pdf (дата обращения: 18 августа 2022 г.).
15. Петрова, Е. А., Акимова, Н. Н., Романова, А. В., & Соколовская, И. Э. (2020). Имидж современного учителя в представлении старшеклассников. *Образование и наука*, *(22)(2)*, 98–120. https://doi.org/10.17853/1994-5639-2020-2-98-120
16. Сазанова, М. Л., Кадочникова, Н. И., & Попова, Г. А. (2019). Формирование навыков исследовательской деятельности при освоении бакалаврами педагогики базовых учебных дисциплин. В сборнике: *Развитие профессиональных компетенций учителя: основные проблемы и ценности: сборник научных трудов V Международного форума по педагогическому образованию* (Казань, 29–31 мая 2019 г.). Казань: Изд-во «Отечество». Часть II. С. 106–112.
17. Селиванова, Е. А., & Курышова, Л. А. (2017). Диагностика и профилактика нарушений профессионального здоровья педагога. *Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров*, *(1)(30)*, 29–35.
18. Тест отношения к приёму пищи (EAT-26). Получено с https://www.eat-26.com/eat-26/ (дата обращения: 04 февраля 2022 г.).
19. Томченко, А. В. (2017). С личности педагога начинается личность школьника. В сборнике: *Актуальные вопросы развития профессионализма педагогов в современных условиях: материалы Международной электронной научно-практической конференции* (Донецк, 02–31 октября 2017 г.). Донецк: Истоки. С. 297–301.
20. Alekseev, V. B., Lir, D. N., Luzhetsky, K. P., & Shur, P. Z. (2020). Introduction of an educational program addressing healthy nutrition issues for specific population groups within the framework of the national project “Demography”. *Gigiena i Sanitariya*, *99*(12), 1412–1417. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1412-1417

21. Ateş, H., Özdenk-Demir, G., & Çalışkan, C. (2021). Determinants of science teachers' healthy eating behaviors: Combining health belief model and theory of planned behavior. *Baltic Science Education*, *20*(4), 573–589.
22. Avetisyan, A. Y., Grinin, V. M., & Kraynyukova, L. A. (2021). The influence of the degree of sanogenetic education of the population in a subsidized entity of the Russian Federation on dental health. *Stomatologiia*, *100*(6), 66–70. https://doi.org/10.17116/stomat202110006266
23. Bogdan, I. V., Gurylina, M. V., & Chistiakova, D. P. (2019). Healthy lifestyle: public attitudes and priorities. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniia i istorii meditsiny*, *27*(4), 374–378. https://doi.org/10.32687/0869-866X-2019-27-4-374-378
24. Drapkina, O. M., Karamnova, N. S., Kontsevaya, A. V., Shvabskaya, O. B., & Shishkova, V. N. (2021). Alimentary-dependent risk factors for chronic non-communicable diseases and eating habits: dietary correction within the framework of preventive counseling. Methodological guidelines Russian Society for Prevention of Non-Communicable Diseases (ROPNIZ). *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *20*(5), 273–334. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952
25. Mikhaylichenko, K., Kurbatova, A., Salazar Flores, C., Konovalova, E., & Savich, A. (2023). Health risks to the population due to carcinogenic chemicals contaminating drinking water in centralized water supply systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(4), 291–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-291-306
26. Pehlivan, M., Pehlivan, L., Yaldiz, N., Yesilkaya, B., Calim, K., Yazar, K., Kulin, R., & Ibrahim, S. (2021). Determination of nutrition knowledge levels of teachers working in Edirne city centre. *Progress in Nutrition*, *23*(3), 1–8.
27. Sazanova, M., Kadochnikova, N., Popova, G., & Dyomina, N. (2019). Possible solutions to the problem of forming the future teacher's health-preserving competence. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Proceedings of the 2nd International Conference on Education Science and Social Development (ESSD 2019)* (Vol. 298, pp. 75–79). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/essd-19.2019.16
28. Shalnova, S. A., Maksimov, S. A., Balanova, Yu. A., Evstifeeva, S. E., Imaeva, A. E., Kapustina, A. V., Karamnova, N. S., Muromtseva, G. A., Viktorova, I. A., Prishchepa, N. N., Redko, A. N., Yakushin, S. S., & Drapkina, O. M. (2020). Adherence to a healthy lifestyle among the Russian population depending on sociodemographic factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *19*(2), 2452. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2452

29. Vaslavskaya, I., Poltarykhin, A., Kolupaev, A., & Vorobyeva, V. (2023). Enhancing the effectiveness of national projects in healthcare sector. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(1), 253–293. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-253-293

References

1. Aizman, R. I., Lebedev, A. V., Aizman, N. I., & Rubanovich, V. B. (2020). *Integrated health assessment of participants in the educational process: textbook for secondary vocational education*. Moscow: Yurait Publishing. Pp. 87–94.
2. Big Encyclopedic Dictionary. Teacher. Retrieved from rus-big-enc-dict.slovaronline.com/50175-ПЕДАГОГ (Accessed August 4, 2022).
3. Dutch Eating Behavior Questionnaire (DEBQ). Retrieved from psytests.org/diag/debq.html (Accessed August 4, 2022).
4. Deryabo, S., & Yasvin, V. (2022). Index of attitude toward health. Retrieved from nsportal.ru/shkola/obshchepedagogicheskie-tekhnologii/library/2022/02/17/s-deryabo-v-yasvin-indeks-otnosheniya-k (Accessed February 2, 2024).
5. Egorova, N. V. (2022). Assessment of health-preserving competence in physical education of students in general schools and classical universities within the framework of sequential development. *Pedagogical Education in Russia*, *(4)*, 136–144.
6. Efimova, G. Z., Sorokin, A. N., & Gribovsky, M. V. (2021). The ideal teacher of higher education institution: personal qualities and socio-professional competencies. *Education and Science*, *23*(1), 202–230. https://doi.org/10.17853/1994-5639-2021-1-202-230
7. Magin, V. A. (2019). Theoretical analysis of the concept of "health culture of a teacher". *Problems of Modern Pedagogical Education*, *(63-4)*, 163–166.
8. Malkina-Pykh, I. G. (2007). *Therapy of eating behavior*. Moscow: Eksmo. Pp. 159–162, 166–170.
9. Mendelevich, V. D. (2007). *Guide to addictionology*. Saint Petersburg: Speech. 768 p.
10. Molodtsova, E. Yu., & Rebko, E. M. (2020). Health-preserving, health-developing, and health-building technologies in pedagogical education. In *Life safety: modern challenges, science, education, practice: materials of the X Interregional Scientific-Practical Conference with international participation* (Yuzhno-Sakhalinsk, December 17–18, 2019). Yuzhno-Sakhalinsk: SGU. Pp. 22–27.
11. Moskvina, M. V. (2018). The role of the teacher's personality in the creative development of a child's personality. *Bulletin of Scientific Conferences*, *(12-3) (40)*, 135–137.

12. Narishkina, E. V. (2017). Hygienic assessment of kindergarten teachers' and school teachers' knowledge regarding balanced nutrition. In *Russian hygiene: building on tradition, moving forward: materials of the XII All-Russian congress of hygienists and sanitary doctors* (Moscow, November 17–18, 2017). Moscow: Dashkov & K Publishing House. Pp. 548–550.
13. Ovchinnikov, A. V. (2014). On classification of competencies. *Organizational Psychology*, *4*(4), 145–153.
14. Ovchinnikov, A. V. (2014). Universal model of professional competencies. *Naukovedenie*, *(4)(23)*. Retrieved from cyberleninka.ru/article/n/universalnaya-model-professionalnyh-kompetentsiy/viewer (Accessed August 18, 2022).
15. Petrova, E. A., Akimova, N. N., Romanova, A. V., & Sokolovskaya, I. E. (2020). Image of a contemporary teacher in high-school students' representations. *Education and Science*, *(22)(2)*, 98–120.
16. Sazanova, M. L., Kadochnikova, N. I., & Popova, G. A. (2019). Development of research skills in bachelor-level pedagogy students when mastering core academic disciplines. In *Development of teachers' professional competencies: major problems and values: proceedings of the V International forum on pedagogical education* (Kazan, May 29–31, 2019). Kazan: Fatherland Publishing House, Part II. Pp. 106–112.
17. Selivanova, E. A., & Kuryshova, L. A. (2017). Diagnostics and prevention of professional health impairments in teachers. *Scientific support of qualification advancement system*, *(1)(30)*, 29–35.
18. Test of Attitude Toward Eating (EAT-26). Retrieved from eat-26.com/eat-26/ (Accessed February 4, 2022).
19. Tomchenko, A. V. (2017). From the teacher's personality begins the pupil's identity. In *Topical issues of teacher professionalism development in modern conditions: materials of the international electronic scientific-practical conference* (Donetsk, October 2–31, 2017). Donetsk: Istoki Publishing House. Pp. 297–301.
20. Alekseev, V. B., Lir, D. N., Luzhetsky, K. P., & Shur, P. Z. (2020). Introduction of an educational program addressing healthy nutrition issues for specific population groups within the framework of the national project "Demography". *Gigiena i Sanitariya*, *99*(12), 1412–1417. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1412-1417
21. Ateş, H., Özdenk-Demir, G., & Çalışkan, C. (2021). Determinants of science teachers' healthy eating behaviors: Combining health belief model and theory of planned behavior. *Baltic Science Education*, *20*(4), 573–589.
22. Avetisyan, A. Y., Grinin, V. M., & Kraynyukova, L. A. (2021). The influence of the degree of sanogenetic education of the population in a subsidized entity of the Russian Federation on dental health. *Stomatologiia*, *100*(6), 66–70. https://doi.org/10.17116/stomat202110006266

23. Bogdan, I. V., Gurylina, M. V., & Chistiakova, D. P. (2019). Healthy lifestyle: public attitudes and priorities. *Problemy sotsial'noi gigieny, zdravookhraneniia i istorii meditsiny*, *27*(4), 374–378. https://doi.org/10.32687/0869-866X-2019-27-4-374-378
24. Drapkina, O. M., Karamnova, N. S., Kontsevaya, A. V., Shvabskaya, O. B., & Shishkova, V. N. (2021). Alimentary-dependent risk factors for chronic non-communicable diseases and eating habits: dietary correction within the framework of preventive counseling. Methodological guidelines Russian Society for Prevention of Non-Communicable Diseases (ROPNIZ). *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *20*(5), 273–334. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952
25. Mikhaylichenko, K., Kurbatova, A., Salazar Flores, C., Konovalova, E., & Savich, A. (2023). Health risks to the population due to carcinogenic chemicals contaminating drinking water in centralized water supply systems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(4), 291–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-291-306
26. Pehlivan, M., Pehlivan, L., Yaldiz, N., Yesilkaya, B., Calim, K., Yazar, K., Kulin, R., & Ibrahim, S. (2021). Determination of nutrition knowledge levels of teachers working in Edirne city centre. *Progress in Nutrition*, *23*(3), 1–8.
27. Sazanova, M., Kadochnikova, N., Popova, G., & Dyomina, N. (2019). Possible solutions to the problem of forming the future teacher's health-preserving competence. In *Advances in Social Science, Education and Humanities Research: Proceedings of the 2nd International Conference on Education Science and Social Development (ESSD 2019)* (Vol. 298, pp. 75–79). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/essd-19.2019.16
28. Shalnova, S. A., Maksimov, S. A., Balanova, Yu. A., Evstifeeva, S. E., Imaeva, A. E., Kapustina, A. V., Karamnova, N. S., Muromtseva, G. A., Viktorova, I. A., Prishchepa, N. N., Redko, A. N., Yakushin, S. S., & Drapkina, O. M. (2020). Adherence to a healthy lifestyle among the Russian population depending on sociodemographic factors. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *19*(2), 2452. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2452
29. Vaslavskaya, I., Poltarykhin, A., Kolupaev, A., & Vorobyeva, V. (2023). Enhancing the effectiveness of national projects in healthcare sector. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(1), 253–293. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-253-293

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кадочникова Наталья Ивановна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин
Вятский государственный университет
ул. Московская, 36, г. Киров, Кировская область, 610000, Российская Федерация
usr11568@vyatsu.ru

Демина Наталия Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин
Вятский государственный университет
ул. Московская, 36, г. Киров, Кировская область, 610000, Российская Федерация
usr11322@vyatsu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalia I. Kadochnikova, Cand. Sci. (Education), Associate Professor, Department of Biomedical Disciplines
Vyatka State University
36, Moskovskaya Str., Kirov, Kirov region, 610000, Russian Federation
usr11568@vyatsu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3777-4192
ResearcherID: L-5370-2018

Natalia L. Dyomina, Cand. Sci. (Education), Associate Professor, Department of Biomedical Disciplines
Vyatka State University
36, Moskovskaya Str., Kirov, Kirov region, 610000, Russian Federation
usr11322@vyatsu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4619-0607
ResearcherID: GON-9869-2022

Поступила 02.07.2024 Received 02.07.2024
После рецензирования 30.07.2024 Revised 30.07.2024
Принята 15.08.2024 Accepted 15.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-989 **EDN: XYCTDE**
УДК 616.379-008.64

CC BY NC ND

Научная статья

РЕЗУЛЬТАТЫ HLA-ТИПИРОВАНИЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОПУЛЯЦИИ ДЕТЕЙ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 ТИПА В ХМАО-ЮГРЕ

Н.А. Юсупова, О.С. Сутормин, М.Ю. Донников, Л.В. Коваленко, А.В. Морозкина, А.Х. Гапурова, М.Л. Сафронова

Аннотация

Молекулярно-генетические исследования позволяют определить связь между генетическими факторами и уровнем заболеваемости СД в разных частях мира. Молекулярно-генетические исследования с целью определения предрасполагающих к развитию СД 1 типа HLA-генотипов были проведены во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в северных, например, в Якутии и Ямало-ненецком автономном округе. В связи с ростом заболеваемости СД 1 типа и на территории ХМАО-Югры, проведение исследований, направленных на анализ HLA-генотипов в детской популяции, с целью прогнозирования рисков предрасположенности детей к развитию СД 1 типа, является очень актуальным.

Цель исследования – сравнение частоты HLA-антигенов у детей с сахарным диабетом 1 типа и здоровых детей, с целью определить маркеры предрасположенности и резистентности к развитию заболевания.

Материалы и методы. Исследуемые были разделены на две группы. В экспериментальную группу вошли дети с подтвержденным диагнозом СД 1 типа, получающие постоянную инсулинотерапию (n = 45). Контрольная группа была представлена детьми и подростками без выявленных аутоиммунных заболеваний (n =54). HLA-типирование отобранных образцов (в качестве биоматериала использовалась цельная кровь) осуществлялось с применением специализированного оборудования для молекулярно-генетических исследований методом ПЦР: ДНК-амплификатор в «реальном времени «QuantStudio 5».

Результаты. В ходе исследования было показано, что максимальное значение относительного риска (RR) для гаплотипа DRB1*03-DQA1*0501-DQB1*0201 с частотой встречаемости 35,5% для лиц с СД 1 типа составляет

3,761, а для гаплотипа DRB1*04-DQA1*0301-DQB1*0302, с частотой встречаемости 33,4%, величина RR составляет 3,459. На территории ХМАО-Югра среди больных СД 1-го типа чаще встречаются аллели DRB1*04 (48,8%) и DQA1*03:01 (57,7%). Величина RR для аллели DQA1*03:01 составила 8,41. В контрольной группе достоверно чаще встречался гаплотип DQA1*02:01-DQB*02-DRB1*07 - 30%, который относится к протекторным и ассоциирован с низким риском развития заболевания.

Заключение. Полученные результаты могут быть использованы для выявления набора маркеров предрасположенности и резистентности к развитию СД 1 типа, что позволит по-новому подойти к вопросам прогнозирования развития заболевания у детей с наследственной предрасположенностью к сахарному диабету и проводить ранние профилактические мероприятия по снижению риска возникновения СД 1 типа.

Ключевые слова: сахарный диабет 1 типа; HLA-гаплотипы; генотипирование; HLA-антигены

Для цитирования. Юсупова, Н. А., Сутормин, О. С., Донников, М. Ю., Коваленко, Л. В., Морозкина, А. В., Гапурова, А. Х., & Сафронова, М. Л. (2025). Результаты HLA-типирования и их значение для популяции детей с сахарным диабетом 1 типа в ХМАО-Югре. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 329-345. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-989

Original article

HLA TYPING RESULTS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR POPULATION OF CHILDREN WITH TYPE 1 DIABETES MELLITUS IN KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG-YUGRA REGION

N.A. Yusupova, O.S. Sutormin, M.Yu. Donnikov, L.V. Kovalenko, A.V. Morozkina, A.Kh. Gapurova, M.L. Safronova

Abstract

Molecular genetic studies make it possible to determine the relationship between genetic factors and the incidence of diabetes in different parts of the world. Molecular genetic studies to determine HLA genotypes predisposing to the development of type 1 diabetes have been conducted in many regions of the Rus-

sian Federation, including in the northern regions, for example, in Yakutia and the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Due to the increasing incidence of type 1 diabetes in the territory of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, conducting research aimed at analyzing HLA genotypes in the pediatric population in order to predict the risks of predisposition of children to develop type 1 diabetes is very relevant.

Purpose - comparison of the frequency of HLA antigens in children with type 1 diabetes mellitus and healthy children, in order to determine markers of predisposition and resistance to the development of the disease.

Materials and methods. The subjects were divided into two groups. The experimental group included children with a confirmed diagnosis of type 1 diabetes receiving constant insulin therapy (n = 45). The control group was represented by children and adolescents without identified autoimmune diseases (n =54). The HLA typing of the selected samples (whole blood was used as a biomaterial) was carried out using specialized equipment for molecular genetic studies by PCR: a real-time DNA amplifier "QuantStudio 5".

Results. During the study, it was shown that the maximum value relative to risk (RR) for haplotype DRB1*03-DQA1*0501-DQB1*0201, the incidence rate is 35.5% for individuals with type 1 diabetes, is 3.761, and for haplotype DRB1*04-DQA1*0301-DQB1*0302, with a frequency of the occurrence rate is 33.4%, the RR value is 3.459. Alleles DRB1*04 (48.8%) and DQA1*03:01 (57.7%) are more common in patients with type 1 diabetes in the territory of Yugra. The relative risk value for the DQA1*03:01 allele was RR=8.41. In the control group, the DRB1*02:01-DQB*02-DRB1*07 haplotype was significantly more common - 30%, this haplotype belongs to the protective ones and is associated with a low risk of developing the disease.

Conclusion. The results obtained can be used to identify a set of markers of predisposition and resistance to the development of type 1 diabetes, which will help influence the prediction of the development of the disease in children with a hereditary predisposition to diabetes mellitus and will allow early preventive measures to reduce the risk of type 1 diabetes.

Keywords: diabetes mellitus; HLA haplotypes; genotyping; HLA antigens

For citation. Yusupova, N. A., Sutormin, O. S., Donnikov, M. Yu., Kovalenko, L. V., Morozkina, A. V., Gapurova, A. Kh., & Safronova, M. L. (2025). HLA typing results and their significance for population of children with type 1 diabetes mellitus in Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 329–345. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-989

Введение

Сахарный диабет (СД) является группой эндокринологических патологий, возникающих в результате недостаточной выработки инсулина (абсолютной или относительной), что ведет к увеличению концентрации глюкозы в крови и нарушению метаболических процессов. СД типа 1, являющийся автоиммунным заболеванием, обусловлен важной ролью генетической предрасположенности в его развитии [4].

Распространенность СД 1 типа отличается по всему миру из-за разнообразия факторов окружающей среды и генетического многообразия различных народов [1]. Молекулярно-генетические исследования позволяют определить связь между генетическими факторами и уровнем заболеваемости СД в разных частях мира. Основным компонентом наследственной предрасположенности для всех исследуемых популяций являются полиморфные аллели генов класса II (DRB1*, DQA1*, DQB1*) локуса HLA, которые составляют 60% риска развития СД 1 типа. Гены этого локуса могут быть предрасполагающими или защитными, или их комбинациями [19].

Для анализа степени предрасположенности к развитию СД 1 типа используются гапло- и генотипы, которые определяют диабетогенность локуса HLA класса II [8; 10; 18]. Результаты многоцентрового исследования, проведенного в Европе, показали, что частота встречаемости двух основных диабетогенных HLA-генотипов (DR4-DQA10301-DQB10302 и DR3-DQA10501-DQB10201) напрямую влияет на широтный градиент заболеваемости СД 1 типа в Европе [9; 11; 12; 13]. Частота этих генотипов наиболее высокая в северной части Европы, где также отмечается высокая заболеваемость СД 1 типа по сравнению с южной частью Европы, где частота этих генотипов ниже, что, соответственно, ведет к низкой заболеваемости СД 1 типа. На сегодняшний день были определены наиболее диабетогенные и защитные HLA-гаплотипы и генотипы для различных этнических групп и населения [16, 17]. Например, гаплотипы DQA10501-DQB10201, DQA10301-DQB10302, DRB107-DQA10301-DQB10201, DRB109-DQA10301-DQB10303 и DRB104-DQA10401-DQB10302 являются высокорисковыми гаплотипами в европейских, восточнославянских, афроамериканских, японских и китайских популяциях соответственно [15; 20]. В то же время гаплотип DRB115-DQA10602-DQB10102 является защитным в большинстве популяций [14].

Молекулярно-генетические исследования с целью определения предрасполагающих к развитию СД 1 типа HLA-генотипов были проведены во многих регионах Российской Федерации, в том числе и в северных, напри-

мер, в Якутии [5] и Ямало-ненецком автономном округе [3]. На территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (ХМАО-Югра) подобным молекулярно-генетических исследований ранее не проводилось. Стоит отметить, что на территории ХМАО-Юрга наблюдается постепенный рост числа детей, у которых впервые диагностирован сахарный диабет 1 типа. Так, в 2022 году был выявлен значительный рост заболеваемости СД 1 типа в детской возрастной группе с 15,37 случаев на 100 тыс. детского населения в 2017 году до 24,75 случаев на 100 тыс. детского населения [7]. В связи с этим, проведение исследований, направленных на анализ HLA-генотипов в детской популяции ХМАО-Югры, с целью прогнозирования рисков предрасположенности детей к развитию СД 1 типа, является очень актуальным.

Цель исследования

Целью данного исследования было сравнение частот HLA-антигенов у детей с сахарным диабетом 1 типа и здоровых детей, с целью выявления маркеров предрасположенности и резистентности к развитию сахарного диабета 1 типа.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено на базе лаборатории Научно-образовательного центра медицинского института Сургутского государственного университета. В исследовании приняли участие 99 человек в возрасте от 4 до 18 лет. Исследуемые были разделены на две группы. В экспериментальную группу вошли дети с подтвержденным диагнозом СД 1 типа, получающие постоянную инсулинотерапию, (n = 45). Контрольную группу составили детей без выявленных аутоиммунных заболеваний, (n = 54). Пациенты экспериментальной и контрольной групп являлись жителями ХМАО-Югры. От всех обследованных получено информированное согласие на участие в исследование. В качестве образцов для проведения HLA-типирования использовалась цельная кровь. Отбор венозной крови производился натощак в вакуумные пробирки с содержанием этилендиаминтетраацетата для избежания свертывания крови.

HLA-типирование отобранных образцов осуществлялось с применением специализированного оборудования для молекулярно-генетических исследований методом ПЦР: ДНК-амплификатор в «реальном времени «QuantStudio 5» (6 каналов детекции, Thermo, США (6 каналов детекции, Thermo, США), как было описано ранее [2].

Выраженность связи заболевания с HLA-антигенами определяли по величине относительного риска (RR — relative risk), которая показывает, во сколько раз выше риск развития болезни при наличии конкретного HLA-антигена по сравнению с его отсутствием. Достоверность ассоциации (p) определяли по точному двустороннему тесту Фишера для четырехпольных таблиц.

Расчет относительного риска проводили по формуле:

$$RR = \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}} = \frac{A \cdot (C+D)}{C \cdot (A+B)},$$

где A, B, C, D – количество наблюдений в ячейках таблицы сопряженности.

Результаты исследования

На первом этапе исследования определяли частоту встречаемости гаплотипов, ассоциированных с сахарным диабетом, в двух исследуемых группах:

- **гаплотипы высокого риска:** DQA1*03:01-DQB1*03:02-DRB1*04; DQA1*05:01-DQB1*02:01-DRB1*03; DQA1*05:01-DQB1*02-DRB1*03;
- **гаплотипы умеренного риска:** DQA1*04:01-DQB1*04:02- DRB1*08; DQA1*04:01-DQB1*04:01/02- DRB1*08; DQA1*01:01-DQB1*05:01-DRB1*01; DQA1*01:01/03-DQB1*05:01- DRB1*01;DQA1*03:01-DQB1*03:03-DRB1*09
- **протекторные гаплотипы:** DQA1*02:01-DQB1*02:01-DRB1*07; DQA1*02:01-DQB1*02-DRB1*07; DQA1*05:01-DQB1*03:01-DRB1*11 (слабая и средняя защита) и DQA1*01:02-DQB1*06:02-8-DRB1*15;DQA1*01:01-DQB1*05:03-DRB1*14;DQA1*02:01-DQB1*03:03-D RB1*07(сильная защита).

Результаты о структуре и частоте встречаемости гаплотипов в группе больных СД 1 типа и контрольной группе представлены в таблице 1.

Согласно результатам молекулярно-генетического исследования, частота встречаемости гаплотипов высокого риска составила 68,8% в группе с подтвержденным сахарным диабетом, в то время как в контрольной группе частота встречаемости тех же гаплотипов составляла 47,2% ($p < 0,05$). Частота встречаемости гаплотипов умеренного риска составила 37,7% в первой группе, в контрольной группе - 23,6% ($p < 0,05$). Протекторные гаплотипы средней и слабой защиты были выявлены у 23 человек из контрольной группы, что составило 41,8% от общего количества пациентов в

группе. В группе с СД 1 типа частота встречаемости этих же гаплотипов была вдвое меньше и составила 20% от общего количества пациентов в группе (p <0,05).

Таблица 1.

Структура и частота встречаемости гаплотипов в группе больных СД 1 типа и в контрольной группе

Гаплотипы, ассоциированные с СД	Частота встреча-емости у СД, абс., n=45	Частота встре-чаемо-сти у СД, %	Частота встреча-емости у без СД, абс., n=54	Частота встреча-емости у без СД, %	RR	P
Высокий риск DQA1*03:01-DQB1*03:02-DRB1*04; DQA1*05:01-DQB1*02:01-DRB1*03; DQA1*05:01-DQB1*02-DRB1*03	31	68,8%	26	47,2%	1,67	<0,05
Умеренный риск DQA1*04:01-DQB1*04:02-DRB1*08; DQA1*04:01-DQB1*04:01/02-DRB1*08; DQA1*01:01-DQB1*05:01-DRB1*01; DQA1*01:01/03-DQB1*05:01-DRB1*01; DQA1*03:01-DQB1*03:03-DRB1*09	17	37,7%	13	23,6%	1,32	<0,05
Слабая и средняя защита DQA1*02:01-DQB1*02:01-DRB1*07; DQA1*02:01-DQB1*02-DRB1*07; DQA1*05:01-DQB1*03:01-DRB1*11	9	20%	23	41,8%	0,73	<0,05
Сильная защита DQA1*01:02-DQB1*06:02-8-DRB1*15; DQA1*01:01-DQB1*05:03-DRB1*14; DQA1*02:01-DQB1*03:03-DRB1*07	8	17,7%	10	18,1%	0,98	0,061

В исследуемых группах была оценена частота встречаемости высоко предрасполагающих к развитию СД 1 типа гаплотипов. Установлено, для

гаплотипа DRB1*03-DQA1*0501-DQB1*0201 максимальное значение RR составляет 3,761, а частота его встречаемости составила 35,5% для экспериментальной группы. В то время как, гаплотип DRB1*04-DQA1*0301-DQB1*0302 имеет частоту встречаемости 33,4% и величину RR равную 3,459 (рисунок 1).

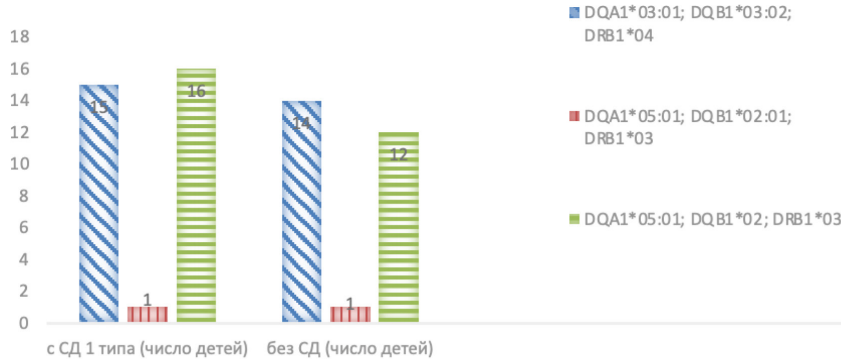


Рис. 1. Распределение частот гаплотипов генов HLA среди больных СД 1-го типа и в контрольной группе с высоким риском развития заболевания.

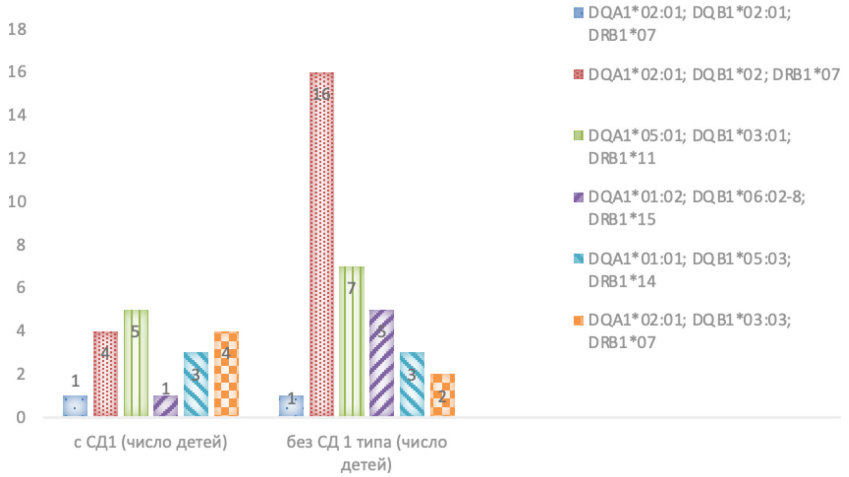


Рис. 2. Распределение частот гаплотипов генов HLA среди больных СД 1-го типа и контрольной группы с низким риском развития заболевания.

Установлено, что для исследованной выборки детской популяции ХМАО-Югры у больных СД 1-го типа чаще встречаются аллели DRB1*04

(48,8%) и DQA1*03:01 (57,7%). При этом, выявлено, что DQA1*03:01 является самым сильным предрасполагающим аллелем (RR=8,41). В контрольной группе частота встречаемости гаплотипа DQA1*02:01-DQB*02-DRB1*07 составляет 30% ($p< 0,05$) (рисунок 2). Известно, что данный гаплотип относится к протекторным и ассоциирован с низким риском развития заболевания – СД 1 типа [6].

Обсуждение

Известно, что предрасполагающими к развитию СД 1-го типа в европейских популяциях, включая российскую, являются 2 гаплотипа – DRB1*04-DQA1*0301-DQB1*0302 и DRB1*03-DQA1*0501-DQB1*0201, являющихся высоко предрасполагающими к развитию данного заболевания [9]. В рамках проведенного исследования показано, что 70% испытуемых с сахарным диабетом 1 типа характеризуются носительством гаплотипов высокого риска, таких как DRB104-DQA10301-DQB10302 и DRB103-DQA10501-DQB10201. Эти результаты согласуются с опубликованными ранее данными о частоте встречаемости данных гаплотипов у лиц с сахарным диабетом в российской и европейской популяциях.

Результаты сравнительного анализа частот распределения предрасполагающих аллелей среди популяции ХМАО-Югры у больных с сахарным диабетом 1-го типа показывают, что для данной популяции высока частота встречаемости аллелей DRB104 и DQA103:01.

В то же время, в контрольной группе выявлялся гаплотип DQA102:01-DQB02-DRB1*07, который ассоциирован с низким риском развития сахарного диабета.

Таким образом, результаты исследования указывают на важность генетических аспектов в развитии сахарного диабета 1 типа. Понимание влияния конкретных гаплотипов на риск заболевания может помочь в дальнейшем улучшении методов ранней диагностики и лечения данного заболевания, особенно в отношении конкретных этнических групп, где установлены высокие частоты носительства определенных гаплотипов.

Заключение

Полученные результаты могут быть использованы для выявления набора маркеров предрасположенности и резистентности к развитию СД 1 типа, что поможет повлиять на прогнозирование развития заболевания у детей с наследственной предрасположенностью к сахарному диабету и позволит проводить ранние профилактические мероприятия по снижению

риска возникновения таких осложнений, как диабетический кетоацидоз при манифестации СД 1 типа. Однако следует отметить, что помимо генетических факторов необходимо учитывать и факторы окружающей среды, которые вносят значительный вклад в развитие заболевания СД 1 типа.

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

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

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках конкурса научных проектов, выполняемых молодыми учеными в целях содействия инновационному развитию, формированию современного кадрового потенциала и повышению качества жизни в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре Фонда научно-технологического развития Югры, соглашение № 2023-129-05.

Список литературы

1. Дедов, И. И., Шестакова, М. В., Викулова, О. К., & др. (2021). Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет*, *24*(3), 204–221. https://doi.org/10.14341/DM12759
2. Зилов, А. В., Алексеев, Л. П., & Болдырева, М. Н. (1998). Генотипы HLA класса в русской популяции при инсулинзависимом сахарном диабете. *Сахарный диабет*, *(1)*, 31–33.
3. Кураева, Т. Л., Зубов, Л. А., Титович, Е. В., Сибилева, Е. Н., Иванова, О. Н., Ширяева, Т. Ю., Петеркова, В. А., & Дедов, И. И. (2017). HLA-гаплотипы и риск развития сахарного диабета 1 типа в популяции коренного населения Ненецкого автономного округа. *Сахарный диабет*, *20*(1), 51–58. https://doi.org/10.14341/DM7954
4. Петеркова, В. А., Безлепкина, О. Б., Лаптев, Д. Н., & др. (2022). Сахарный диабет 1 типа у детей: клинические рекомендации. В материалах ежегодной конференции детских эндокринологов Центрального Федерального

Округа «Достижения науки в клиническую практику детского эндокринолога и педиатра» (Рязань, 8–9 октября 2022 г.) (с. 5–80). Москва: ФГБУ «НМИЦ Эндокринологии» Минздрава России, ОО «Российская ассоциация эндокринологов».

5. Титович, Е. В., Кураева, Т. Л., & Данилова, Г. И. (2009). Ассоциация сахарного диабета 1 типа с полиморфными аллелями генов HLA класса II в якутской и русской популяциях. *Сахарный диабет*, *(3)*, 26–32.
6. Титович, Е. В., Кураева, Т. Л., & Прокофьев, С. А. (2010). HLA-гаплотипы, аутоантитела к β-клеткам: роль в прогнозировании сахарного диабета 1 типа (результаты 11-летнего наблюдения). *Сахарный диабет*, *(4)*, 12–17.
7. Федеральный регистр сахарного диабета. Получено с https://diaregistry.ru/ (дата обращения: 20 января 2024 г.)
8. Michels, A., Zhang, L., Khadra, A., Kushner, J. A., Redondo, M. J., & Pietropaolo, M. (2015). Prediction and prevention of type 1 diabetes: Update on success of prediction and struggles at prevention. *Pediatric Diabetes*, *16*(7), 465–484. https://doi.org/10.1111/pedi.12299
9. Valdes, A. M., Thomson, G., & Barcellos, L. F. (2010). Genetic variation within the HLA class III influences T1D susceptibility conferred by high-risk HLA haplotypes. *Genes and Immunity*, *11*(3), 209–218. https://doi.org/10.1038/gene.2009.104
10. Bonifacio, E. (2015). Predicting type 1 diabetes using biomarkers. *Diabetes Care*, *38*(6), 989–996. https://doi.org/10.2337/dc15-0101
11. Charron, D. (1997). *HLA: Genetic Diversity of HLA: Functional and Medical Implications*; [Proceedings of the Twelfth International Histocompatibility Workshop and Conference]. Conference. EDK Med. and Scientific Internat. Publ.
12. Nyaga, D. M., Vickers, M. H., Jefferies, C., Perry, J. K., & Sullivan, J. M. O. (2018). The genetic architecture of type 1 diabetes mellitus. *Molecular and Cellular Endocrinology*, *477*, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.06.002
13. Zayed, H. (2016). Genetic epidemiology of type 1 diabetes in the 22 Arab countries. *Current Diabetes Reports*, *16*(5), 37. https://doi.org/10.1007/s11892-016-0736-4
14. Ikegami, H., Fujisawa, T., Kawabata, Y., et al. (2006). Genetics of type 1 diabetes: Similarities and differences between Asian and Caucasian populations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1079*, 51–59. https://doi.org/10.1196/annals.1375.008
15. Ikegami, H., Kawabata, Y., Noso, S., et al. (2007). Genetics of type 1 diabetes in Asian and Caucasian populations. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *77*(Suppl. 1), S116–S121. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2007.01.044

16. Noble, J. A. (2015). Immunogenetics of type 1 diabetes: A comprehensive review. *Journal of Autoimmunity*, *64*, 101–112. https://doi.org/10.1016/j.jaut.2015.07.014
17. Norris, J. M., Johnson, R. K., & Stene, L. C. (2020). Type 1 diabetes—Early life origins and changing epidemiology. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, *8*(3), 226–238. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(19)30412-7
18. Karvonen, M., Tuomilehto, J., Libman, I., & LaPorte, R. (1993). A review of the recent epidemiological data on the worldwide incidence of Type 1 (insulin-dependent) diabetes mellitus. *Diabetologia*, *36*(10), 883–892. https://doi.org/10.1007/BF02374468
19. Klak, M., Gomółka, M., Kowalska, P., Cichoń, J., Ambrożkiewicz, F., Serwańska-Świętek, M., Berman, A., & Wszoła, M. (2020). Type 1 diabetes: Genes associated with disease development. *Central European Journal of Immunology*, *45*(4), 439–453. https://doi.org/10.5114/ceji.2020.103386
20. Kordonouri, O., Hartmann, R., Charpentier, N., Knip, M., Danne, T., & Ilonen, J. (2010). Genetic risk markers related to diabetes-associated autoantibodies in young patients with type 1 diabetes in Berlin, Germany. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, *118*(4), 245–249. https://doi.org/10.1055/s-0029-1246213

References

1. Dedov, I. I., Shestakova, M. V., Vikulova, O. K., et al. (2021). Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinico-statistical analysis based on diabetes register data as of January 1, 2021. *Diabetes Mellitus*, *24*(3), 204–221. https://doi.org/10.14341/DM12759
2. Zilov, A. V., Alekseev, L. P., & Boldyreva, M. N. (1998). HLA class genotypes in Russian population with insulin-dependent diabetes mellitus. *Diabetes Mellitus*, *(1)*, 31–33.
3. Kuraeva, T. L., Zubov, L. A., Titovich, E. V., Sibileva, E. N., Ivanova, O. N., Shiryaeva, T. Yu., Peterkova, V. A., & Dedov, I. I. (2017). HLA haplotypes and risk of type 1 diabetes in indigenous population of Nenets Autonomous Okrug. *Diabetes Mellitus*, *20*(1), 51–58. https://doi.org/10.14341/DM7954
4. Peterkova, V. A., Bezlepkina, O. B., Laptev, D. N., et al. (2022). Type 1 Diabetes Mellitus in Children: Clinical Guidelines. In *Annual Conference of Childhood Endocrinologists of the Central Federal District "From Scientific Discoveries to Clinical Practice of a Childhood Endocrinologist and Pediatrician"* (Ryazan, October 8–9, 2022) (pp. 5–80). Moscow: FMBA "National Medical Research Center of Endocrinology," Russian Association of Endocrinologists.

5. Titovich, E. V., Kuraeva, T. L., & Danilova, G. I. (2009). Association of type 1 diabetes with polymorphic alleles of HLA class II genes in Yakut and Russian populations. *Diabetes Mellitus*, *(3)*, 26–32.
6. Titovich, E. V., Kuraeva, T. L., & Prokofiev, S. A. (2010). HLA haplotypes, autoantibodies to beta-cells: role in predicting type 1 diabetes (results of 11-year observation). *Diabetes Mellitus*, *(4)*, 12–17.
7. Federal Register of Diabetes Mellitus. Retrieved from https://diaregistry.ru/ (Accessed January 20, 2024).
8. Michels, A., Zhang, L., Khadra, A., Kushner, J. A., Redondo, M. J., & Pietropaolo, M. (2015). Prediction and prevention of type 1 diabetes: Update on success of prediction and struggles at prevention. *Pediatric Diabetes*, *16*(7), 465–484. https://doi.org/10.1111/pedi.12299
9. Valdes, A. M., Thomson, G., & Barcellos, L. F. (2010). Genetic variation within the HLA class III influences T1D susceptibility conferred by high-risk HLA haplotypes. *Genes and Immunity*, *11*(3), 209–218. https://doi.org/10.1038/gene.2009.104
10. Bonifacio, E. (2015). Predicting type 1 diabetes using biomarkers. *Diabetes Care*, *38*(6), 989–996. https://doi.org/10.2337/dc15-0101
11. Charron, D. (1997). *HLA: Genetic Diversity of HLA: Functional and Medical Implications*; [Proceedings of the Twelfth International Histocompatibility Workshop and Conference]. Conference. EDK Med. and Scientific Internat. Publ.
12. Nyaga, D. M., Vickers, M. H., Jefferies, C., Perry, J. K., & Sullivan, J. M. O. (2018). The genetic architecture of type 1 diabetes mellitus. *Molecular and Cellular Endocrinology*, *477*, 70–80. https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.06.002
13. Zayed, H. (2016). Genetic epidemiology of type 1 diabetes in the 22 Arab countries. *Current Diabetes Reports*, *16*(5), 37. https://doi.org/10.1007/s11892-016-0736-4
14. Ikegami, H., Fujisawa, T., Kawabata, Y., et al. (2006). Genetics of type 1 diabetes: Similarities and differences between Asian and Caucasian populations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1079*, 51–59. https://doi.org/10.1196/annals.1375.008
15. Ikegami, H., Kawabata, Y., Noso, S., et al. (2007). Genetics of type 1 diabetes in Asian and Caucasian populations. *Diabetes Research and Clinical Practice*, *77*(Suppl. 1), S116–S121. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2007.01.044
16. Noble, J. A. (2015). Immunogenetics of type 1 diabetes: A comprehensive review. *Journal of Autoimmunity*, *64*, 101–112. https://doi.org/10.1016/j.jaut.2015.07.014
17. Norris, J. M., Johnson, R. K., & Stene, L. C. (2020). Type 1 diabetes—Early life origins and changing epidemiology. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, *8*(3), 226–238. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(19)30412-7

18. Karvonen, M., Tuomilehto, J., Libman, I., & LaPorte, R. (1993). A review of the recent epidemiological data on the worldwide incidence of Type 1 (insulin-dependent) diabetes mellitus. *Diabetologia*, *36*(10), 883–892. https://doi.org/10.1007/BF02374468
19. Klak, M., Gomółka, M., Kowalska, P., Cichoń, J., Ambrożkiewicz, F., Serwańska-Świętek, M., Berman, A., & Wszoła, M. (2020). Type 1 diabetes: Genes associated with disease development. *Central European Journal of Immunology*, *45*(4), 439–453. https://doi.org/10.5114/ceji.2020.103386
20. Kordonouri, O., Hartmann, R., Charpentier, N., Knip, M., Danne, T., & Ilonen, J. (2010). Genetic risk markers related to diabetes-associated autoantibodies in young patients with type 1 diabetes in Berlin, Germany. *Experimental and Clinical Endocrinology & Diabetes*, *118*(4), 245–249. https://doi.org/10.1055/s-0029-1246213

ВКЛАД АВТОРОВ

Юсупова Н.А.: разработка концепции научной работы, сбор данных, статистическая обработка, составление черновика рукописи, написание рукописи.
Сутормин О.С.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.
Донников М.Ю.: разработка концепции научной работы, анализ данных, статистическая обработка.
Коваленко Л. В.: разработка концепции научной работы.
Морозкина А.В., Гапурова А.Х., Сафронова М.Л.: анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Naina A. Yusupova: study conception and design, data collection, statistical data analysis drafting of the manuscript, writing of the manuscript.
Oleg S. Sutormin: study conception, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.
Maxim Yu. Donnikov: study conception, data analysis, statistical data analysis.
Lyudmila V. Kovalenko: study conception.
Anna V. Morozkina, Albina Kh. Gapurova, Maria L. Safronova: data analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Юсупова Наина Алимхановна, врач-детский эндокринолог, аспирант кафедры детских болезней
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»

пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
yusupova.naina08@mail.ru

Сутормин Олег Сергеевич, заведующий кафедрой химии, кандидат биологических наук
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
sutormin_os@surgu.ru

Донников Максим Юрьевич, врач-лабораторный генетик, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
donnikov@gmail.com

Коваленко Людмила Васильевна, директор Медицинского института, доктор медицинских наук, профессор
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
kovalenko_lv@surgu.ru

Морозкина Анна Владимировна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
morozkina_av@surgu.ru

Гапурова Альбина Халимбековна, младший научный сотрудник Научно-образовательного центра, магистрант Института естественных и технических наук

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
gapurova_akh@surgu.ru

Сафронова Мария Леонидовна, младший научный сотрудник Научно-образовательного центра, магистрант Института естественных и технических наук
Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет»
пр. Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Российская Федерация
safronova_ml@surgu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Naina A. Yusupova, Pediatric Endocrinologist, Postgraduate Student of the Department of Pediatric Diseases
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
yusupova.naina08@mail.ru
SPIN-code: 4304-0070
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1864-988X

Oleg S. Sutormin, Head of the Department of Chemistry, Candidate of Biological Sciences
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
sutormin_os@surgu.ru
SPIN-code: 7975-5604
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9474-0568

Maxim Yu. Donnikov, Laboratory Geneticist, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher at the Scientific and Educational Center
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
donnikov@gmail.com
SPIN-code: 9273-3121
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0120-4163

Lyudmila V. Kovalenko, Director of the Medical Institute, Doctor of Medical Sciences, Professor
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
kovalenko_lv@surgu.ru
SPIN-code: 7543-8016
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0918-7129

Anna V. Morozkina, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher at the Scientific and Educational Center
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
morozkina_av@surgu.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0547-4959

Albina Kh. Gapurova, Junior Researcher at the Scientific and Educational Center, Graduate Student at the Institute of Natural and Technical Sciences
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
gapurova_akh@surgu.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-9123-4000

Maria L. Safronova, Junior Researcher at the Scientific and Educational Center, Graduate Student at the Institute of Natural and Technical Sciences
Surgut State University
1, Lenin Ave., Surgut, 628412, Russian Federation
safronova_ml@surgu.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0020-8620

Поступила 07.03.2024 Received 07.03.2024
После рецензирования 09.06.2024 Revised 09.06.2024
Принята 25.07.2024 Accepted 25.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1277 **EDN: KCZGDL**
УДК 796.378

CC BY NC ND

Научная статья

СТРАТЕГИИ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА

И.Е. Устинов, Ю.А. Архипова, А.В. Федорова, О.А. Фирсова

Аннотация

Обоснование. Основное значение в поддержании здоровья уделяется гармонизации образа жизни. Студенты с разной массой тела могут иметь различия в двигательной активности, питании, режиме дня и качестве сна. Выявление негативных тенденций в образе жизни поможет их устранить и укрепить здоровье.

Цель. Выявить риск-факторы образа жизни студентов с различным индексом массы тела и сформулировать на их основе рекомендации укрепления здоровья.

Материалы и методы. Проведено анкетирование студентов. Всего 1458 человек (457 юношей и 1001 девушка, 555 студентов первого курса, 374 второкурсника и 529 третьекурсников). Анализ данных проведен в сводной таблице Excel. Для оценки влияние индекса массы тела на выбор респондентов использовались таблицы сопряженности и критерий хи-квадрат Пирсона.

Результаты. Как показали исследования, выбор студентами факторов укрепления здоровья (двигательная активность - 27%, отказ от вредных привычек -20%, сон - 18%, питание - 15%, режим дня - 12%, закаливание - 9%) при поливариантном вопросе не связан с индексом массы тела ($p>0.05$). Индекс массы тела при моновариантном вопросе влияет на выполнение студентами недельной нормы двигательной активности, продолжительность нахождения за компьютером, потребление соли, сахара, жареной пищи и воды ($p<0,05$) и не влияет на наличие вредных привычек ($p>0.05$). Установлены риск-факторы образа жизни*, которые могли быть ассоциированы с изменением массы тела. Для студентов с оптимальной массой тела - это частое использование соли. Для студентов с ожирением - это отсутствие достижения* нормативных объемов физической активности в неделю и регидратации в течение дня,

использование длительных промежутков нахождения за компьютером. Для студентов с повышенной массой тела - это частое использование жареных и копченых продуктов в своем рационе. Для студентов с дефицитом массы тела это пропуск завтрака, одно и двукратный прием пищи в течение дня, использование диеты для снижения массы тела.

Заключение. Стратегии укрепления здоровья у студентов с разной массой тела могут быть связаны с дифференцированным устранением выявленных риск-факторов в образе жизни. Общей задачей для всех групп является устранение вредных привычек.

Ключевые слова: индекс массы тела; здоровье; движение; сон; питание; режим дня

Для цитирования. Устинов, И. Е., Архипова, Ю. А., Федорова, А. В., & Фирсова, О. А. (2025). Стратегии поддержания здоровья студентов с различным индексом массы тела. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 346-367. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1277

Original article

STRATEGIES FOR MAINTAINING THE HEALTH OF STUDENTS WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX

I.E. Ustinov, Y.A. Arkhipova, A.V. Fedorova, O.A. Firsova

Abstract

Background. The main focus in maintaining health is on harmonizing lifestyle. Students with different body weights may have differences in physical activity, nutrition, daily routine, and sleep quality. Identifying negative lifestyle trends will help eliminate them and improve health.

Purpose. To identify risk factors of the lifestyle of students with different body mass indexes and formulate recommendations for improving health based on them.

Materials and methods. A survey of students was conducted. A total of 1,458 people (457 boys and 1,001 girls, 555 first-year students, 374 second-year students and 529 third-year students). Data analysis was performed in an Excel pivot table. To assess the influence of the body mass index on the respondents' choice, contingency tables were used using the chi-square criterion of Pearson's.

Results. As studies have shown, the choice of health-improving factors by students (physical activity - 27%, giving up bad habits -20%, sleep - 18%, nutrition - 15%, daily routine - 12%, hardening - 9%) in a polyvariant question is not associated

with the body mass index ($p > 0.05$). The body mass index in a monovariant question affects the students' fulfillment of the weekly physical activity norm, the time spent at the computer, the consumption of salt, sugar, fried food and water ($p<0.05$) and does not affect the presence of bad habits ($p>0.05$). Lifestyle risk factors that could be associated with changes in body weight were identified. For students with optimal body weight, this is the frequent use of salt. For obese students, this is the lack of achieving the standard volumes of physical activity per week and rehydration during the day, using long periods of being at the computer. For overweight students, this is the frequent use of fried and smoked foods in their diet. For students with body weight deficiency, this is skipping breakfast, eating one and two meals during the day, using a diet to reduce body weight.

Conclusion. Health promotion strategies for students with different body weights may be associated with differentiated elimination of identified risk factors in lifestyle. A common task for all groups is the elimination of bad habits.

Keywords: body mass index; health; movement; sleep; food; daily routine

For citation. Ustinov, I. E., Arkhipova, Y. A., Fedorova, A. V., & Firsova, O. A. (2025). Strategies for maintaining the health of students with different body mass index. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 346–367. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1277

Введение

Здоровье человека является важнейшей ценностью и предопределяет его успех в различных областях жизнедеятельности. Стратегии его поддержания и укрепления являются предметом научных исследований [19]. Одним из показателей, характеризующих здоровье человека, является индекс массы тела (ИМТ) [2]. Считается, что люди с оптимальным ИМТ ведут более здоровый образ жизни по сравнению с людьми с избыточным весом или ожирением [25]**,** обладают по самооценкам наилучшей работоспособностью, высоким адаптационным потенциалом к физическим нагрузкам и имеют меньший процент ответов, связанных с плохим самочувствием, в отличие от тех, у кого понижена или повышена масса тела [2]. У девушек с дефицитом и избытком массы тела чаще, чем у девушек с оптимальной массой тела, встречается повышенная тревожность [18]. Избыточный вес тела приводит к изменению баланса вегетативной регуляции в организме в сторону активирующего влияния симпатического отдела нервной системы [14]**.**

К факторам, поддерживающим здоровье, традиционно относят соблюдение режима дня, рациональное питание, гармоничное сочетание

двигательной активности и умственной деятельности, отказ от вредных привычек, сон, закаливание [3,11,19]. Знания о способах подержания здоровья в различных стратах позволят более осознанно влиять на стратегии гармоничного развития личности, физической активности, пищевых привычек и других факторов здорового образа жизни (ЗОЖ).

Цель исследования – выявить риск-факторы образа жизни студентов с различным ИМТ и сформулировать на их основе рекомендации укрепления здоровья.

Задачи исследования:

1. Выявить приоритеты студентов с разным ИМТ в использовании факторов ЗОЖ для поддержания здоровья;
2. Установить риск-факторы образа жизни у студентов с разным ИМТ в двигательной активности, питании и соблюдении режима дня;
3. Сформулировать рекомендации для поддержания здоровья студентов с разным ИМТ на основе выявленных риск - факторов в образе жизни.

Материал и методы исследования

Работа не ущемляет права и не подвергает опасности благополучия обследованных лиц в соответствии с требованиями биомедицинской этики, предъявляемыми Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Исследование выполнено в Санкт-Петербургском государственном экономическом университете в 2022-2023 учебном году. Анкетирование студентов проведено дистанционно, анонимно и добровольно, в нем участвовало 1458 человек в возрасте от 18 до 21 года (457 юношей и 1001 девушек, 555 студентов первого курса, 374 второкурсника и 529 третьекурсников). Анкета о факторах ЗОЖ была разработана авторами исследования самостоятельно и состояла из 22 вопросов. Вводная часть включала обезличенные данные респондента (курс, пол, вычисление и характеристику ИМТ в соответствии с рекомендациями ВОЗ). В основной части опроса студенты, используя поливариантный выбор, определяли факторы ЗОЖ ассоциированные, по их мнению, с поддержанием здоровья. Третья часть анкеты, предполагала моновыбор студентами характеристик своей двигательной активности, питания, режима дня и сна. Для всей анкеты использовались закрытые вопросы. Процентная статистика по каждому вопросу рассчитывалась в сводной таблице Excel.

Для оценки статистической значимости влияния фактора ИМТ на выбор респондентов использовались таблицы сопряженности с использованием критерия хи-квадрат на сайте Medstatistic.ru и quantpsy.org. По факторам образа жизни, где влияние ИМТ на выбор респондентов в группах с ожирением, повышенной массой тела и ее дефицитом статистически значимо, выявлялись наиболее интенсивно (в процентном отношении) проявляющиеся тенденции (риск-факторы), которые могли быть ассоциированы с изменением массы тела.

Самооценка студентами показателей ИМТ проводилась по формуле: масса тела (в килограммах) / рост (в метрах)^2. В соответствии с рекомендациями всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) студенты ранжировались следующим образом: дефицит массы <18,5 (224 студента, 15,4% от выборки); оптимальный вес 18,5-24,9 (894 студента, 61,3%); избыточный вес 25,0-29,9 (246 студентов, 16,9%); ожирение > 30 (94 студента, 6,5%).

Определение ИМТ – достаточно информативная методика выявления избыточной массы тела и ожирения при популяционных исследованиях, оно показывает сопоставимые результаты при сравнении с биоимпедансным анализом [16]**.** Самооценка ИМТ была выбрана в силу простоты использования при массовых исследованиях и высокой степени корреляции с ИМТ, вычисленном на основе объективных факторов контроля массы и роста участников опроса [21].

Результаты исследования

В общей выборке (без учета ИМТ) стратегии поддержания здоровья связаны (в порядке уменьшения значимости фактора) с двигательной активностью (1077 респондентов, 27%), отказом от вредных привычек (801 респондент, 20%), сном (724 респондента, 18%), рациональным питанием (611 респондента, 15%), соблюдением режима дня (467 респондента, 12%) и закаливанием (352 респондента, 9%). По сравнению с другим опросом [5], проведенном в 2021 году на выборке в 263 студента, остались прежними фаворит и аутсайдер (двигательная активность и закаливание), отказ от вредных привычек поднялся в рейтинге, а значение питания в ЗОЖ чуть снизилось.

Выбор наиболее оптимальных стратегий поддержания здоровья у групп с разным ИМТ в процентах и количестве респондентов, выбравших определенную стратегию, отражен на рисунке 1.

Отметим тенденции влияния ИМТ на количественный выбор стратегии ЗОЖ ($\chi^2_{\text{расчетное}} = 24{,}66$; Df=15; p=0,055). Стратегию двигательной активности в рамках поддержания здоровья более активно выбирают представите-

ли группы с недостатком массы тела, они же чаще всего выбирали в ходе анкетирования ответы, связанные с отказом от вредных привычек. Лица с ожирением чаще избирают более пассивные стратегии ЗОЖ, а именно - сон и соблюдение режима дня. Респонденты с оптимальной массой тела ниже оценивают важность отказа от вредных привычек. Можно предположить, что хорошее самочувствие, ассоциируемое с оптимальным ИМТ, позволяет до поры не замечать проблем, которые создают вредные привычки.

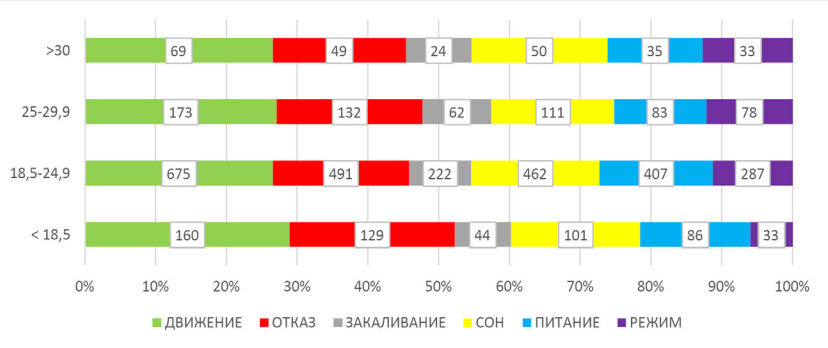


Рис. 1. Поливариантный выбор стратегий поддержания здоровья (% и количество голосов респондентов) в зависимости от ИМТ

Более комплексно выбор факторов ЗОЖ (3,5 % студентов выбрали все 6 вариантов ответов) происходил в группе с нормальным ИМТ (3,9%), а менее - в группе с ожирением 30 (2,1%). Около 18% респондентов (270 человек из 1459) отдали приоритет одному фактору укрепления здоровья, хотя могли выбрать все варианты ответов. Чаще всего это делали студенты с избыточной массой (26,8%), реже – с оптимальной (16%), у студентов с ожирением доля такого выбора составляет 20,2%, а у студентов пониженным ИМТ – 23,6%. Модой выборки по этому вопросу являются 3 фактора ЗОЖ (32,4%). Чаще такой выбор делали респонденты с избыточной массой – 34,6%, реже с оптимальной массой - 32,9 %, с дефицитом массы – 29,4%, с ожирением - 28,2%. ИМТ не влияет на комплексность выбора факторов ЗОЖ (χ^2 =24,356; Df =15; p=0,059).

В нашем исследовании подтверждается осведомленность и направленность студентов на ведение ЗОЖ [13]**.** Студенты с разным ИМТ одинаково смотрят на способы укрепления здоровья. Однако информированность студентов и выбор “правильных” ответов не гарантирует реального выполнения студентами норм ЗОЖ [20]. Поэтому далее в нашу анкету были

включены вопросы, характеризующие актуальный статус питания, двигательного режима и соблюдения режима дня по самооценкам студентов.

Движение – одно из основных направлений поддержания здоровья и в анкете респондентам был задан вопрос (моновыбор) о выполнении недельной нормы ВОЗ по двигательной активности (от 150 до 300 минут умеренной аэробной активности в виде быстрой ходьбы или 75-150 минут интенсивной активности, бега, их эквивалент или комбинация). Результаты ответов на этот вопрос представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Самооценка студентами выполнения недельной нормы двигательной активности в зависимости от ИМТ, % (абс. ч)

Ответ	ИМТ <18,5	ИМТ 18,5-24,9	ИМТ 25-29,9	ИМТ >30	Различия
Да	66,1 % (148)	71,6% (640)	66,7% (164)	58,5% (55)	$\chi2$=9,168; Df=3; p=0.003
Нет	33,9% (76)	28,4% (254)	33,3% (82)	41,5% (39)	

Отметим статистически значимое снижение процента респондентов (по таблице 1), выполняющих рекомендуемую ВОЗ норму физической активности, при увеличении ИМТ от нормы до высоких значений. Определенные противоречия между нашим исследованием и рядом других работ [5], в которых выявлено отсутствие корреляций между недостаточными занятиями физической культурой и более высоким ИМТ, могут быть объяснены тем, что у нас самооценка студентами своей двигательной активности включала не только организованные формы занятий физической культурой, но и фоновую физическую активность.

В качестве тенденции отметим различия у студентов с разным ИМТ в направленности физкультурной активности ($\chi2$=23,580; Df=15; p=0.073). Студенты с нормальным ИМТ ориентированы на силовую тренировку (29 %), кардио (20,9%) и рекреацию (19,5%). У студентов с высоким ИМТ в приоритете рекреационная (28,7%), силовая (24,5%) и кардио (22,3%) активность, студенты с повышенным ИМТ ориентированы на силовую (28,5%), рекреационную (23,9%) и кардио (17,9%) активность. Студенты с низким ИМТ связывают свою двигательную активность в рамках ЗОЖ с танцевальной направленностью (24,1%), рекреацией (20,9%) и силовой тренировкой (20,1%). Игровая активность находится на уровне около 10% у всех выделенных кластеров. Реабилитационная направленность снижена в группе с нормальным ИМТ (3,1%) и повышена в группе с низким значением ИМТ (5,8%), повышенным (4,1%) и высоким (3,2%).

Время, проведенное за компьютером в течение дня, различно у представителей с разным ИМТ ($\chi2$=33,459; Df=9; p<0,001). Студенты с оптимальной массой тела чаще используют временные промежутки меньше 5 часов (28,8%) и 5-7 часов (39,4%), реже выбирают более длительные варианты работы за компьютером в 7-9 часов (21,1%) и более 9 часов (10,7%). Студенты с повышенной массой тела и ожирением чаще, чем студенты с оптимальной массой тела, выбирают более длительные промежутки работы за компьютером.

Рациональное питание еще один компонент здоровья. Его значимость заключена в выработке энергии и получении полезных веществ для процессов жизнедеятельности. На энергетический баланс нашего организма влияют пищевые привычки: особенность рациона, время приема пищи, дробность.

Прием самой калорийной пищи в начале дня, трехразовый прием пищи в день представляют собой один из способов профилактики увеличения массы тела независимо от пола, возраста, семейного положения, уровня образования и качества питания [22]. Установлено, что дополнительный прием пищи в течение дня может приводить к увеличению ИМТ, находящегося в оптимальной зоне, на 5 пунктов, а у лиц с избыточной массой тела на 2 пункта [9].

Оценивая пищевые привычки респондентов в целом, без разделения по фактору ИМТ отметим, что 68,5% студентов выбирают частое употребление овощей и зелени, 57,4% студентов - фруктов и ягод. Для остальных в выборке – это редкость. 39,9% респондентов часто употребляют жареную пищу и копчености, 48,4% - сладости, сахар и песок, 36,8% - соль. Остальные студенты либо никогда не используют эти продукты, либо делают это редко. 35,4% студентов пропускают завтрак.

Студенты с нормальным ИМТ чаще других выбирают ответы с присутствием сырых овощей и зелени (70,3%) в своем рационе, студенты с высоким ИМТ – реже всех (52,1%). ИМТ влияет на выбор этого фактора ($\chi2$ =12,975; Df=3; p=0,005). Такая же тенденция характерна для потребления ягод и фруктов. Респонденты с нормативным (58,9%) и пониженным (59,8%) ИМТ, чаще в своем рационе используют ягоды и фрукты, чем студенты с повышенным (53,7%) и высоким (48,9%) ИМТ ($\chi2$ =5,568; Df=3; p=0,135).

Чем выше ИМТ, тем чаще респонденты указывали в анкетах об отказе в своем рационе от сладостей и сахара. У респондентов с пониженным ИМТ такой процент составлял – 6,3%, с нормальным ИМТ – 6,9%, у лиц с повышенным ИМТ – 7,7%, с высоким – 22,3% ($\chi2$ =28,740; Df=3; p<0,001).

Никогда не подсаливают пищу 14,8% респондентов с нормальным ИМТ, 16,7% с повышенным, 27,7% с высоким ИМТ и 18,3% с понижен-

ным ИМТ ($\chi2$ =11,003; Df=3; p=0,012). Отметим, что приготовление пищи и употребление полуфабрикатов уже обеспечивает норму натрия в организме, а подсаливание приготовленной пищи неоправданно повышает риски для здоровья обычного человека, несмотря на то, что может несколько повысить аппетит у студентов с дефицитом массы тела.

Чаще всего отказываются от жареных и копченых продуктов в своем рационе респонденты с ожирением (18,1%) и дефицитом массы (8,9%), с оптимальной (4,8%) и повышенной (2,4%) массой тела ($\chi2$ =36,069; Df=3; p<0,001).

Чаще всего студенты (67,6%) используют 3-4 разовое питание (максимум у студентов с оптимальной массой 69,9%), 28,1% - 1-2 разовое питание (максимум у студентов с дефицитом массы 32,1%). 16% - более пяти раз и подавляющий вклад в это число вносят студенты с высоким ИМТ, у остальных категорий респондентов данный показатель находится на уровне 3%. ИМТ ассоциирован с дробностью питания ($\chi2$ =38,298; Df=6; p<0.001).

Большинство из пропускающих завтрак имеют дефицит массы тела (39,7%) или повышенные значения этого показателя (38,2%). В выборке с ожирением (20,2%) и оптимальной массой (35,1%) таких студентов меньше. ИМТ влияет на пропуск завтрака ($\chi2$ =12,201; Df=3; p=0,007).

Опыт специального питания зависит от ИМТ ($\chi2$ =31,509; Df=9; p<0,001). Доля респондентов с отсутствием такового снижается от низкого ИМТ до высокого с 49,6 % до 29,8%. Доля применяющих специальное питание для похудения при увеличении ИМТ (от низкого к высокому) растет и достигает 34-36% у лиц с нормальным, повышенным и высоким ИМТ. Опыт применения диет после болезни от нормального ИМТ к высокому постепенно снижается (с 16% до 11,7%), а опыт питания для наращивания мышц наоборот, постепенно увеличивается (с 10,3% до 22,3%) соответственно. Отметим, что 21% респондентов с низким ИМТ имеет опыт использования диет для похудения, и только 12,1% - для увеличения мышц.

Потребление воды - важнейший фактор обмена веществ и поддержания здоровья. Общие рекомендации специалистов здравоохранения по потреблению воды в сутки находятся на уровне 30 мл на килограмм массы тела с учетом того, что около 50% из этого объема составляет чистая питьевая вода. В общей группе частота выбора ответа, связанного с потреблением чистой питьевой воды более литра в день, составляет около 55,6%. Остальные указывают, что потребляют чистую питьевую воду либо эпизодически, либо не более 1-2 стаканов в день. ИМТ влияет на выбор респон-

дентов в этом вопросе ($\chi 2$ =9,338; Df=3; p=0,025). Потребление воды более 1 литра в сутки присутствует в рационе 57,6% респондентов с оптимальной массой и у 56,5% студентов с избытком массы, у 42,6% респондентов с ожирением и у 51,8% с дефицитом массы. Около 16% респондентов с ожирением указали, что вообще никогда не используют питьевую воду в рационе для утоления жажды заменяя ее на чай, кофе и сладкие газировки.

В следующих факторах ЗОЖ не были обнаружены статистически значимые различия в группах с разных уровнем ИМТ (p>0.05): качество сна ($\chi 2$ =0,916; Df=3; p=0,822), режим дня ($\chi 2$ =5,660; Df=3; p=0,12937), вредные привычки ($\chi 2$ =0,293; Df=3; p=0,961), восприятие отдыха ($\chi 2$ =19,498; Df=12; p=0,077), отслеживание калорийности своего рациона ($\chi 2$ =7,484; Df=3; p=0,058), спонтанность питания ($\chi 2$ =2,806; Df=3; p=0,423).

Отдых во всех группах, прежде всего, ассоциируется со сном (45,9%) и другими факторами (20,8%), реже с двигательной активностью (13,8%), чтением (10,7%) и интернетом (8,9%). Сон чаще ассоциируется с отдыхом у студентов с нормальным и низким ИМТ, реже у студентов с повышенным и высоким ИМТ. Ассоциация отдыха с физической активностью наиболее сильно снижена у студентов с высоким ИМТ, и наоборот, у них повышена связь отдыха с другими компонентами образа жизни.

С качеством сна не испытывает проблем 36,9% участников нашего опроса, остальные отмечают недостаток сна, трудности с засыпанием, беспокойный сон и чувство разбитости по утрам. Сегодня нет убедительных доказательств того, что качество и длительность сна влияют на массу тела напрямую [1], но отмечено опосредованное воздействие через терморегуляцию, центр аппетита, гормональные и негормональные стимулы [15].

Режим дня в общей выборке соблюдает 20,4% респондентов (16,9% - лица, с пониженным ИМТ, 17,5% - лица с повышенной массой тела, 21,4% - респонденты с оптимальной массой тела, 26,6% - лица с ожирением). Среди основных проблем респонденты указывают на то, что редко бывают на свежем воздухе, мало двигаются, нерегулярно питаются, поздно ложатся спать, не соблюдают режим труда и отдыха.

Самооценка студентами присутствия в их жизни вредных привычек проходила в нашей анкете без дифференции на потребление алкоголя, табакокурение и предполагала констатацию присутствия либо отсутствия таковых. 36,8% респондентов в общей выборке указали на присутствие в их жизни таких элементов. Чаще такой выбор делали респонденты с дефицитом массы - 37, 5%, реже в группе с ожирением – 35,1%. Курение [25] и алкоголь [23] ассоциируются с повышенной массой тела, но независимо

от этого, отказ от вредных привычек является разумной мерой укрепления здоровья для всех респондентов, участвующих в опросе.

Около четверти студентов следит за калорийностью своего рациона. Большая часть из них лица с нормальным (25,5%) и повышенным (25,2%) ИМТ, меньше всего ориентированы на контроль энергетики своего питания – лица с пониженным (19,2%) и с высоким ИМТ (15,9%). Отмечается [24], что более интенсивный самоконтроль пищевого рациона и физической активности ассоциирован с меньшим набором веса.

Спонтанность питания характерна для 72,3% респондентов. Эта характеристика питания может быть связана не только с заеданием стресса и являться причиной увеличения массы тела, но и определять нарушения работы желудочно-кишечного тракта из-за сбоев биоритмов. Такой режим питания чаще характерен для лиц с повышенным (75,6%) и нормальным (72,4%) ИМТ, и реже - для лиц с высоким (71,3%) и пониженным (68,8%) ИМТ.

По компонентам образа жизни со статистически значимым влиянием ИМТ на выбор респондентов выявлены наиболее интенсивно (в процентном отношении) проявляющиеся тенденции, которые свойственны лицам с оптимальной массой тела и те риск-факторы, которые можно ассоциировать с изменением массы тела в группах с ожирением, повышенной массой тела и ее дефицитом.

Студенты с оптимальной массой тела, чаще других категорий респондентов ($p<0,05$), отмечают в анкетах выполнение недельной нормы ВОЗ по физической активности, проводят за компьютером менее 5 часов или используют временной промежуток 5-7 часов, более ориентированы на потребление сырых овощей и зелени, фруктов и овощей, выполнение нормы потребления питьевой воды за день и реже используют специальное питание. Как негативный фактор, влияющий на здоровье, отметим, что студенты с оптимальным весом*, чаще других, подсаливают приготовленную пищу* ($p<0,05$).

Рекомендации для данной группы студентов могут быть связаны с минимизацией вредных привычек, оптимизацией питания (прежде всего уменьшение использования соли в приготовленной пищи), режима работы и отдыха, разнообразию использования средств и форм физической культуры с учетом своих интересов и возможностей для выполнения нормы физической активности, поддержания кондиций и укрепления здоровья. Спортивные игры у здоровой молодежи представляются комплексным вариантом социализации и развития психомоторных качеств благодаря быстротечности игровых моментов, уникальности и коллективности игровых ситуаций.

Они помогут в решении задач подготовки к будущей работе, укрепят здоровье и будут являться отличной мерой профилактики повышения массы тела.

Студенты с дефицитом массы тела чаще пропускают завтрак и ориентированы на одно и двукратный прием пищи в течение дня, опыт специального питания в этой группе респондентов чаще, чем в других группах респондентов, ассоциируется с диетой после болезни, а также, как это не парадоксально, со снижением массы тела ($p<0.05$). В этой группе респондентов чаще указывают в анкетах на присутствие вредных привычек в их жизни, менее склонны соблюдать режим дня, отслеживать энергетический баланс своего рациона питания.

Стандартной рекомендацией при наборе массы тела является создание положительного энергетического баланса, а с учетом результатов нашего опроса - использование 4-5 разового питания достаточной калорийности с акцентом на завтраке и обеде, гармонизация процессов труда и отдыха и, самое главное, избегание диет на уменьшение массы тела.

Студентам с дефицитом массы тела, особенно юношам, рекомендуют силовые тренировки на основные группы мышц. Они не только повышают массу тела за счет мышечной ткани, но и способны увеличить объемы грудной клетки обеспечивая, тем самым, лучший эстетический и физиологический эффекты [8]. При этом следует выполнять упражнения до отказа и не стремиться к высокой скорости движений [12].

Студенты с повышенной массой тела реже отказываются от жареных и копченых продуктов в своем рационе, чаще используют временные промежутки 7-9 часов для работы за компьютером ($p<0.05$), чаще характеризуют свое питание как спонтанное и имеют привычку нарушать режим дня ($p>0.05$). Многие негативные тенденции, характерные для людей с ожирением, также имеются и у студентов с повышенной массой тела, но не достигают такой величины: они реже, чем студенты с оптимальной массой тела, выполняют недельную норму движений, норму регидратации чистой питьевой водой, движение в этой группе реже ассоциируется с отдыхом, они чаще подсаливают пищу и используют в рационе сахар.

Стандартные рекомендации для людей с повышенной массой тела связаны с созданием отрицательного энергетического баланса. Достижение этого, основываясь на результатах нашего исследования, может быть основано на отказе от вредных пищевых привычек и, прежде всего, от жареных и копченых продуктов, уменьшении непродуктивного времени за компьютером и, в полной мере (при отсутствии медицинских противопоказаний), использовании оздоровительного эффекта физических упражнений.

Циклические упражнения оказывают оздоровительный эффект на организм человека, в том числе, и контролируют массу тела [7]. Так, применение скандинавской ходьбы на протяжении нескольких месяцев три раза в неделю приводит к улучшению здоровья за счет, в частности, статистически значимого снижения ИМТ и жировой массы тела [6]. У студенток основной группы при использовании танцтерапии за 9 месяцев занятий на фоне снижения избыточного веса уменьшилась жировая масса, при улучшении психологического здоровья, физических кондиций и адаптационных возможностей [10]. Сочетание аэробных тренировок, позволяющих получать большие абсолютные показатели сжигания калорий за счет длительности выполнения упражнений, с силовой тренировкой, обеспечивающей за счет высокоинтенсивных, но кратковременных усилий, сильное увеличение базового обмена веществ, является оптимальной стратегией физической культуры студентов, имеющих повышенную массу тела.

Рекомендации для этой группы связаны с усилением внимания к выполнению недельной нормы ВОЗ по физической активности за счет использования рекреационных форм силовой тренировки для создания анаболического эффекта в сочетании с питанием и циклической активностью на пульсе поддерживающей тренировки для стимулирования обмена веществ и снижения массы тела. Важно использовать в полной мере фактор регидратации организма за счет чистой питьевой воды как в ходе оздоровительных тренировок, так и в режиме дня.

Студенты с ожирением реже всех используют питьевую воду в нормативных объемах для регидратации в течении дня, у них чаще снижена недельная физическая активность и чаще выбирается временной промежуток нахождения за компьютером более 9 часов, чаще используется 5-разовый прием пищи ($p<0.05$). Реже других групп используют овощи и зелень в питании.

Для поддержания здоровья этой группе рекомендуется усилить потребление питьевой воды, более активно использовать фоновую физическую активность и малые формы физической культуры (физкультпаузы при работе за компьютером, утренняя гимнастика) с целью достижения рекомендуемой ВОЗ недельной нормы двигательной активности, снизить долю непродуктивной деятельности за компьютером. В питании больше внимания уделять свежим овощам и фруктам. Поскольку для этой категории студентов отдых менее всего ассоциирован с двигательной активностью, то для выполнения недельной нормы ВОЗ по физической активности, по нашему мнению, важно дополнить фоновую физическую активность низ-

коинтенсивными видами физической активности с высокой мотивацией (например, низкоинтенсивные спортивные игры или использование мотивирующих гаджетов в быту).

Отметим ограничения, которые не позволяют нам сформулировать подробные рекомендации по нормализации массы тела и укреплению здоровья. ИМТ не выявляет соотношение мышечной, жировой и костной ткани в организме человека. Так, например, у тренированных студентов повышение ИМТ коррелировано с увеличением мышечного и костного компонента, а у ослабленных - с жировым компонентом [4], а избыток содержания жировой массы характерен не только при избыточной массе тела, но и у девушек с нормальной массой тела [17]. Исследование не ставило своей целью изучение медицинских, экономических и социальных проблем, сопряженных с жизнью молодежи. Наше исследование позволило вскрыть наиболее острые проблемы образа жизни студентов с использованием относительно простых методов и на их основе рекомендовать доступные каждому приемы гармонизации своей жизни.

Выводы

1. В соответствии с рекомендациями ВОЗ студенты ранжировались следующим образом: дефицит массы <18,5 (224 студента, 15,4% от выборки); оптимальный вес 18,5-24,9 (894 студента, 61,3%); избыточный вес 25,0-29,9 (246 студентов, 16,9%); ожирение > 30 (94 студента, 6,5%).
2. Студенты с разным ИМТ выбирают одинаковые ($p>0.05$) стратегии поддержания здоровья (двигательная активность - 27%, отказ от вредных привычек -20%, сон - 18%, питание - 15%, режим дня - 12%, закаливание - 9%) при поливариантном выборе.
3. Установлено влияние ИМТ при моновариантном выборе на выполнение студентами недельной нормы двигательной активности, времени нахождения за компьютером, потребление соли, сахара, овощей, жареной пищи и воды, дробности питания и в опыте специального питания ($p<0,05$). Не выявлено влияние фактора ИМТ ($p>0.05$) при моновариантном выборе в реализации контроля энергетики рациона, спонтанности питания, частоте потребления ягод и фруктов, в качестве сна и в его восприятии как отдыха, в наличии вредных привычек без их конкретизации, в соблюдении режима дня и в выборе направленности физкультурных занятий.
4. Установлены риск-факторы образа жизни для студентов с различным ИМТ на основе наиболее интенсивно (в процентном

отношении) проявляющихся тенденций, которые могли быть ассоциированы с изменением массы тела. Студенты с оптимальной массой, чаще других групп респондентов, подсаливают приготовленную пищу. Студенты с ожирением реже достигают нормативных объемов регидратации в течении дня и физической активности в неделю, чаще используют длительные промежутки нахождения за компьютером и больше 5 раз в день принимают пищу. Студенты с повышенной массой тела реже отказываются от жареных и копченых продуктов в своем рационе. Студенты с дефицитом массы тела чаще пропускают завтрак и ориентированы на одно и двукратный прием пищи в течение дня, чаще используют диету для снижения массы тела и реже для ее набора.

5. Стратегии укрепления здоровья студентов с разной массой тела могут быть связаны с дифференцированным устранением выявленных риск-факторов в образе жизни. Отказ от вредных привычек, независимо от их интенсивности и качества, является разумной мерой укрепления здоровья для всех респондентов.
6. Дальнейшие исследования могут быть направлены на дифференцирование выборок и введение в анкету уточняющих вопросов.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки

Список литературы

1. Агальцов, М. В., Арутюнян, Г. Г., & Драпкина, О. М. (2019). Ожирение и сон: влияние дефицита сна на массу тела. *РМЖ. Медицинское обозрение*, *3*(1-1), 10–15. Получено с https://www.rmj.ru/articles/endokrinologiya/Oghirenie_i_son_vliyanie_deficita_sna_na_massu_tela/ (дата обращения: 18 января 2025 г.).
2. Бубнов, Ю. М. (2021). Очерк социологии питания: апробация метода оценки качества жизни по индексу массы тела. В сборнике: *Наука, питание и здоровье. Сборник научных трудов Международного конгресса. В 2-х частях. Часть 1* (с. 50–59). Минск.
3. Бугаева, Л. П. (2023). Исследования факторов, влияющих на здоровье студентов. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*, *(223)*, 66–67. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p66-68

4. Чанчаева, Е. А., Сидоров, С. С., Козлов, А. В., Водолеева, В. А., & Айзман, Р. И. (2020). Взаимосвязь индекса Кетле с компонентным составом тела (мышечный, жировой, костный) студентов разного уровня физической подготовки. *Сибирский научный медицинский журнал*, *40*(2), 86–90. https://doi.org/10.15372/SSMJ20200212
5. Зюкин, А. А., Аганов, С. С., Белоруссова, С. А., & Быстрова, И. В. (2023). Взаимосвязь физической активности и привычек питания в структуре образа жизни студенческой молодежи. *Культура физическая и здоровье*, *(87)*, 36–40. https://doi.org/10.47438/1999-3455_2023_3_36
6. Катаманова, Е. В., Кудаева, И. В., Васильева, Л. С., Кудаев, А. Н., & Верлан, Н. В. (2023). Влияние занятий скандинавской ходьбой (nordic walking) на показатели здоровья женщин пожилого возраста. *Спортивная медицина: наука и практика*, *13*(1), 48–54. https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.2
7. Голубятникова, М. В., Яковлева, В. Н., Макарова, Л. Н., & Агеева, М. В. (2017). Влияние физических упражнений на показатели коэффициента здоровья, физическую подготовленность, физическое состояние и работоспособность студентов в процессе занятий физической культурой. *Спортивная медицина: наука и практика*, *7*(3), 14–21. https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.3.14
8. Егорычева, Е. В., & Фатьянов, И. А. (2022). Результаты апробации методики нормализации массы тела студентов за счёт увеличения её мышечного компонента. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*, *(203)*, 96–100. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.1.p96-100
9. Заварухина, С. А., & Звягина, Е. В. (2023). Безнагрузочная оценка физической работоспособности. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*, *(215)*, 164–169. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p164-169
10. Разина, А. О., Ачкасов, Е. Е., Руненко, С. Д., & Султанова, О. А. (2015). Оздоровительно-тренировочные программы с повышенной мотивацией у лиц с избыточной массой тела. *Спортивная медицина: наука и практика*, *(4)*, 70–77.
11. Лукашина, Е. Е., & Филиппова, С. Н. (2024). Особенности отношения к здоровому образу жизни студентов физкультурных и гуманитарных специальностей как основа разработки программ цифровизации занятий физической культурой в вузе. *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*, *(232)*, 68–74.
12. Лысенко, Е. А., Виноградова, О. Л., & Попов, Д. В. (2021). Механизмы увеличения мышечной массы и силы при регулярных силовых трениров-

ках. *Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова*, *107*(6-7), 755–772. https://doi.org/10.31857/S0869813921060078

13. Шепелева, О. М., Лазурина, Л. П., Куркина, М. П., Маль, Г. С., & Завидовская, К. В. (2023). Самооценка качества жизни и сформированности здорового образа жизни студентов-медиков. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*, *13*(2), 112–124. https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-112-124
14. Зиновьева, С. В., Кулахметова, Д. Р., Широкова, Ю. В., Морозова, М. П., & Ильина, Н. Л. (2024). Связь индекса массы тела и типа вегетативной регуляции у женщин разных возрастных групп и степени физической активности. *Кардиологический вестник*, *19*(2-2), 191.
15. Дадаева, В. А., Александров, А. А., Орлова, А. С., & Драпкина, О. М. (2020). Сон и ожирение: механизмы взаимосвязи. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*, *16*(4), 564–570. https://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-08-10
16. Новикова, И. И., Гавриш, С. М., Романенко, С. П., Сорокина, А. В., Серенко, В. В., & Креймер, М. А. (2021). Сравнительная оценка информативности методов индикации избыточной массы тела. *Санитарный врач*, *(4)*, 67–78. https://doi.org/10.33920/med-08-2104-07
17. Мусихина, Е. А., Смелышева, Л. Н., Кузнецов, Г. А., & Ткаченко, М. В. (2023). Стресс-индуцированные особенности энергетического обмена у девушек с разным индексом массы тела. *Физиология экстремальных состояний* (с. 190–193). Курган.
18. Тятенкова, Н. Н., Брагина, А. М., & Спивак, А. С. (2024). Уровень тревожности у девушек с различной массой тела. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *16*(2), 388–402. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-817
19. Устинов, И. Е. (2021). Здоровье и пол студентов как факторы, определяющие их приоритеты в физической культуре. *Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС*, *12*(2), 329–335.
20. Устинов, И. Е., & Богданова, В. А. (2022). Особенности питания и пищевые привычки студентов. *Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС*, *13*(4), 336–343.
21. Lipsky, L. M., Haynie, D. L., Hill, C., Nansel, T. R., Li, K., Liu, D., Iannotti, R. J., & Simons-Morton, B. (2019). Accuracy of self-reported height, weight, and BMI over time in emerging adults. *American Journal of Preventive Medicine*, *56*(6), 860–868. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2019.01.004

22. Longo-Silva, G., Lima, M. O., Pedrosa, A. K. P., Serenini, R., Marinho, P. M., & Menezes, R. C. E. (2024). Association of largest meal timing and eating frequency with body mass index and obesity. *Clinical Nutrition ESPEN*, *60*, 179–186. https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2024.01.022
23. Kanikowska, D., Sikorska, D., Kuczyńska, B., Grzymisławski, M., Bręborowicz, A., & Witowski, J. (2017). Do medical students adhere to advice regarding a healthy lifestyle? A pilot study of BMI and some aspects of lifestyle in medical students in Poland. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, *26*(9), 1391–1398. https://doi.org/10.17219/acem/65783
24. Arroyo, K. M., Carpenter, C. A., Krukowski, R. A., & Ross, K. M. (2024). Identification of minimum thresholds for dietary self-monitoring to promote weight-loss maintenance. *Obesity (Silver Spring)*, *32*(4), 655–659. https://doi.org/10.1002/oby.23994
25. Simkova, S. S., Dvorackova, O., & Velemínsky, M. (2022). Assessment of healthy lifestyles in relation to BMI. *Neuro Endocrinology Letters*, *43*(7–8), 393–399. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36720128/ (accessed January 18, 2025)

References

1. Agaltsov, M. V., Arutyunyan, G. G., & Drapkina, O. M. (2019). Obesity and sleep: The effect of sleep deficit on body weight. *RMJ. Medical Review*, *(3)(1-1)*, 10–15. Retrieved from https://www.rmj.ru/articles/endokrinologiya/Oghirenie_i_son_vliyanie_deficita_sna_na_massu_tela/ (Accessed January 18, 2025).
2. Bubnov, Y. M. (2021). Essay on sociology of nutrition: Validation of quality of life assessment methodology via Body Mass Index. In *Science, Nutrition and Health: Proceedings of the International Congress* (Part 1, pp. 50–59). Minsk.
3. Bugaeva, L. P. (2023). Studies of factors influencing students' health. *Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, *(223)*, 66–67. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p66-68
4. Chanchaeva, E. A., Sidorov, S. S., Kozlov, A. V., Vodoleeva, V. A., & Aizman, R. I. (2020). Correlation between Quetelet index and body composition components (muscle, fat, bone) in students with varying levels of physical fitness. *Siberian Scientific Medical Journal*, *40*(2), 86–90. https://doi.org/10.15372/SSMJ20200212
5. Zyukin, A. A., Aganov, S. S., Belorusova, S. A., & Bystrova, I. V. (2023). Physical activity and eating habits in the lifestyle structure of student youth. *Physical Culture and Health*, *(87)*, 36–40. https://doi.org/10.47438/1999-3455_2023_3_36

6. Katamanova, E. V., Kudaeva, I. V., Vasilyeva, L. S., Kudaev, A. N., & Verlan, N. V. (2023). Nordic Walking influence on elderly women's health indicators. *Sports Medicine: Science and Practice*, *13*(1), 48–54. https://doi.org/10.47529/2223-2524.2023.1.2
7. Golubyatnikova, M. V., Yakovleva, V. N., Makarova, L. N., & Ageeva, M. V. (2017). The effect of physical exercise on health coefficient, physical preparedness, physical condition, and work capacity of students engaged in physical education. *Sports Medicine: Science and Practice*, *7*(3), 14–21. https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2017.3.14
8. Egorysheva, E. V., & Fatyanov, I. A. (2022). Normalization of students' body weight by increasing muscle mass: validation results of methodology. *Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, *(203)*, 96–100. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2022.1.p96-100
9. Zavarukhina, S. A., & Zvyagina, E. V. (2023). Load-independent assessment of physical performance. *Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, *(215)*, 164–169. https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.01.p164-169
10. Razina, A. O., Achkasov, E. E., Runenko, S. D., & Sultanova, O. A. (2015). Fitness programs with enhanced motivation for individuals with excess body weight. *Sports Medicine: Science and Practice*, *(4)*, 70–77.
11. Lukashina, E. E., & Filippova, S. N. (2024). Students' attitudes to healthy lifestyle in sports and humanitarian fields as a basis for digitization of physical education classes in higher education. *Scientific Notes of P. F. Lesgaft University*, *(232)*, 68–74.
12. Lyssenko, E. A., Vinogradova, O. L., & Popov, D. V. (2021). Muscular hypertrophy and strength gain mechanisms during regular strength training. *I. M. Sechenov Russian Journal of Physiology*, *107*(6-7), 755–772. https://doi.org/10.31857/S0869813921060078
13. Shepeleva, O. M., Lazurina, L. P., Kurkina, M. P., Mal, G. S., & Zavidovskaya, K. V. (2023). Self-assessment of medical students' quality of life and adherence to healthy lifestyle. *Izvestiya Southwest State University. Series: Management, Computer Science, Informatics. Medical Equipment Manufacturing*, *13*(2), 112–124. https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-2-112-124
14. Zinovyeva, S. V., Kulakhmetova, D. R., Shirokova, Y. V., Morozova, M. P., & Ilyina, N. L. (2024). Relation between body mass index and autonomic nervous system regulation type in women of different age groups and physical activity levels. *Cardiology Bulletin*, *19*(2-2), 191.
15. Dadaeva, V. A., Alexandrov, A. A., Orlova, A. S., & Drapkina, O. M. (2020). Sleep and obesity: underlying mechanisms of connection. *Rational Pharmaco-*

therapy in Cardiology, *16*(4), 564–570. https://doi.org/10.20996/1819-6446-2020-08-10

16. Novikova, I. I., Gavrish, S. M., Romanenko, S. P., Sorokina, A. V., Serenko, V. V., & Kreymer, M. A. (2021). Comparative evaluation of informative methods for detecting excess body weight. *Sanitary Doctor*, *(4)*, 67–78. https://doi.org/10.33920/med-08-2104-07
17. Musikhina, E. A., Smelysheva, L. N., Kuznetsov, G. A., & Tkachenko, M. V. (2023). Stress-induced features of energy metabolism in girls with different body mass indexes. *Extreme Condition Physiology* (pp. 190–193). Kurgan.
18. Tyatenkova, N. N., Bragina, A. M., & Spivak, A. S. (2024). Level of anxiety in girls with different body weights. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *16*(2), 388–402. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-2-817
19. Ustinov, I. E. (2021). Gender and health as determinants of students' priorities in physical culture. *Scientific Papers of the North-Western Institute of Management RANEPA*, *12*(2), 329–335.
20. Ustinov, I. E., & Bogdanova, V. A. (2022). Student nutrition and eating habits. *Scientific Papers of the North-Western Institute of Management RANEPA*, *13*(4), 336–343.
21. Lipsky, L. M., Haynie, D. L., Hill, C., Nansel, T. R., Li, K., Liu, D., Iannotti, R. J., & Simons-Morton, B. (2019). Accuracy of self-reported height, weight, and BMI over time in emerging adults. *American Journal of Preventive Medicine*, *56*(6), 860–868. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2019.01.004
22. Longo-Silva, G., Lima, M. O., Pedrosa, A. K. P., Serenini, R., Marinho, P. M., & Menezes, R. C. E. (2024). Association of largest meal timing and eating frequency with body mass index and obesity. *Clinical Nutrition ESPEN*, *60*, 179–186. https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2024.01.022
23. Kanikowska, D., Sikorska, D., Kuczyńska, B., Grzymisławski, M., Brębo rowicz, A., & Witowski, J. (2017). Do medical students adhere to advice regarding a healthy lifestyle? A pilot study of BMI and some aspects of lifestyle in medical students in Poland. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, *26*(9), 1391–1398. https://doi.org/10.17219/acem/65783
24. Arroyo, K. M., Carpenter, C. A., Krukowski, R. A., & Ross, K. M. (2024). Identification of minimum thresholds for dietary self-monitoring to promote weight-loss maintenance. *Obesity (Silver Spring)*, *32*(4), 655–659. https://doi.org/10.1002/oby.23994
25. Simkova, S. S., Dvorackova, O., & Velemínsky, M. (2022). Assessment of healthy lifestyles in relation to BMI. *Neuro Endocrinology Letters*, *43*(7–8), 393–399. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36720128/ (accessed January 18, 2025)

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Устинов Игорь Евгеньевич, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры физической культуры
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»
наб. канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
ustinovfv@yandex.ru

Архипова Юлия Александровна, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры физической культуры
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»
наб. канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
ArkhipovaJL@yandex.ru

Федорова Алина Валентиновна, канд. пед. наук, доцент, доцент кафедры физической культуры
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»
наб. канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
alina_swim@mail.ru

Фирсова Ольга Александровна, старший преподаватель кафедры физической культуры
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»

наб. канала Грибоедова, 30-32А, г. Санкт-Петербург, 191023, Российская Федерация
firsovao1@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Igor E. Ustinov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Culture
Saint Petersburg State University of Economics
30-32A, Griboedov canal Emb., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
ustinovfv@yandex.ru
SPIN-code: 3629-6235
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-1852-5491

Yuliya A. Arkhipova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Culture
Saint Petersburg State University of Economics
30-32A, Griboedov canal Emb., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
ArkhipovaJL@yandex.ru
SPIN-code: 3714-1050
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-3249-6455

Alina V. Fedorova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Department of Physical Culture
Saint Petersburg State University of Economics
30-32A, Griboedov canal Emb., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
alina_swim@mail.ru
SPIN-code: 9318-1146

Ol'ga A. Firsova, Senior Instructor, Department of Physical Culture
Saint Petersburg State University of Economics
30-32A, Griboedov canal Emb., St. Petersburg, 191023, Russian Federation
firsovao1@yandex.ru
SPIN-code: 7626-3365
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7929-9854

Поступила 31.01.2024
После рецензирования 28.04.2024
Принята 05.05.2024

Received 31.01.2024
Revised 28.04.2024
Accepted 05.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1047 **EDN: KGILQM**
УДК 612.6:314.88

CC BY NC ND

Научная статья

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СОМАТОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ТРЕНДОМ СМЕРТНОСТИ ОТ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИИ ЖИТЕЛЕЙ-СЕВЕРЯН

О.О. Алёшина, И.В. Аверьянова

Аннотация

Обоснование. Хотя ожирение и является общепризнанным фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний, но вопрос долгосрочных изменениях ИМТ, мышечной и жировой ткани в ассоциации со смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний в онтогенетическом аспекте у жителей-северян остается открытым, особенно в популяции жителей Магаданской области.

Цель. Изучение динамики частоты встречаемости различных значений ИМТ, а также информативных величин компонентного состава тела с сопоставлением полученных данных с повозрастными изменениями удельного веса умерших от болезней системы кровообращения для пересмотра подходов к оценке риска смертности от сердечно-сосудистых заболеваний.

Материалы и методы. В исследование были включены в общей сложности 1293 участника в возрасте от 16 до 79 лет, из которых 543 человека – мужчины и 750 – женщины. Сформированные выборки были разделены на 7 подгрупп согласно возрастному критерию равному в 10-летний отрезок. В анализируемых подгруппах были определены основные соматометрические показатели: индекс массы тела, индексы жировой и мышечной массы и их соотношение.

Результаты. Выявлена тенденция роста доли населения с избыточной массой тела и ожирением по мере увеличения возраста с отсутствием региональных особенностей. Анализ динамики показателей компонентного состава тела позволяет резюмировать, что после превышения нормативного диапазона индекса жировой массы, который фиксируется в группе мужчин в 40-49 лет,

а в группе женщин в 50-59 лет, с одновременной отрицательной динамикой индекса мышечной массы только у мужчин, через 20-летний период отмечается максимальный удельный вес умерших от заболеваний системы кровообращения.

Заключение. Полученные данные позволят пересмотреть подходы к оценке риска смертности от болезней сердечно-сосудистой системы, поскольку эти результаты подчеркивают необходимость использования индекса массы тела в сочетании с показателями компонентного состава тела.

Ключевые слова: индекс массы тела; компонентный состав тела; антропометрические индексы; смертность; болезни сердечно-сосудистой системы; возрастная динамика; ожирение; север

Для цитирования. Алёшина, О. О., & Аверьянова, И. В. (2025). Возрастная динамика соматометрических показателей в сопоставлении с трендом смертности от болезней системы кровообращения в популяции жителей-северян. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 368-388. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1047

Original article

AGE DYNAMICS OF SOMATOMETRIC INDICATORS IN COMPOSITION WITH THE REGARDS TO THE MORTALITY FROM CIRCULATORY SYSTEM DISEASES IN THE POPULATION OF NORTHERNERS

O.O. Alyoshina, I.V. Averyanova

Abstract

Background. Although obesity is a widely recognized risk factor for cardiovascular diseases in the ontogenetic aspect, the association of long-term changes in indices of body mass, muscle and fat tissues with the mortality from cardiovascular diseases is an open question regarding the North residents especially the population of the Magadan Region.

Purpose. To study the dynamics of the frequency of occurrence of various BMI values, as well as informative values of body component composition, comparing the data obtained with the trend of mortality from diseases of the circulatory system

in the population of Northerners in order to revise approaches to assessing the risk of mortality from cardiovascular diseases.

Materials and methods. A thousand two hundred and ninety-three participants aged 16 to 79 years were included in the study: 543 men and 750 women. The formed samples were divided into seven subgroups according to the age criterion equal to 10 years. The subgroups were examined to study the subjective main somatometric indicators: body mass index, fat and muscle mass indices, and their ratio.

Results. We made an analysis of the age-related pictures for the percentage of different BMI categories in the groups of male and female subjects living in the northern region. We could see the fat mass indices exceeding the normative range which was characteristic of the examined men at the age of 40-49 and at 50-59 years old in women, with simultaneous negative dynamics of the muscle mass index. An analysis of the dynamics of the body component composition allowed for summarizing that men and women have a peak in mortality from circulatory system diseases after a 20-year period.

Conclusion. Our findings suggest the approaches to assessing the risk of mortality from cardiovascular system diseases requires to be reconsidered since the results emphasize the need to use body mass index in combination with indicators of body component composition.

Keywords: body mass index; body component composition; anthropometric indices; mortality; diseases of the cardiovascular system; age dynamics; obesity; north

For citation. Alyoshina, O. O., & Averyanova, I. V. (2025). Age dynamics of somatometric indicators in composition with regards to mortality from circulatory system diseases in the population of northerners. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 368–388. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1047

Введение

В XXI веке наиболее актуальной проблемой в сфере здравоохранения большинства стран мира являются сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), показатели смертности от которых занимают лидирующие места среди смертности от других заболеваний [4]. При этом, среди взрослого населения России заболеваемость ССЗ является ведущей среди причин смертности от всех причин [1]. Помимо влияния на качество и продолжительность жизни человека, ССЗ наносят значительный экономический ущерб стране в виде сокращения трудовых ресурсов и затрат на здравоохранение [11].

Установленными и наиболее распространёнными факторами риска ССЗ являются сахарный диабет 2-го типа, гиперхолестеринемия и ожирение, особенно абдоминальное [6], артериальная гипертензия, дисли-

пидемия, а также низкая физическая активность и курение [22]. Стоит отметить, что при наличии ожирения риск ССЗ повышается за счет ассоциации с основными факторами риска [20], при этом ожирение значимо увеличивает риск ССЗ и сердечно-сосудистой смертности независимо от других факторов риска [17].

Ожирение, выявленное по индексу массы тела (ИМТ), является выраженным фактором риска ССЗ [2; 14], однако, данный метод часто подвергается критике из-за неспособности проводить различия между жировой и безжировой массой тела, что особенно важно в возрастном аспекте, когда два этих параметра претерпевают изменения [21]. Важно учитывать, что жировой и мышечный компоненты оказывают различное влияние на состояние здоровья человека и течение клинической картины, так, жировая масса является негативным фактором, тогда как мышечная – защитным [13; 21].

Необходимость изучения состава тела определяется тем, что он является независимым предиктором исхода в различных моделях заболевания [18]. К примеру, в ряде работ показано, что прогнозируемая мышечная масса имеет U-образную связь со смертностью, в то время как жировая - положительную линейную [13], а процент жировой массы является независимым фактором риска коронарных событий, а также смерти от ССЗ у мужчин и ишемического инсульта у женщин [8].

Цель исследования – изучение динамики частоты встречаемости нормативных значений ИМТ, избыточной массы тела и ожирения, а также информативных величин компонентного состава тела, отражающих наличие ожирения и саркопенических проявлений в статусе физического развития с одновременным сопоставлением полученных данных с повозрастными изменениями удельного веса умерших от болезней системы кровообращения, что позволит пересмотреть подходы к оценке риска смертности от болезней сердечно-сосудистой системы

Материалы и методы исследования

Для поставленной цели был проведен анализ медицинских карт жителей Магаданской области, полученных из ГБУЗ «Магаданский областной Центр медицинской профилактики». Всего проанализировано 1293 обследуемых, из которых 543 человека – мужчины (от 17 до 79 лет) и 750 – женщины (от 16 до 74 лет). Сформированные выборки мужчин и женщин были разделены на 7 групп, согласно возрастному критерию: в 1-ю вошли лица в возрасте от 16 до 19 лет, во 2-ю – 20-29 лет, в 3-ю – 30-39 лет, в 4-ю – 40-49 лет, в 5-ю 50-59 лет, в 6 – 60-69 лет, в 7 – 70-79 лет.

Проведен анализ антропометрических данных, а также показателей состава тела, полученных при помощи биоимпедансного анализатора обменных процессов и состава тела АВС-02 «МЕДАСС», Россия. На основании имеющихся данных рассчитаны: индекс массы тела (ИМТ, кг/м2), индекс массы жира (FMI = жировая масса тела (кг)/ДТ (м)2, кг/м2), индекс безжировой массы (FFMI = тощая масса тела (кг)/ДТ(м)2, кг/м2) и соотношение индекса жировой и безжировой массы (FMI/FFMI, усл. ед.) [12]. Дифференциация ИМТ проведена согласно классическим критериям ВОЗ, где ИМТ <18,5 характеризуется как дефицит массы тела, 18,5-24,9 – нормальная масса тела, 25,0-29,9 – избыточная масса тела, и >30 – ожирение [9].

Значения FMI ≥ 8,3 усл. ед. у мужчин и ≥ 11,8 усл. ед. у женщин классифицировались как избыточная жировая масса, а показатель FFMI ≤17,4 усл. ед. у мужчин и ≤15 усл. ед. у женщин - как низкая мышечная масса. Соотношение FMI/FFMI<0,4 усл. ед. определялось как метаболическое здоровье, 0,4–0,8 усл. ед. – как ожирение, >0,8 усл. ед. – как саркопеническое ожирение [12].

Также были проанализированы абсолютные показатели смертности от болезней системы кровообращения (БСК) в 2016-2019 года, полученные из ОГКУЗ «Магаданский областной медицинский информационно-аналитический центр». Анализ класса БСК был проведен по блокам: смертельные случаи от болезни, характеризующихся повышенным кровяным давлением (коды по МКБ-Х: 110-114); от цереброваскулярных болезней (коды по МКБ-Х: 160-169); от ишемической болезни сердца (коды по МКБ-Х: 120-125), с отдельным анализом частоты случаев смерти от инфаркта миокарда (коды по МКБ-Х: 121-122). Данные были разделены по полу и возрастным группам.

Статистическая обработка проведена с применением пакета прикладных программ «Statistica 7.0». Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты исследования представлены как среднее значение и его ошибка (M± SD). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением. При сравнении несвязанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался p<0,05.

Результаты исследования

В таблице 1 представлены анализируемые показатели и их статистические различия, также приведена численность случаев смерти в различных возрастных группах от болезней системы кровообращения за 2016-2019 гг. в Магаданской области. Таблица 2 отражает внутригрупповые статистические различия по анализируемым показателям в выборках мужчин и женщин. Анализ полученных данных позволил установить, что у мужчин до 40-49 лет происходит значимый рост ИМТ, FMI и FMI/FFMI. Группа женщин характеризуется значимым возрастанием показателей FMI, FMI/FFMI до 50-59 лет, показатель ИМТ в женской выборке статистически значимо увеличивается в период с 20-29 до 60-69 лет. Следует отметить, что как у мужчин, так и у женщин показатель FFMI в возрастном аспекте не претерпевает значимых изменений, исключением является возраст 60-69 лет в группе женщин, который характеризуется выраженным возрастанием данного параметра.

Показатель ИМТ у мужчин начиная с возраста 30-39 лет имеет значение избыточной массы тела, для женщин характерно наличие избыточной массы тела по ИМТ в 40-59 и 70-79 лет, тогда как в период 60-69 лет данный параметр характеризуется как «ожирение».

Анализ расчетных антропометрических индексов показал, что по индексу FFMI как мужчины, так и женщины, во всех анализируемых возрастных периодах имеют показатель мышечной массы, соответствующий норме. Согласно FMI ожирение в группе мужчин фиксируется, начиная с 40-49 лет и далее, у женщин – с 50-59 лет. Соотношение FMI/FFMI подтверждает ожирение в группе мужчин начиная с возрастного диапазона 40-49 лет, при этом в группе женщин данный параметр указывает на более раннее начало данного заболевания, выявив его в возрасте 30-39 лет. Стоит отметить, что у женщин отмечаются более высокие значения параметра FMI/FFMI, относительно мужчин во всех анализируемых возрастных периодах, исключением является возраст 40-49 лет. Данная тенденция является негативной и свидетельствует о том, что среди женского населения избыточная масса тела и ожирение встречаются чаще, чем у мужчин, что также подтверждается несколько более высокими показателями ИМТ и FMI среди женщин и находит подтверждение в ряде работ других авторов [3, 7].

Анализ возрастной структуры смертности жителей Магаданской области от БСК позволил выявить, что наибольший удельный вес умерших мужчин приходится на возрастной диапазон 60-69 лет, тогда как у женщин смещен на более поздний возраст и выявлен в 70-79 лет.

Таблица 1.

Анализируемые показатели, статистические различия между мужчинами и женщинами и численность умерших человек от болезней системы кровообращения в 2016-2019 гг. в Магаданской области

	Возрастная группа	Численность, чел.	Средний возраст, лет	ИМТ, кг/м^2	FFMI, кг/м^2	FMI, кг/м^2	FMI/FFMI, кг/м^2	Численность умерших от БСК, чел.
мужчины	17-19	117	18,3±1,1	22,6±3,2	19,2±7,6	4,2±2,2	0,22±0,1	0
	20-29	96	24,7±2,9	24,5±4,9	18,7±1,9	5,8±2,9	0,31±0,1	6
	30-39	107	33,7±3,1	***25,8±4,1***	18,7±2,1	7,1±2,1	0,38±0,1	32
	40-49	53	43,9±2,9	***29,4±5,1***	19,0±3,6	***10,0±3,6***	***0,53±0,1***	95
	50-59	61	54,7±2,3	***29,5±5,5***	18,7±2,3	***10,4±3,1***	***0,56±0,1***	229
	60-69	80	63,7±2,7	***28,8±4,5***	18,6±2,7	***10,3±2,7***	***0,55±0,1***	434
	70-79	29	73,4±2,7	***28,2±3,2***	18,2±0,4	***10,1±2,2***	***0,56±0,1***	225
женщины	16-19	166	18,1±1,1	22,4±3,2	16,5±2,2	5,3±2,2	0,32±0,1	0
	20-29	86	24,7±3,7	23,0±3,7	16,4±2,8	6,3±1,9	0,39±0,1	1
	30-39	134	34,6±3,5	24,2±4,6	16,3±2,3	7,8±2,3	***0,47±0,1***	8
	40-49	83	44,7±2,7	***26,5±5,5***	16,7±2,7	9,7±3,6	***0,57±0,1***	32
	50-59	150	54,5±2,5	***29,1±6,1***	17,3±2,5	***12,0±3,7***	***0,69±0,2***	90
	60-69	112	63,9±3,2	***30,8±6,3***	18,6±3,2	***12,8±4,2***	***0,69±0,2***	258
	70-79	19	72,4±1,7	***29,9±7,4***	18,1±4,4	***12,2±3,1***	***0,68±0,1***	307
Статистические различия между М и Ж	16-19	-	p=0,043	p=0,287	p<0,001	p<0,001	p<0,001	-
	20-29	-	p=0,461	p=0,039	p<0,001	p=0,104	p<0,001	-
	30-39	-	p=0,045	p=0,005	p<0,001	p=0,029	p<0,001	-
	40-49	-	p=0,079	p=0,01	p<0,001	p=0,321	p=0,042	-
	50-59	-	p=0,293	p=0,339	p<0,001	p=0,008	p<0,001	-
	60-69	-	p=0,282	p=0,040	p=0,474	p<0,001	p<0,001	-
	70-79	-	p=0,062	p=0,171	p=0,477	p=0,008	p<0,001	-

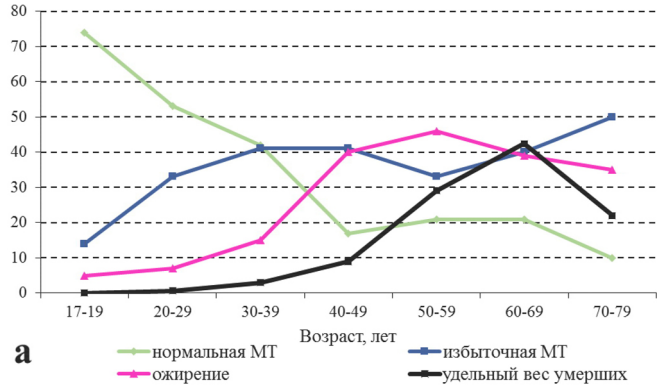
Примечание: курсивом выделены показатели, превышающие нормативные значения; БСК – болезни системы кровообращения; М – мужчины; Ж – женщины.

Таблица 2.

Внутригрупповые статистические различия по анализируемым показателям в выборках мужчин и женщин

Возрастная группа	16-19 – 20-29	20-29 – 30-39	30-39 – 40-49	40-49 – 50-59	50-59 – 60-69	60-69 – 70-79
Мужчины						
Средний возраст, лет	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
ИМТ, кг/м^2	p<0,001	p=0,035	p<0,001	p=0,474	p=0,222	p=0,216
FFMI, кг/м^2	p=0,274	p=0,473	p=0,248	p=0,282	p=0,416	p=0,194
FMI, кг/м^2	p<0,001	p<0,006	p<0,001	p=0,172	p=0,354	p=0,351

FMI/FFMI, кг/м^2	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,169	p=0,417	p=0,437
Женщины						
Средний возраст, лет	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
ИМТ, кг/м2	p=0,144	p=0,029	p=0,005	p<0,001	p=0,041	p=0,308
FFMI, кг/м2	p=0,368	p=0,394	p=0,163	p=0,062	p<0,001	p=0,324
FMI, кг/м2	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,059	p=0,261
FMI/FFMI, кг/м2	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,103	p=0,358



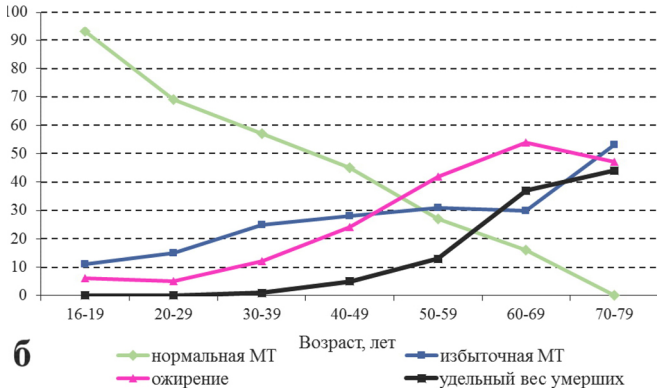


Рис. 1. Процентное соотношение различных категорий ИМТ и удельного веса умерших от БСК в различных возрастных группах у мужчин (а) и женщин (б).

Примечание: вертикальная ось отражает процентные значения нормальной МТ, избыточной МТ, ожирения и удельного веса умерших от болезней системы кровообращения в различных возрастных группах, МТ – масса тела

Возрастные профили процентного соотношения различных категорий ИМТ, а также возрастная динамика средних величин мышечного и жирового индексов в соотнесении с показателями удельного веса умерших от болезней системы кровообращении в группах мужчин и женщин – жителей северного региона представлены на рисунках 1, 2, и 3.

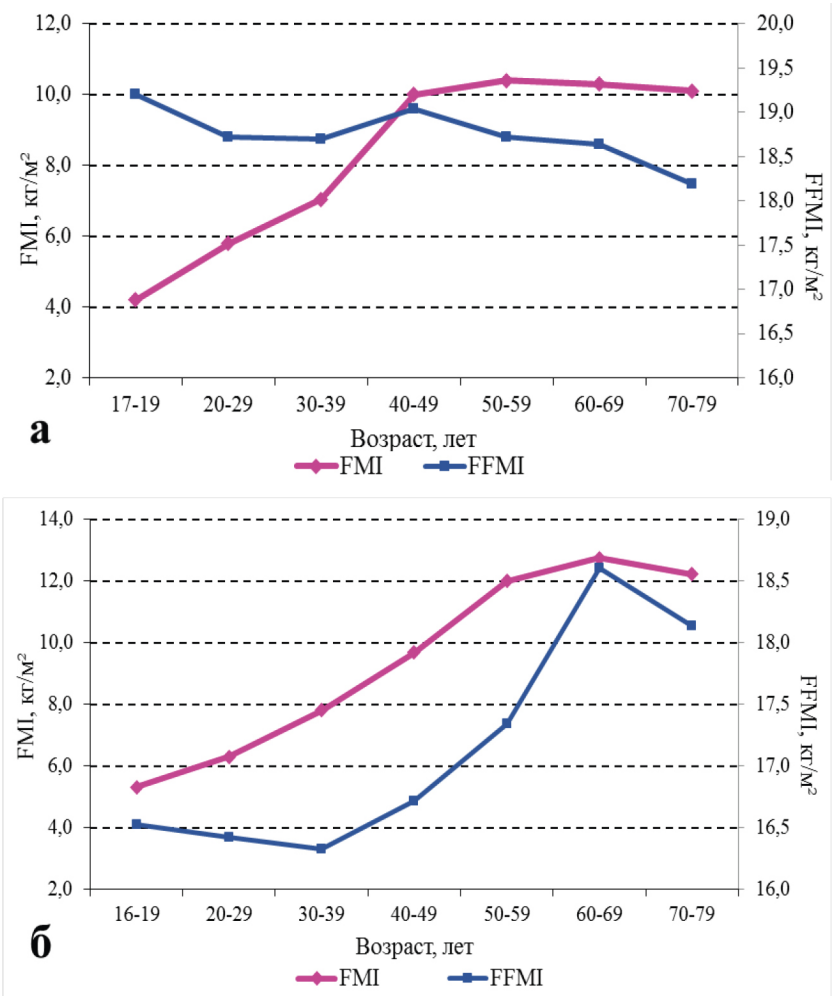


Рис. 2. Возрастозависимые изменения мышечного (FFMI) и жирового (FMI) индексов у мужчин (а) и женщин (б)

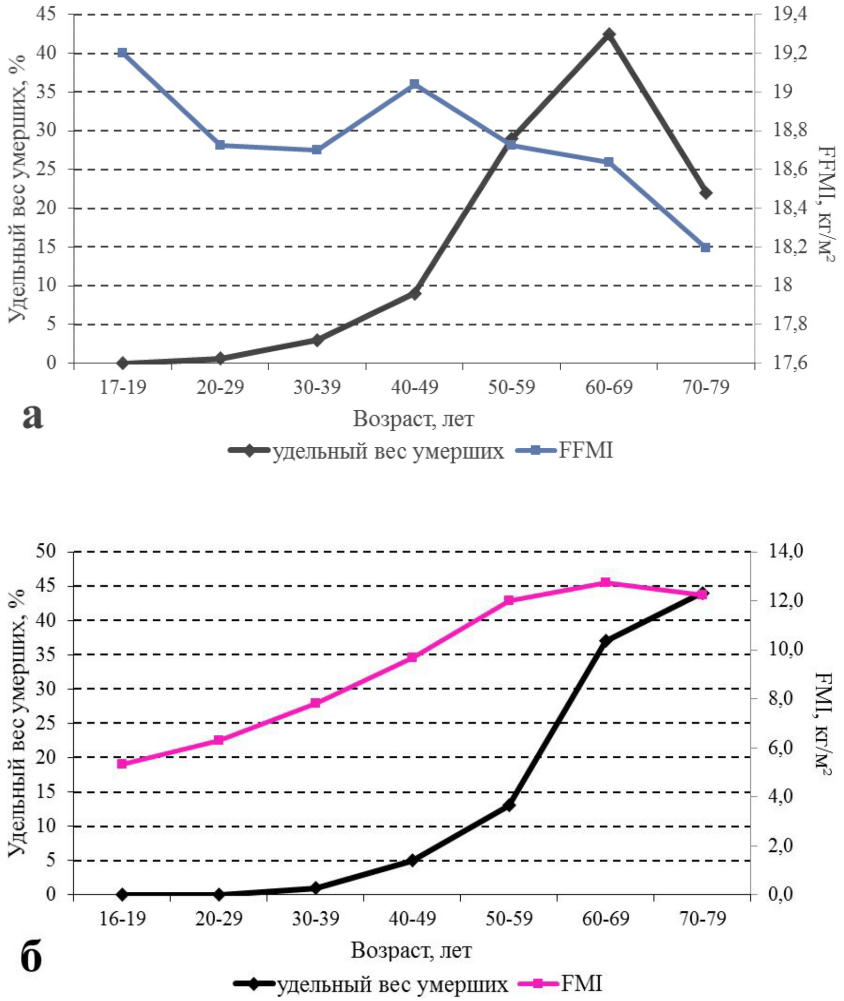


Рис. 3. Взаимосвязь индекса мышечной массы (FFMI) и удельного веса умерших от болезней системы кровообращения в различных возрастных категориях у мужчин (а) и индекса жировой массы (FMI) и повозрастного удельного веса умерших от болезней системы кровообращения у женщин (б)

Обсуждение

Анализируя тренды динамики встречаемости нормальной, избыточной массы тела и ожирения в онтогенетическом аспекте, а также удельного

веса умерших от БСК в популяции мужчин (рис. 1а) следует указать на то, что к 70-79-летнему периоду отмечается превалирующая степень встречаемости избыточной массы тела на фоне снижения доли лиц с ожирением и отсутствием дефицита массы тела. Необходимо отметить, что на рисунке отмечается особый паттерн перекрестов линий по частоте встречаемости нормальной, избыточной массы тела и ожирения: так первый перекрест превалирования избыточной массы тела над нормативными величинами был зафиксирован в 40-49-летний период онтогенеза, что наблюдалось на фоне выраженного возрастания встречаемости ожирения и началом возрастания удельного веса умерших от БСК. Это значительное увеличение частоты встречаемости ожирения привело к перекресту линий избыточной массы тела и превалированием частоты ожирения в возрастной период после 40-49 лет с одновременно выраженным снижением процента нормативных величин массы тела. Интересным на наш взгляд оказался второй перекрест линий трендов избыточной массы тела и ожирения, который отмечался в возрастной период 60-69 лет, где наблюдалось превалирование избыточной массы над ожирением вплоть до периода 70-79 лет, при этом данная комбинация линий трендов совпала с максимальным удельным весом умерших от БСК.

На рисунке 1б представлены линии трендов профилей процентного соотношения различных категорий ИМТ в популяции женщин с одновременным представлением возрастных особенностей удельного веса умерших от БСК. Анализируя линии полученных кривых, стоит указать, что аналогично с группой мужчин первый перекрест превалирования ожирения над избыточной массой тела мы также наблюдали в возрастной период 40-49 лет, но данный факт наблюдался на фоне высокой частоты нормативных значений массы тела с достаточно невысокой встречаемостью доли лиц как с избыточной массой тела, так и ожирением. В более старших возрастных группах (50-59, 60-69 лет) мы отметили стремительное возрастание частоты ожирения со значимо более высокой долей ожирения в группе женщин относительно сверстников-мужчин, а также с отмеченным 2-м перекрестом линий избыточной массы тела и ожирения в 70-79 лет (что на 10 лет позже, чем в популяции мужчин), при этом удельный вес умерших не имел выраженных пиков, а находился на плато начиная с 50-59 лет с некоторым возрастанием к 70-79-летнему периоду онтогенеза.

В целом следует отметить, что пик распространенности ожирения в группе мужчин-северян был отмечен в возрастной период 50-59 лет, а в группе женщин – в 60-69 лет, что сопоставимо с данными представленны-

ми другими авторами [5]. Также следует сделать акцент на наиболее быстрый относительный рост распространенности ожирения среди мужчин между возрастными промежутками 30-39 – 40-49 лет, тогда как в группе женщин столь выраженной динамики в каком-либо возрастном отрезке зафиксировано не было, при этом отмечалось постепенное возрастание линии тренда частоты встречаемости ожирения начиная с 20-29 лет вплоть до 60-69 лет. Необходимо указать на гендерные различия относительно линии тренда нормативных величин ИМТ: так в группе мужчин относительно выраженное снижение доли лиц с категорией ИМТ от 18,5 до 24,9 кг/м2 было отмечено в период с 20-29 лет до 40-49 лет с сохранением в 10% случаев нормативной величины ИМТ в 70-79 лет. Тогда как в группе женщин уже начиная с 19-летнего периода до 70-79 лет наблюдалось постепенное и планомерное снижение линии тренда нормативных значений ИМТ с отсутствием встречаемости к 70-79 летнему периоду.

Следует отметить, что 2 пересечения линий избыточной массы тела и ожирения с формированием определенных «островков» (в 1-м пересечении с превалированием ожирения и во 2-м пересечении – с превалирование избыточной массы тела) отчасти имели схожие гендерные особенности – начало в 40-49 летний период, но имели и ряд различий: так в мужской популяции в сравнении с женской выборкой 1-й перекрест (начало формирование «островка») наблюдался на более высокой линии графика, соответствующей 40%, где доля лиц с избыточной массой тела и ожирением в среднем составила по 40%, тогда как в группе женщин, данное пересечение было отмечено на линии сетки графика равной ниже 30% (при этом соответственно в данный возрастной период доли лиц с ожирением и избыточной массой тела составили примерно по 30% с достаточным количеством женщин с нормативными значениями ИМТ. Также следует указать и на различный характер протяженности данных «островков», относительно анализируемых 10-летних возрастных периодов: так если в группе мужчин второй перекрест был отмечен в 60-69-летний возрастной период (20-летняя протяженность), то в выборке женщин – на 10 лет позже (70-79 лет) формируя протяженность островка, охватывающую возрастные группы с 40-49 по 70-79 лет. Интересным оказался факт, что 2-й перекрест данного островка как в группе мужчин, так и в группе женщин был ассоциирован с максимальным удельным весом умерших от БСК.

В целом, получены перестройки линий трендов процентного соотношения различных категорий ИМТ и удельного веса умерших от БСК, где после максимального удельного веса умерших, наблюдаемого в период

60-69 лет у мужчин и в 70-79 лет у женщин, мы отмечаем снижение количества людей с ожирением. Стоит отметить, что в данные возрастные периоды характеризуются отсутствием лиц с дефицитом массы тела и достаточно высокой частотой встречаемости лиц с избыточной массой тела, что в полной мере сопоставимо с таким феноменом как «парадокс ожирения» [10]. При этом, данные проявления в большей степени были характерны лишь для популяции мужчин-северян.

Имеются данные, что именно состав тела играет решающую роль в парадоксе ожирения и может быть ответственен за U-образную кривую численности умерших от ИМТ. При этом общее содержание жира при более высоком ИМТ ассоциируется с увеличением смертности, тогда как величина мышечного компонента – напротив, обладает протективным действием относительно риска смерти от сердечно-сосудистых заболеваний [19]. Исходя из данного вывода нами был проведен анализ динамики индекса мышечной и жировой массы тела в ряду от представителей юношеского возраста до группы лиц пожилого возраста, как в женской, так и в мужской популяции жителей-северян (рисунок 2 а, б).

Анализ возрастного изменения жирового и мышечного компонентов тела позволил установить, что для мужской популяции (рис. 2а) характерно значимое возрастание жирового компонента (FMI) от юношеского периода до 40-49 лет с дальнейшим выходом данного параметра на плато с превышением нормативного диапазона. Стоит отметить, что в совокупности с превышением индекса FMI нормативного значения, начиная с возраста 40-49 лет, у мужчин отмечается тенденция к снижению мышечного компонента (FFMI). При наложении графика отражающего удельный вес умерших от БСК на линию тренда изменений мышечного компонента в возрастном аспекте (рис. 3а) было отмечено, что в возрастной группе на 20 лет старше, после начала снижения FFMI фиксируется максимальный удельный вес смертности от БСК. Таким образом, увеличенный риск смертности от сердечно-сосудистых заболеваний в группе мужчин связан с совокупным превышением допустимого референса относительно жирового компонента на фоне тенденции снижения индекса мышечной массы тела. Для женской популяции (рис. 2б) было характерно закономерное значимое увеличение жирового компонента с пиком в 50-59 лет с превышением нормативного диапазона и дальнейшим выходом на плато, что наблюдалось на фоне отсутствия динамики относительно мышечного компонента состава тела. Однако, сопоставление удельного веса умерших от БСК с возрастанием жирового компонента в возрастном аспекте (рис. 3б)

также позволило установить, что спустя 20 лет после превышения данного параметра относительно фиксируется максимальная величина удельного веса умерших от БСК. При этом следует указать, что значение индекса мышечной массы ни в одной возрастнополовой группе не снижалась ниже референсного диапазона, что отражает благоприятные тенденции в формировании физического статуса жителей-северян ввиду отсутствия саркопенических проявлений.

Исходя их полученных данных, мы можем сделать предположение об определённом «эффекте выжившего» при котором в более старших возрастных группах снижение доли лиц с ожирением связано не со снижением массы тела, а с увеличением смертности в данной категории ИМТ в предыдущем возрастном периоде, что обусловливается в большей степени изменением компонентного состава тела.

В целом, анализ полученных кривых указывает на то, что к 70-79-летнему периоду онтогенеза как в группе мужчин, так и в выборке женщин отмечается превалирование доли лиц с избыточной массой тела. Данный вывод в полной мере сопоставимо с исследованиями, в которых было показано, что самый низкий риск смертности наблюдается при ИМТ, близком к избыточному весу, как у мужчин, так и у женщин [16], при этом данный «защитный» эффект избыточной массы тела в полной мере подтверждает концепцию «обратной эпидемиологии» или «парадокса ожирения» [15].

Хотя форма взаимосвязи между ИМТ и удельным весом умерших от БСК в наших исследованиях различна, все же полученные результаты продемонстрировали, что самые высокие риски смертности в популяции мужчин-северян наблюдались на фоне превышающих значений нормативных величин индекса жировой массы и тенденции снижения индекса мышечной массы тела с пиком в 60-69 летний период. В группе женщин максимальный удельный вес умерших от БСК был зафиксирован в 70-79 лет, после превышения индекса жировой массы тела относительно нормативного предела (50-59 лет) и выпал на более поздний возрастной этап чем у мужчин что, вероятно, обусловлено отсутствием тенденции к снижению мышечного компонента.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о наблюдаемой тенденции роста доли населения с избыточной массой тела и ожирением по мере увеличения возраста, при этом данная динамика в полной мере сопоставима с результатами других авторов, что свидетельствует об общемировых тенденциях данного тренда с отсутствием региональных особенностей. По-

лученные данные позволили сделать вывод, что гендерные особенности в динамике категорий ИМТ свидетельствуют о том, что в группе женщин (преимущественно более старших возрастных групп) в выборке преобладают избыточная масса тела и ожирение с постепенным повышением данных проявлений в каждой возрастной группе начиная с 30-39 – летнего возрастного периода до 60-69 лет. В популяции мужчин отмечается быстрый рост ожирения начиная с 30-39 периода и пиком его проявления в 50-59 лет. Комбинация паттернов линий трендов, в которой избыточная масса тела начинает преобладать над ожирением, где данный перекрест имеет различные возрастные диапазоны в гендерном аспекте (мужчины 60-69 лет, женщины 70-79 лет), ассоциирована с максимальным удельным весом умерших от болезней системы кровообращения.

Показано, что предиктор**ы** максимального удельного веса умерших в нашем исследовании имеют определенную гендерную особенность: так, если в женской популяции — это 20-летний период после превышения индекса жировой массы тела нормативного диапазона, то для мужчин — это совокупное превышения допустимого референса жирового компонента с одновременной тенденцией к снижению индекса мышечной массы тела.

При этом следует указать на отсутствие саркопенических проявлений в формировании физического статуса жителей-северян, о чем свидетельствуют оптимальные величины индекса мышечной массы в каждой возрастной и половой группе.

Наши результаты подтверждают концепцию о том, что в данный момент при оценке риска смертности при ожирении необходимо выходить за рамки оценки лишь ИМТ, поскольку сочетание ИМТ с показателями компонентного состава тела, на основе расчета индекса мышечной и жировой массы тела, позволяет более информативно идентифицировать риск смертности от болезней сердечно-сосудистой системы.

В целом анализ трендов позволяет сделать вывод, что после превышения нормативного диапазона индексом жировой массы, который фиксируется у мужчин в 40-49 лет, а у женщин – в 50-59 лет (при этом тенденция к снижению индекса мышечной массы выявлена только у мужчин), через 20 лет в каждой группе отмечается максимальный удельный вес умерших от БСК. Данный вывод в полной мере сопоставим со вторым перекрестом линий кривых, который заключается в снижении доли лиц с ожирением и одновременным преобладанием избыточной массы тела.

Необходимо отметить, что полученные результаты позволят пересмотреть тенденцию оценки риска смертности от болезней сердечно-сосудистой

системы, поскольку эти данные подчеркивают необходимость использования ИМТ в сочетании с показателями компонентного состава тела.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Протокол исследования был одобрен Локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (заключение № 002/021 от 26.11.2021 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. Работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках выполнения темы «Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека «северного типа» на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер АААА-А21-121010690002-2).

Список литературы

1. Иванов, Д. О., Орел, В. И., Александрович, Ю. С., и др. (2019). Заболевания сердечно-сосудистой системы как причина смертности в Российской Федерации: пути решения проблемы. *Медицина и организация здравоохранения*, *(2)*, 4–12.
2. Маматов, А. У., Орозматов, Т. Т., Мадаминов, Ж. Б., и др. (2021). Ожирение и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний: взгляд на современную проблему. *The Scientific Heritage*, *64*(2), 35–42. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-64-2-35-42
3. Маматов, А. У., Полупанов, А. Г., Какеев, Б. А., и др. (2021). Половые и возрастные факторы, ассоциированные с развитием ожирения. *The Scientific Heritage*, *68*(2), 46–56. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-68-2-46-56

4. Мурадова, Д. М., Бузилова, А. А., & Дианова, Д. Г. (2020). Современные тенденции заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний взрослого населения Российской Федерации. *Sciences of Europe*, *51*(2), 41–44.
5. Afshin, A., Forouzanfar, M. H., Reitsma, M. B., et al. (2017). Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *New England Journal of Medicine*, *377*(1), 13–27. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362
6. Antza, C., Gallo, A., Boutari, C., et al. (2023). Prevention of cardiovascular disease in young adults: Focus on gender differences. A collaborative review from the EAS Young Fellows. *Atherosclerosis*, *384*, 117272. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2023.117272
7. Blüher, M. (2019). Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, *15*(5), 288–298. https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8
8. Calling, S., Hedblad, B., Engström, G., et al. (2006). Effects of body fatness and physical activity on cardiovascular risk: risk prediction using the bioelectrical impedance method. *Scandinavian Journal of Public Health*, *34*(6), 568–575. https://doi.org/10.1080/14034940600595621
9. Consultation, WHO. (2004). Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *The Lancet*, *363*(9403), 157–163. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)15268-3
10. Costanzo, P., Cleland, J. G. F., Pellicori, P., et al. (2015). The obesity paradox in type 2 diabetes mellitus: relationship of body mass index to prognosis: a cohort study. *Annals of Internal Medicine*, *162*(9), 610–618. https://doi.org/10.7326/M14-1551
11. Garland, A., Jeon, S. H., Stepner, M., et al. (2019). Effects of cardiovascular and cerebrovascular health events on work and earnings: a population-based retrospective cohort study. *CMAJ*, *191*(1), E3–E10. https://doi.org/10.1503/cmaj.181238
12. Kyle, U. G., Pirlich, M., Lochs, H., et al. (2005). Increased length of hospital stay in underweight and overweight patients at hospital admission: a controlled population study. *Clinical Nutrition*, *24*(1), 133–142. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.08.012
13. Lee, D. H., Keum, N., Hu, F. B., et al. (2018). Predicted lean body mass, fat mass, and all-cause and cause-specific mortality in men: Prospective US cohort study. *British Medical Journal*, *362*, k2575. https://doi.org/10.1136/bmj.k2575
14. Pandey, I. J., Cornwell, W. K., Willis, B., et al. (2017). Body mass index and cardiorespiratory fitness in midlife and risk of heart failure hospitalization in

older age: findings from the Cooper Center Longitudinal Study. *JACC Heart Failure*, *5*(5), 367–374. https://doi.org/10.1016/j.jchf.2016.12.021

15. Pickkers, P., de Keizer, N., Dusseljee, J., et al. (2013). Body mass index is associated with hospital mortality in critically ill patients: an observational cohort study. *Critical Care Medicine*, *41*(8), 1878–1883. https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a2aa1
16. Pischon, T., Boeing, H., Hoffmann, K., et al. (2008). General and abdominal adiposity and risk of death in Europe. *New England Journal of Medicine*, *359*(20), 2105–2120. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0801891
17. Powell-Wiley, T. M., Poirier, P., Burke, L. E., et al. (2021). Obesity and cardiovascular disease: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, *143*(21), e984–e1010. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000973
18. Price, K. L., & Earthman, C. P. (2019). Update on body composition tools in clinical settings: Computed tomography, ultrasound, and bioimpedance applications for assessment and monitoring. *European Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 187–193. https://doi.org/10.1038/s41430-018-0360-2
19. Schutter, A. D., Lavie, C. J., Kachur, S., et al. (2014). Body composition and mortality in a large cohort with preserved ejection fraction: untangling the obesity paradox. *Mayo Clinic Proceedings*, *89*(8), 1072–1079. https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.04.025
20. Visseren, F. L. J., Mach, F., Smulders, Y. M., et al. (2021). 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *European Heart Journal*, *42*(36), 3227–3337. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484
21. Xing, Z., Tang, L., Chen, J., et al. (2019). Association of predicted lean body mass and fat mass with cardiovascular events in patients with type 2 diabetes mellitus. *CMAJ*, *191*(38), E1042–E1048. https://doi.org/10.1503/cmaj.190124
22. Yusuf, S., Reddy, S., Ôunpuu, S., et al. (2001). Global burden of cardiovascular diseases Part II: Variations in cardiovascular disease by specific ethnic groups and geographic regions and prevention strategies. *Circulation*, *104*(23), 2855–2864. https://doi.org/10.1161/hc4701.099488

References

1. Ivanov, D. O., Orel, V. I., Aleksandrivich, Y. S., et al. (2019). Cardiovascular diseases as cause of mortality in the Russian Federation: Ways to solve the problem. *Medicina i organizatsiya zdravookhraneniya*, *(2)*, 4–12.
2. Mamatov, A. U., Orozmatov, T. T., Madaminov, J. B., et al. (2021). Obesity and risk of cardiovascular diseases: View on the modern issue. *The Scientific Heritage*, *64*(2), 35–42. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-64-2-35-42

3. Mamatov, A. U., Polupanov, A. G., Kakeev, B. A., et al. (2021). Sex and age factors associated with obesity development. *The Scientific Heritage*, *68*(2), 46–56. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-68-2-46-56
4. Muradova, D. M., Buzilova, A. A., & Dianova, D. G. (2020). Current trends in morbidity and mortality from cardiovascular diseases among adult population of the Russian Federation. *Sciences of Europe*, *51*(2), 41–44.
5. Afshin, A., Forouzanfar, M. H., Reitsma, M. B., et al. (2017). Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years. *New England Journal of Medicine*, *377*(1), 13–27. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1614362
6. Antza, C., Gallo, A., Boutari, C., et al. (2023). Prevention of cardiovascular disease in young adults: Focus on gender differences. A collaborative review from the EAS Young Fellows. *Atherosclerosis*, *384*, 117272. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2023.117272
7. Blüher, M. (2019). Obesity: global epidemiology and pathogenesis. *Nature Reviews Endocrinology*, *15*(5), 288–298. https://doi.org/10.1038/s41574-019-0176-8
8. Calling, S., Hedblad, B., Engström, G., et al. (2006). Effects of body fatness and physical activity on cardiovascular risk: risk prediction using the bioelectrical impedance method. *Scandinavian Journal of Public Health*, *34*(6), 568–575. https://doi.org/10.1080/14034940600595621
9. Consultation, WHO. (2004). Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *The Lancet*, *363*(9403), 157–163. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)15268-3
10. Costanzo, P., Cleland, J. G. F., Pellicori, P., et al. (2015). The obesity paradox in type 2 diabetes mellitus: relationship of body mass index to prognosis: a cohort study. *Annals of Internal Medicine*, *162*(9), 610–618. https://doi.org/10.7326/M14-1551
11. Garland, A., Jeon, S. H., Stepner, M., et al. (2019). Effects of cardiovascular and cerebrovascular health events on work and earnings: a population-based retrospective cohort study. *CMAJ*, *191*(1), E3–E10. https://doi.org/10.1503/cmaj.181238
12. Kyle, U. G., Pirlich, M., Lochs, H., et al. (2005). Increased length of hospital stay in underweight and overweight patients at hospital admission: a controlled population study. *Clinical Nutrition*, *24*(1), 133–142. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.08.012
13. Lee, D. H., Keum, N., Hu, F. B., et al. (2018). Predicted lean body mass, fat mass, and all-cause and cause-specific mortality in men: Prospective US cohort study. *British Medical Journal*, *362*, k2575. https://doi.org/10.1136/bmj.k2575

14. Pandey, I. J., Cornwell, W. K., Willis, B., et al. (2017). Body mass index and cardiorespiratory fitness in midlife and risk of heart failure hospitalization in older age: findings from the Cooper Center Longitudinal Study. *JACC Heart Failure*, *5*(5), 367–374. https://doi.org/10.1016/j.jchf.2016.12.021
15. Pickkers, P., de Keizer, N., Dusseljee, J., et al. (2013). Body mass index is associated with hospital mortality in critically ill patients: an observational cohort study. *Critical Care Medicine*, *41*(8), 1878–1883. https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a2aa1
16. Pischon, T., Boeing, H., Hoffmann, K., et al. (2008). General and abdominal adiposity and risk of death in Europe. *New England Journal of Medicine*, *359*(20), 2105–2120. https://doi.org/10.1056/NEJMoa0801891
17. Powell-Wiley, T. M., Poirier, P., Burke, L. E., et al. (2021). Obesity and cardiovascular disease: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, *143*(21), e984–e1010. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000973
18. Price, K. L., & Earthman, C. P. (2019). Update on body composition tools in clinical settings: Computed tomography, ultrasound, and bioimpedance applications for assessment and monitoring. *European Journal of Clinical Nutrition*, *73*(2), 187–193. https://doi.org/10.1038/s41430-018-0360-2
19. Schutter, A. D., Lavie, C. J., Kachur, S., et al. (2014). Body composition and mortality in a large cohort with preserved ejection fraction: untangling the obesity paradox. *Mayo Clinic Proceedings*, *89*(8), 1072–1079. https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.04.025
20. Visseren, F. L. J., Mach, F., Smulders, Y. M., et al. (2021). 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *European Heart Journal*, *42*(36), 3227–3337. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484
21. Xing, Z., Tang, L., Chen, J., et al. (2019). Association of predicted lean body mass and fat mass with cardiovascular events in patients with type 2 diabetes mellitus. *CMAJ*, *191*(38), E1042–E1048. https://doi.org/10.1503/cmaj.190124
22. Yusuf, S., Reddy, S., Ôunpuu, S., et al. (2001). Global burden of cardiovascular diseases Part II: Variations in cardiovascular disease by specific ethnic groups and geographic regions and prevention strategies. *Circulation*, *104*(23), 2855–2864. https://doi.org/10.1161/hc4701.099488

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Алёшина Ольга Олеговна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук
пр. Карла Маркса, 24, г. Магадан, 685000, Российская Федерация
oalesina597@gmail.com

Аверьянова Инесса Владиславовна, д-р биол. наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук
пр. Карла Маркса, 24, г. Магадан, 685000, Российская Федерация
Inessa1382@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga O. Alyoshina, Junior Scientist at the Laboratory of the Physiology of Extreme Conditions
Scientific Research Center "Arktika", Fareastern Branch of the Russian Academy of Sciences
24, Karl Marx Ave., Magadan, 685000, Russian Federation
oalesina597@gmail.com
SPIN-code: 9504-6020
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5718-5398

Inessa V. Averyanova, Doctor of Biological Sciences, Head of the laboratory, Chief Researcher of the Laboratory of Physiology of Extreme Conditions
Scientific Research Center "Arktika", Fareastern Branch of the Russian Academy of Sciences
24, Karl Marx Ave., Magadan, 685000, Russian Federation
Inessa1382@mail.ru
SPIN-code: 9402-0363
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4511-6782

Поступила 16.05.2024
После рецензирования 04.07.2024
Принята 06.08.2024

Received 16.05.2024
Revised 04.07.2024
Accepted 06.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1045 **EDN: MMLOBP**
УДК 618.177:159.922

CC BY NC ND

Обзорная статья

ПРОБЛЕМА ФАКТОРОВ ПСИХИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ, РОЖДЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т.Г. Бохан, А.В. Силаева, О.В. Терехина, С.Б. Лещинская, М.В. Шабаловская

Аннотация

Обоснование. Недостаток сведений о перспективах развития детей, рожденных после лечения с использованием вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ), указывают на необходимость систематизации данных о факторах, обусловливающих особенности их развития и здоровья.

Цель. Обзор отечественных и зарубежных исследований в области выявления факторов и особенностей их системного взаимодействия, обусловливающих развитие детей, рожденных с применением ВРТ.

Материалы и методы. По ключевым словам был проведен анализ зарубежных и отечественных исследований, входящих в базы данных научных публикаций: библиотека РФФИ, РИНЦ, «КиберЛенинка», PsyJournals, Scopus, Web of Science и других (годы публикации 2010–2024), в которых были приведены результаты влияния факторов на состояние здоровья и показатели развития детей, рожденных благодаря использованию ВРТ.

Результаты. Установлен перечень факторов, доказывающий, что дети, рожденные посредством ВРТ, испытывают на себе влияние особых условий, не все из которых поддаются контролю и воздействию со стороны медицины. Потенциал здоровья ребёнка на ранних этапах онтогенеза определяется биологическими факторами, но успешность развития на дальнейших возрастных этапах определяется качеством социальной ситуации развития, которую создают родители ребёнка с помощью своего взаимодействия с ним, друг с другом, устойчивостью психического здоровья, социально-экономическими возможностями и др.

Заключение. Взаимное комплексное воздействие факторов оказывает разное влияние на показатели здоровья и особенности психического развития

ребёнка, и указывает на целесообразность внедрения комплексных профилактических программ сопровождения семей с детьми от беременности посредством ВРТ.

Ключевые слова: экстракорпоральное оплодотворение; факторы; естественное зачатие; здоровье; психическое развитие; лонгитюдное исследование; новорожденность; раннее детство; дошкольный возраст; дети; родительское отношение

Для цитирования. Бохан, Т. Г., Силаева, А. В., Терехина, О. В., Лещинская, С. Б., & Шабаловская, М. В. (2025). Проблема факторов психического развития и здоровья детей, рожденных с применением вспомогательных репродуктивных технологий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 389-414. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1045

Scientific review

THE PROBLEM OF FACTORS OF MENTAL DEVELOPMENT AND HEALTH OF CHILDREN BORN WITH THE USE OF ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES

T.G. Bokhan, A.V. Silaeva, O.V. Terekhina, S.B. Leshchinskaia, M.V. Shabalovskaya

Abstract

Background. The lack of data on long-term prognosis of the development of children born after IVF and isolated examples of interdisciplinary research indicate the need to systematize data on the factors that determine the characteristics of their development and health.

Purpose. The literature review is aimed at identifying the factors and features of their systemic interaction that determine the development of children born using IVF.

Materials and methods. Using keywords, an analysis of foreign and domestic studies included in databases of scientific publications which presented the results of the influence of factors on the health status and development indicators of children born after IVF was carried out. The studies are included in the scientific citation databases of the library of the Russian Foundation for Basic Research, Russian Science Citation Index, CyberLeninka, Scopus, Web of Science, and others (publication years 2010–2024).

Results. The list of factors proves that children born after IVF are influenced by special conditions, not all of them can be controlled and influenced by doctors and medical technologies. The health potential of a child in the early stages of ontogenesis is determined primarily by biological factors, but the success of development at further age stages is determined by the quality of the social development situation that the child's parents create through their interaction with him, reliable and friendly marital relationships, stability of psychological and mental health, economic resources, etc.

Conclusion. The results of the systemic interaction of factors that have a direct and indirect impact on the health and mental development of the children indicate the feasibility of introducing medical, psychological and pedagogical preventive programs to support families with children born after IVF.

Keywords: in vitro fertilization; natural conception; longitudinal study; factors; health; mental development; newborn; early childhood; preschool age; children; parental attitude

For citation. Bokhan, T. G., Silaeva, A. V., Terekhina, O. V., Leshchinskaia, S. B., & Shabalovskaya, M. V. (2025). The problem of factors of mental development and health of children born with the use of assisted reproductive technologies. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 389–414. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1045

Введение

По последним опубликованным данным с помощью вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) - эффективного способа лечения бесплодия, в мире появилось на свет более 9 000 000 детей [24]. Имеющиеся научные данные в отношении показателей моторного, когнитивного, социального, эмоционального развития и состояния здоровья детей, родившихся с применением ВРТ, неоднозначны и неубедительны: приводятся как факты об отсутствии значимых различий относительно детей от естественной беременности [33; 35; 55], так и свидетельствующие о выявлении повышенного риска нарушений внутриутробного развития [36; 52], тяжелых перинатальных исходов [49], отставании от нормы [31; 37; 46]. Большинство доступных для изучения исследований являются сравнительными и констатирующими наличие или отсутствие отличий между выборками детей от разного типа зачатия, в отдельных работах обсуждается проблема факторов, связанных с особенностями психического и физического развития детей.

Помимо этого исследователи отмечают такие методологические недостатки исследований, как возрастная ограниченность периодами мла-

денчества и раннего детства, пробел в данных о более поздних этапах развития детей, катамнестическое наблюдение детей группы риска, продолжающегося только от рождения до года, не учет принципов комплексности и междисциплинарности в выявлении системы факторов, обусловливающих проблемы в психофизическом развитии детей, малые выборки респондентов, сложность сопоставления результатов исследований в связи с разными подходами к формированию баз данных и т.д. [1; 21; 22; 33; 34; 44; 47; 54]. Биологические, психологические, социальные факторы развития детей чаще всего изучаются обособленно специалистами соответствующей области знаний и вне рассмотрения их системного взаимодействия. Оценка опубликованных исследований обращает внимание на отсутствие или редкие результаты изучения психологических характеристик родителей, качества внутрисемейных отношений, социально-экономический статус и т.д.; чаще всего внимание уделяется качеству материнского отношения к ребёнку и без учета влияния вклада отца [5]. Чтобы говорить о долгосрочных прогнозах, связанных с состоянием здоровья, показателями психического развития, успехах в обучении и т.д., на наш взгляд, необходимо опираться на результаты комплексных лонгитюдных исследований, которые позволяют оценить динамику развития детей и обусловливающие его факторы на разных возрастных этапах развития ребёнка. Практическая востребованность данных о долгосрочных прогнозах развития детей, рожденных с использованием ВРТ, и единичные примеры междисциплинарных исследований указывают на необходимость систематизации данных о факторах, обусловливающих особенности развития и здоровья детей.

Целью исследования являлась систематизация отечественных и зарубежных научных данных в области изучения факторов, оказывающих влияние на особенности состояния здоровья и показатели психического развития детей от зачатия с помощью ВРТ в возрастной динамике.

Материалы и методы исследования

С использованием ключевых слов был осуществлен анализ опубликованных сравнительных и лонгитюдных отечественных и зарубежных исследований, о влиянии факторов на показатели здоровья, моторного, социального, когнитивного, эмоционального развития детей, рожденных с использованием ВРТ, включая методы экстракорпорального оплодотворения (ЭКО), входящих в базы научных публикаций библиотеки РФФИ, Российского индекса научного цитирования, «КиберЛенинка», портала

психологических изданий PsyJournals, Scopus, Web of Science, и других (годы публикации 2010–2024). В анализ были включены современные публикации, описывающие факторы и их системное взаимодействие.

Результаты исследования

Анализ научных публикаций и результаты собственного лонгитюдного исследования (с 2014 по 2024 гг.) [2-5; 12; 23] позволили выделить факторы, влияющие на внутриутробное развитие, на показатели состояния здоровья и особенности психического развития с рождения и до дошкольного возраста детей, рожденных посредством лечения ВРТ. Применение ВРТ как метода терапии бесплодия, предполагает, что этапы оплодотворения и развития эмбриона осуществляются вне организма будущей матери, что может быть причиной увеличения числа условий, первоначально влияющих на ребёнка от данного типа зачатия [31]. В связи с этим по результатам исследований изучаемой темы [31; 43; 56] к факторам, влияющим на ход внутриутробного развития ребенка в этот период относятся: условия, особенности и этапы лечения бесплодия с помощью ВРТ (раствор для содержания эмбрионов [56], гормональная стимуляция оогенеза [43], донорство клеток, диагностика генетических заболеваний у эмбриона перед имплантацией, криоконсервация методом витрификации эмбрионов [31]).

После имплантации эмбриона в матку основными факторами, определяющими здоровье будущего ребёнка являются фетальные факторы: врожденные пороки развития плода, хронические инфекционные заболевания, хромосомные и генетические нарушения [31], а также состояние здоровья родительского организма [31], возраст родителей, рост и вес матери до беременности, паритет, образ жизни, концентрация фолатов до зачатия, причина и длительность бесплодия [14; 18], симптомы психических нарушений [15; 30], лекарственная терапия до и после лечения [22], многоплодная беременность, патология плаценты [22], дефицит жизненно необходимых и избыток токсичных микроэлементов [14; 53]. Всё это влечет за собой нарушения постнатального развития, негативно сказывающиеся на соматическом и психическом развитии ребенка [31].

В ряде публикаций отдельно рассматривается дополнительный фактор, оказывающий влияние на динамику развития детей, рожденных с применением ВРТ, - нарушение геномного импринтинга [19; 40], вызванное особенностями лечения (гиперстимуляция яичников, состав питательной среды для получения и выращивания эмбрионов и т.д.) [19]. Импринтинг участвует в регуляции эмбрионального роста, плацентарной функ-

ции и нейроповеденческих функций [9]. Установлено, что в группе детей, рожденных с использованием ВРТ, в 4 раза чаще по сравнению с контрольной группой, отмечаются заболевания, вызванные нарушениями геномного импринтинга [40]: синдром Беквита-Видемана (превышение норм роста плода при гестации и несогласованном развитии различных отделов организма), синдром Ангельмана (характеризуется интеллектуальной недостаточностью, нарушениями моторного развития и поведения, задержкой речи [8]. По результатам наблюдений [19] нарушения импринтинга ряда генов связаны с задержкой внутриутробного развития, повышением риска обменных, интеллектуальных и прочих нарушений у ребенка. Также в литературе уделяется внимание риску хромосомной патологии плода: в качестве предиктора генетических нарушений эмбриона при ВРТ рассматривают низкое качество половых клеток родителей [9], причиной которого может быть анеуплоидия – ведущий фактор врожденных нарушений [9]. В ряде публикаций отмечается повышение риска эмбриональных опухолей у детей, рожденных от индуцированной беременности, что может быть обусловлено снижением активности гена, принимающего участие в регуляции процессов борьбы с раковыми клетками [8] и нефертильностью родителей. Таким образом, системообразующим фактором в данном периоде выступает биологический фактор.

Согласно данным научных исследований среди факторов, определяющих показатели психического благополучия и здоровья детей в период новорожденности и младенчества, выделяются следующие. По мнению Г.Г. Филипповой, дети, от беременности посредством ВРТ, находясь в утробе, испытывают пренатальный стресс [17], и нуждаются в экстренных медицинских мероприятиях после рождения [10], что может оказывать влияние на их приспособительные способности в постнатальном периоде [13]. Показатели здоровья ребёнка в постнатальный период определяются наличием ряда факторов, которые по результатам исследований можно разделить на две группы: влияющие на соматическое здоровье и обусловливающие психического развитие.

Постнатальные исходы со стороны физического здоровья детей определяются следующими факторами: внутриутробная гипотрофия, многоплодная беременность, рождение при сроке менее 37 недель, малый вес, аллергические заболевания, раннее начало грудного вскармливания, воздействие антибактериальной терапии, отсутствие вакцинации, психическое и психологическое здоровье матери и отца [7]. Также выявлено, что многоплодная беременность, наступившая с помощью ВРТ, может рас-

сматриваться как фактор риска неблагоприятных исходов беременности и перинатальных нарушений здоровья ребёнка, и обусловливать негативный прогноз постнатального развития [6].

В исследовании Rice F. и соавт., направленного на изучение средовых и наследственных влияний на потомство от беременности с помощью ВРТ, была установлена связь, указывающая, что наличие стресса в период беременности у матери негативно влияет на вес новорожденного и его гестационный возраст [45]. В проспективном когортном исследовании [39] указывается на наличие связи между расстройствами аффективного спектра матери в начале беременности и малым весом новорожденного [39], что также подтверждают результаты отечественных исследований [38]. В исследовании Михеевой и соавт., были выявлены эндогенные (раннее начало искусственного вскармливания, аллергии, внутриутробная гипотрофия) и экзогенные (отсутствие вакцинации против гемофильной инфекции и гриппа, воздействие антибактериальной терапии на иммунную систему ребенка,) факторы, которые влияют на часто болеющих детей от индуцированной беременности в раннем возрасте [7].

Анализ исследований факторов психического развития ребёнка в период младенчества показал: количество попыток предшествующих наступлению беременности после применения ВРТ, срок гестации и вес ребёнка при рождении, характеристики психологического и психического здоровья родителей, их отношение к ребёнку, могут оказывать прямое и опосредующее влияние на показатели его развития [5; 33]. Установлено, что рождение раньше срока и вес менее 2500 г - факторы риска нарушений ЦНС у ребенка от беременности посредством ВРТ [33; 34]. Что подтверждается результатами Соловьевой Е.В., в исследовании которой обнаружена взаимосвязь между количеством попыток экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) и показателями когнитивного развития детей от индуцированной беременности [13]. У детей, зачатых после первых трех попыток ЭКО на первом году жизни отмечалось отставание в развитии интеллектуальной деятельности, при этом с каждым годом различия сокращались по сравнению с детьми от естественного зачатия. Дети, родившиеся от беременности после четырех и более попыток ЭКО, в течение первых трех лет жизни существенно реже демонстрировали нормальный уровень развития восприятия, наглядно-действенного и наглядно-образного мышления, навыков сравнения, действий по образцу, предметных действий, чем дети от естественного зачатия или в результате первых трех попыток ЭКО. Автор связывает отставание от нормы с совокупностью ряда условий: зачатием

посредством ВРТ, многоплодием, рождением раньше срока 37 недель, а также ранним отлучением от груди.

В исследовании McMahon C.A и соавт. [42] обнаружено, что риск проявления паттернов трудного детского темперамента в младенческом возрасте, характеризующийся медленной адаптивностью, высокой интенсивностью реакций, аритмичностью поведения, негативным настроением и т.д., обусловлен выраженностью личностной тревожности матери в период беременности. Также обнаружено, что в младенчестве у детей от беременности посредством лечения ВРТ негативным предиктором трудного детского темперамента является недостаток или снижение родительских стратегий, проявляющихся в дефиците чуткости и отзывчивости по отношению к ребёнку [4].

Указанные факторы являются не только обусловливающими постнатальное развитие, но и могут усиливать негативное влияние на состояние здоровья и дальнейшее развитие ребёнка на следующих этапах онтогенеза. Так, например, многоплодная беременность может обусловливать малый вес при рождении, который в свою очередь может быть причиной риска возникновения церебрального паралича, нарушения зрения, задержки умственного развития [25]. Поэтому для более комплексного выявления факторов развития необходимым является учет их совокупного и системного влияния. Подтверждением этому являются результаты современных исследований [3-5; 12; 23], включающих системный подход к изучению биопсихосоциальных факторов развития детей от беременности после лечения с помощью ВРТ. Так, в проспективном лонгитюдном исследовании детского развития [4] установлено, что удовлетворительное состояние репродуктивного и физического здоровья матери в период беременности, психологическая готовность к материнству, проявляющаяся в поведенческом компоненте пренатальной привязанности [11] являются предикторами благополучного исхода родов. Неудовлетворительная самооценка состояния здоровья, нарушения репродуктивного здоровья, несформированность эмоционального и когнитивного компонентов пренатальной привязанности выступают негативными факторами малого веса и длины тела новорожденного [4; 28]. Влияние психологической составляющей пренатальной привязанности, как фактора развития детей от беременности после лечения с помощью ВРТ подтверждается рядом других исследований [29; 41]. Совместные игры с ребёнком, проявление заботы по отношению к нему и низкий уровень проявляемой гиперопеки, позволяют создать для ребёнка условия для проявления собственной активно-

сти, указанные факты являются позитивными предикторами нормативного моторного развития ребёнка. Данные факторы в системном взаимодействии могут выступать в различных функциях, влияющих на показатели развития детей в младенчестве [3; 4]. Например, нарушение репродуктивного здоровья женщины является опосредующим фактором влияния её раздражительности, на неонатальные показатели новорожденного (срок гестации, вес, длина тела) [4]; высокий уровень проявляемой враждебности матери по отношению к отцу ребёнка усиливает связь между низким уровнем демонстрируемой материнской заботы и проявляемой любви во время общения с ребёнком и высоким уровнем проявления паттернов трудного детского темперамента у него [12]. Т.е. наличие конфликта между супругами в такой семье усугубляет влияние низкого уровня материнского тепла и удовольствия от взаимодействия с ребёнком на проявления в его поведении черт трудного детского темперамента.

Показатели психического развития ребёнка от беременности после лечения ВРТ определяются также рядом взаимосвязей между отношениями супругов, родительскими стратегиями [5]: в возрасте ребёнка до года его социо-моторное развитие определялось благополучными отношением матери и менее выраженным стрессом отца за год до рождения ребенка; предиктором благоприятного развития потомства являлся низкий уровень стресса отца, при этом длительность бесплодия усиливала эту связь, т.е. вероятно отцы, дождавшиеся желаемого результата, характеризовались психической устойчивостью и адаптивностью, позволившей им справиться с переживаниями, связанными с длительностью лечения, быстрее адаптироваться к новой социальной роли и реализовать свои родительские функции.

Исследования показателей соматического и психического здоровья и развития детей, зачатых с применением ВРТ, в период раннего и дошкольного возраста, и обусловливающих факторов немногочисленные. При этом доказано, что важными факторами-предикторами благополучного развития в раннем детстве, являются качество и своевременность оказанной помощи при рождении, степень компенсации нарушений, группа здоровья и доступность медицинской помощи [12; 31; 32]. Так, например, по данным M. Hansen, недоношенные дети от беременности посредством ВРТ, имеют более выраженный риск умственной отсталости, чем доношенные дети той же группы [32]. С неонатальными проблемами связывают трудности речевого развития ребенка [27]. Мужской фактор бесплодия в обзорном исследовании [48] связывают с риском интеллектуальной недостаточности

и расстройств аутистического спектра у детей. Также этот фактор инфертильности может обусловливать риск ожирения у девочек, и нарушение сперматогенеза у мальчиков [48]. В исследовании когнитивного развития и особенностей поведения детей, от беременности посредством ВРТ [50] обнаружено, что тяжесть субфертильности связана с когнитивными способностями ребёнка в возрасте 4-6 лет, при этом данная связь опосредуется возрастом матери и уровнем её образования.

Установлено, что при благополучном исходе родов фактором высоких когнитивных способностей ребёнка от беременности с применением ВРТ по сравнению с детьми от естественного зачатия является возраст родителей, наличие высшего образования у матери и отца, высокий социально-экономический статус семьи и уровень культуры родителей, что позволяет родителям обеспечить оптимальные условия развития для своих детей [20; 26].

В лонгитюдном исследовании детского развития изучалась связь характеристик семейной среды (показатели физического, психического, психологического здоровья родителей, образа жизни, системы супружеских отношений и родительских стратегий воспитания) с различными показателями общего благополучия [3; 5; 12]. Установлено, что в первый год жизни ребёнка влияние показателей психического и психологического здоровья родителей на развитие ребёнка не уступает факторам физического здоровья. Была обнаружена связь детского развития с характером супружеских и родительских стратегий воспитания, отношением к эмоциям ребёнка. В период от года до трёх лет предиктором проявления паттернов трудного детского темперамента (раздражительность, нестабильность настроения, отсутствие самостоятельности в играх), эмоциональных нарушений, трудностей развития речи оказалась низкая способность матери проявлять респонсивность и сензитивность к ребенку, наличие у матери симптомов депрессии и тревожных расстройств [3]. У детей матерей с указанными симптомами, чаще отмечались проявления сложностей в поведении, более низкий уровень развития моторных и социальных навыков [12]. Негативное эмоциональное состояние матери связано как с усилением проявлений интернализирующего (сниженное настроение, недостаток спонтанности в игровой деятельности, тревога), так и экстернализирующего (неповиновение, импульсивность, агрессия) поведения. С отличием в том, что экстернализация поведения будет более усиливаться при сочетании негативных эмоциональных состояний матери с завышенными требованиями отца к ребенку [5].

В период младшего дошкольного возраста детей от беременности с помощью ВРТ в исследованиях [2; 3] выявлено, что в качестве предикторов

ухудшения состояния здоровья детей выступают негативные психические состояния родителей (высокая тревожность матери и переживания стресса у отца) и отсутствие в воспитании эмоциональной позитивной поддержки ребенка. Такие поведенческие нарушения, как проявления непослушания, лживость, негативное отношение к сверстникам и взрослым, участие и инициация драки чаще встречаются в семьях с выраженным стрессом и усталостью матери, дефицитом проявляемой любви к ребенку, отсутствием поддержки к ребенку, в то время, как непоследовательность и попустительское отношение в воспитании у матерей связаны с нарушениями эмоционального развития. В свою очередь со стороны отца негативными предикторами, связанными с возникновением трудностей в социальном развитии ребенка, выступают непоследовательный тип воспитания и высокий уровень переживания стрессовых симптомов. Однако, выделены и позитивные предикторы: речевому развитию ребенка способствуют благополучные супружеские отношения родителей в семье и доминирование чувствительности и отзывчивости на потребности ребенка в материнском воспитании; когнитивному развитию (речевое развитие, навыки счета, чтения и письма) способствуют спокойствие, отсутствие стресса, эмоциональная стабильность и организованность матери, а также ответственность отца за семью и её благополучие.

Заслуживают внимание данные о связи такого биологического фактора, как микроэлементный состав организма, и показателей состояния здоровья и развития детей. Изучение микронутриентов у детей от индуцированной беременности Skalny и др. выявило значительно меньшее содержание Cr (хром), Fe (железо), Mg (магний), которые относятся к жизненно необходимым элементам, Sr (стронций) и Al (алюминий), относящиеся к токсичным, по сравнению с контрольными параметрами, а уровни Hg (ртуть) (токсичный) и Mo (молибден) (жизненно необходимый) были выше [51]. По данным другого исследования [16] установлено, что у детей, описываемой категории, относительно детей, родившихся от спонтанной беременности, ниже уровень содержания важных для развития микроэлементов: Ca (кальций), Mg (магний), Fe (железо), Co (кобальт), Cr (хром) и выше содержание Hg (ртуть) (токсичный элемент). Также определены связи микроэлементного статуса ребенка с характеристиками психического развития: повышенное содержание лития и ртути связано с ограничениями в способности ребенка к копированию движений, кадмия и олова – снижением двигательной активности; благополучное сенсомоторное развитие связано с содержанием меди, а пространственное мышление - с содержа-

нием селена. Учитывая эти результаты, мы можем говорить о необходимости включения в систему комплексной медико-психолого-педагогической профилактической помощи детям, рожденным с помощью ВРТ, прегравидарного мониторинга и коррекции уровней токсических и эссенциальных элементов у женщин с целью улучшения течения беременности и развития ребенка.

Заключение

Приведенный в обзоре перечень факторов доказывает, что дети, рожденные посредством ВРТ испытывают на себе влияние особых условий, не все из которых поддаются контролю и воздействию со стороны врачей и медицинских технологий. Также результаты исследований указывают на важность дальнейшего изучения вопросов влияния биопсихосоциальных факторов, от которых зависит здоровье и благополучие детей. Эти факторы неразрывно связаны между собой, но в каждый момент развития ребёнка они имеют разную величину и степень влияния:

Несомненно потенциал здоровья ребёнка на ранних этапах онтогенеза определяется прежде всего биологическими факторами, но успешность развития в дальнейших возрастных периодах определяется качеством социальной ситуации развития, которую создают родители ребёнка с помощью своего взаимодействия с ним, надёжных и доброжелательных супружеских отношений, устойчивости психического и психологического здоровья, благосостояния и т.д. Приведенные результаты взаимодействия факторов в системе, имеющее разное функциональное влияние на состояние здоровья и показатели психического развития ребёнка, обращают внимание на целесообразность внедрения медико-психолого-педагогических профилактических программ сопровождения семей с детьми от беременности посредством ВРТ. Данные программы могут быть реализованы совместно со специалистами, реализующими ВРТ и катамнестическое наблюдение, а также самостоятельно психологами, клиническими психологами, педагогами, что позволит предупредить вероятные сложности в развитии ребёнка и улучшить качество детско-родительских и супружеских отношений.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

Список литературы

1. Беляева, И. А., Намазова-Баранова, Л. С., Баранов, А. А., Эфендиева, К. Е., Каркашадзе, Г. А., Дедюкина, Е. С., Серебрякова, Е. Н., Константиниди, Т. А., Гогберашвили, Т. Ю., & Молодченков, А. И. (2022). Отдалённое развитие и здоровье детей, зачатых с помощью вспомогательных репродуктивных технологий. *Вопросы современной педиатрии*, *21*(2), 72–82. https://doi.org/10.15690/pf.v19i2.2404
2. Бохан, Т. Г. (2023). Исследование индивидуальных различий в когнитивных, мотивационных и психоэмоциональных процессах в обучении и развитии в дошкольном и школьном возрасте (Этап 1). Научный отчёт. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет. № ГР 223030200070-5.
3. Бохан, Т. Г., Силаева, А. В., Шабаловская, М. В., Лещинская, С. Б., & Терехина, О. В. (2023). Психические состояния родителей и субъективная оценка внутрисемейных отношений как факторы психического развития и здоровья детей 4 лет, рождённых с помощью ЭКО. *Психотерапия, психиатрия и клиническая психология*, *14*(3), 215–227. https://doi.org/10.34883/PI.2023.14.3.002
4. Бохан, Т. Г., Силаева, А. В., Терехина, О. В., Шабаловская, М. В., Лещинская, С. Б., & Гайфулина, Ж. Ф. (2022). Влияние здоровья матери на психическое развитие и здоровье детей, рождённых с помощью экстракорпорального оплодотворения, в лонгитюде. *Психотерапия, психиатрия и клиническая психология*, *13*(4), 407–420. https://doi.org/10.34883/PI.2022.13.4.010
5. Лещинская, С. Б. (2022). Супружеские и родительские отношения в семьях, зачавших ребёнка посредством ЭКО, и их вклад в психическое развитие ребёнка. Диссертация кандидата психологических наук. Томск. 194 с.
6. Малышкина, А. И., Матвеева, Е. А., Филькина, О. М., & Ермакова, И. С. (2019). Состояние здоровья детей первого года жизни, родившихся после экстракорпорального оплодотворения. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*, *64*(1), 39–45. https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-1-39-45
7. Михеева, Е. М., Пенкина, Н. И., & Юдицкий, А. Д. (2023). Факторы риска формирования высокой заболеваемости вирусными инфекциями у детей, родившихся с применением вспомогательных репродуктивных технологий. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*, *68*(6), 31–35. https://doi.org/10.21508/1027-4065-2023-68-6-31-35
8. Мурзаханова, А. Ф., Ослопов, В. Н., & Хазова, Е. В. (2020). Состояние здоровья детей, рождённых после экстракорпорального оплодотворения: вероятные риски и возможные осложнения. *Практическая медицина*, *18*(3), 43–50. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2020-3-43-50

9. Пицхелаури, Е. Г., Стрижаков, А. Н., Тимохина, Е. В., Белоусова, В. С., Богомазова, И. М., & Гарина, А. О. (2018). Здоровье детей после вспомогательных репродуктивных технологий: вероятные риски и возможные осложнения. *Акушерство, гинекология и репродукция*, *12*(3), 56–63. https://doi.org/10.17749/2313-7347.2018.12.3.056-063
10. Савельева, Г. М., Курцер, М. А., & Карачунская, Е. М. (2010). Здоровье детей, рождённых после ЭКО. *Акушерство и гинекология*, *(5)*, 49–54.
11. Савенышева, С. С. (2017). Пренатальная привязанность: понятие, структура, детерминанты. *Мир науки, культуры и образования*, *(62)*, 243–248.
12. Силаева, А. В. (2021). Здоровье матери как фактор психического развития и здоровья детей, рождённых посредством экстракорпорального оплодотворения. Диссертация кандидата психологических наук. Томск. 205 с.
13. Соловьева, Е. В. (2015). Психическое развитие детей раннего возраста, зачатых посредством экстракорпорального оплодотворения, и их взаимодействие с матерями. Диссертация кандидата психологических наук. Москва. 217 с.
14. Степанова, Е. М. (2023). Тиреоидный статус женщин репродуктивного возраста, проживающих в условиях зобной эндемии. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(5), 97–116. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-928
15. Темирханова, К. Т., Дерягина, Л. Е., Пятибрат, Е. Д., & Пятибрат, А. О. (2022). Особенности психофизиологического статуса подростков, матери которых в догравидарном периоде проживали на территориях военных действий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(5), 208–225. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-208-225
16. Терехина, О. В., Шабаловская, М. В., Маркова, А. Д., & Ярыгина, А. М. (2023). Взаимосвязь баланса микроэлементов с психическим развитием детей, зачатых с помощью ЭКО. В сборнике: *Научные исследования в современном мире: опыт, проблемы и перспективы развития* (с. 197–202). Уфа: Вестник науки.
17. Филиппова, Г. Г. (2015). Пренатальный стресс: усиление риска при современных технологиях ведения беременности и лечения бесплодия. В сборнике: *VI-я Международная научная конференция «Психологические проблемы современной семьи»* (с. 418–426). Москва-Звенигород.
18. Черненков, Ю. В. (2014). Оценка показателей здоровья детей, рождённых с помощью применения репродуктивных технологий. *Саратовский научно-медицинский журнал*, *10*(4), 683–688.
19. Argyraki, M., Damdimopoulou, P., Chatzimeletiou, K., et al. (2019). In-utero stress and mode of conception: impact on regulation of imprinted genes, fetal

development and future health. *Human Reproduction Update*, *25*(6), 777–801. https://doi.org/10.1093/humupd/dmz025
20. Barbuscia, A., & Mills, M. C. (2017). Cognitive development in children up to age 11 years born after ART: a longitudinal cohort study. *Human Reproduction*, *32*(7), 1482–1488. https://doi.org/10.1093/humrep/dex102
21. Bergh, C., & Wennerholm, U.-B. (2020). Long-term health of children conceived after assisted reproductive technology. *Upsala Journal of Medical Sciences*, *125*(2), 152–157. https://doi.org/10.1080/03009734.2020.1729904
22. Berntsen, S., Söderström-Anttila, V., Wennerholm, U.-B., Laivuori, H., Loft, A., Oldereid, N. B., et al. (2019). The health of children conceived by ART: 'The chicken or the egg?' *Human Reproduction Update*, *25*(2), 137–158. https://doi.org/10.1093/humupd/dmz001
23. Bokhan, T. G., Terekhina, O. V., Shabalovskaya, M. V., Silaeva, A. V., Leshchinskaia, S. B., Gayfulina, Zh. F., Aparina, K. V., Malykh, S. B., & Kovas, Yu. V. (2023). A study of correlations between newborn children outcomes and emotional states and attachment to a fetus in women pregnant using in-vitro fertilization. *Journal of the Higher School of Economics*, *20*(3), 563–587. https://doi.org/10.17323/1813-8918-2023-3-563-587
24. Chmel, R. Jr. (2020). Assisted reproductive methods – current status and perspectives. *Ceska Gynekol*, *85*(4), 244–253.
25. Cortese, M., Moster, D., & Wilcox, A. (2021). Term birth weight and neurodevelopmental outcomes. *Epidemiology*, *32*(4), 583–590. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001350
26. Cozzani, M., Aradhya, S., & Goisis, A. (2021). The cognitive development from childhood to adolescence of low birthweight children born after medically assisted reproduction: a UK longitudinal cohort study. *International Journal of Epidemiology*, *50*(5), 1514–1523. https://doi.org/10.1093/ije/dyab009
27. Dehghan, M., Kuhi, M., & Rezvani, S. (2020). Speech and language development of children born following assisted reproductive technologies. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *134*, 110060. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110060
28. Dokuhaki, S., & Dokuhaki, F. (2021). The relationship of maternal anxiety, positive and negative affect schedule, and fatigue with neonatal psychological health upon childbirth. *Contraception and Reproductive Medicine*, *6*, 1–10. https://doi.org/10.1186/s40834-021-00155-8
29. Dokuhaki, S., Heidary, M., & Akbarzadeh, M. (2019). The investigation of the effect of training attachment behaviors to pregnant mothers on some physical indicators of their infants from birth to three months based on the separation of

male and female infant. *Pediatrics & Neonatology*, *60*(3), 324–331. https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2018.08.002

30. Eastwood, J., Ogbo, F. A., & Hendry, A. (2017). The impact of antenatal depression on perinatal outcomes in Australian women. *PLoS ONE*, *12*(1), e0169907. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169907
31. Fauser, B. C., Devroey, P., Diedrich, K., Balaban, B., Bonduelle, M., et al. (2014). Health outcomes of children born after IVF/ICSI: a review of current expert opinion and literature. *Reproductive Biomedicine Online*, *28*(2), 162–182. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2013.10.013
32. Hansen, M., Greenop, K. R., Bourke, J., et al. (2018). Intellectual disability in children conceived using assisted reproductive technology. *Pediatrics*, *142*(6), e20181269. https://doi.org/10.1542/peds.2018-1269
33. Hart, R., & Norman, R. J. (2013). The longer-term health outcomes for children born as a result of IVF treatment: Part I – General health outcomes. *Human Reproduction Update*, *19*(3), 232–243. https://doi.org/10.1093/humupd/dms062
34. Hart, R., & Norman, R. J. (2013). The longer-term health outcomes for children born as a result of IVF treatment: Part II – Mental health and development outcomes. *Human Reproduction Update*, *19*(3), 244–250. https://doi.org/10.1093/humupd/dmt002
35. Heijligers, M., Verheijden, L. M. M., Jonkman, L. M., Van der Sangen, M., Meijer-Hoogeveen, M., Arens, Y., Van der Hoeven, M. A., & De Die-Smulders, C. E. M. (2018). The cognitive and socio-emotional development of 5-year-old children born after PGD. *Human Reproduction*, *33*(11), 2150–2157. https://doi.org/10.1093/humrep/dey302
36. Huang, X., & Fu, J. (2021). Association between assisted reproductive technology and white matter injury in premature infants: a case-control study. *Frontiers in Pediatrics*, *9*, 686670. https://doi.org/10.3389/fped.2021.686670
37. Hvidtjørn, D., Grove, J., Schendel, D., Schieve, L. A., Sværke, C., Ernst, E., & Thorsen, P. (2011). Risk of autism spectrum disorders in children born after assisted conception: a population-based follow-up study. *Journal of Epidemiology and Community Health*, *65*(6), 497–502. https://doi.org/10.1136/jech.2009.093823
38. Kocherova, O. Ju., Pykhtina, L. A., Gadzhimuradova, H. D., Filkina, O. M., & Malyshkina, A. I. (2016). Psychological characteristics of mothers of children conceived with the use of in vitro fertilization. *Clinical Psychology and Special Education*, *(5)*, 69–77. https://doi.org/10.17759/psyclin.2016050305
39. Lang, J., Zhang, B., Meng, Y., et al. (2019). First-trimester depression and/or anxiety disorders increase the risk of low birthweight in IVF offspring: a prospective cohort study. *Reproductive BioMedicine Online*, *39*(6), 947–954. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2019.09.002

40. Lazaraviciute, G., Kauser, M., Bhattacharya, S., et al. (2014). A systematic review and meta-analysis of DNA methylation levels and imprinting disorders in children conceived by IVF/ICSI compared with children conceived spontaneously. *Human Reproduction Update*, *20*(6), 840–852. https://doi.org/10.1093/humupd/dmu033
41. Maddahi, M. S., Dolatian, M., Khoramabadi, M., & Talebi, A. (2016). Correlation of maternal-fetal attachment and health practices during pregnancy with neonatal outcomes. *Electronic Physician*, *8*(7), 2639–2644. https://doi.org/10.19082/2639
42. McMahon, C. A., Boivin, J., Gibson, F. L., et al. (2013). Pregnancy-specific anxiety, ART conception and infant temperament at 4 months post-partum. *Human Reproduction*, *28*(4), 997–1005. https://doi.org/10.1093/humrep/det029
43. Pontesilli, M., Painter, R. C., Grooten, I. J., et al. (2015). Subfertility and assisted reproduction techniques are associated with poorer cardio-metabolic profiles in childhood. *Reproductive Biomedicine Online*, *30*(3), 258–267. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2014.11.006
44. Remes, H., Palma Carvajal, M., Peltonen, R., Martikainen, P., & Goisis, A. (2022). The well-being of adolescents conceived through medically assisted reproduction: a population-level and within-family analysis. *European Journal of Population*, *38*(5), 915–949. https://doi.org/10.1007/s10680-022-09623-6
45. Rice, F., Harold, G. T., Boivin, J., et al. (2010). The links between prenatal stress and offspring development and psychopathology: disentangling environmental and inherited influences. *Psychological Medicine*, *40*(2), 335–345. https://doi.org/10.1017/S0033291709005911
46. Roychoudhury, S., Lodha, A., Synnes, A., et al. (2021). Neurodevelopmental outcomes of preterm infants conceived by assisted reproductive technology. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *225*(3), 276.e1–276.e9. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2021.03.027
47. Rumbold, A. R., Moore, V. M., Whitrow, M. J., Oswald, T. K., Moran, L. J., Fernandez, R. C., et al. (2017). The impact of specific fertility treatments on cognitive development in childhood and adolescence: a systematic review. *Human Reproduction*, *32*(7), 1489–1507. https://doi.org/10.1093/humrep/dex085
48. Rumbold, A. R., Sevoyan, A., Oswald, T. K., et al. (2019). Impact of male factor infertility on offspring health and development. *Fertility and Sterility*, *111*(6), 1047–1053. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.05.006
49. Sadowska, M., Sarecka-Hujar, B., & Kopyta, I. (2020). Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *16*, 1505–1518. https://doi.org/10.2147/NDT.S235165

50. Schendelaar, P., La Bastide-Van Gemert, S., Heineman, M. J., et al. (2016). Subfertility factors rather than assisted conception factors affect cognitive and behavioral development of 4-year-old singletons. *Reproductive Biomedicine Online*, *33*, 752–762. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2016.08.021
51. Skalny, A. V. (2018). Toxicological and nutritional status of trace elements in hair of women with in vitro fertilization (IVF) pregnancy and their 9-month-old children. *Reproductive Toxicology*, *82*, 50–56. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2018.10.004
52. Strömberg, B., Dahlquist, G., Ericson, A., et al. (2002). Neurological sequelae in children born after in-vitro fertilization: a population-based study. *Lancet*, *359*(9305), 461–465. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07674-2
53. Watanabe, C. (2017). Impact of essential trace elements on child growth and development. *Japanese Journal of Health and Human Ecology*, *83*(6), 184–190. https://doi.org/10.3861/kenko.83.6_184
54. Wilson, C. L., Fisher, J. R., Hammarberg, K., Amor, D. J., & Halliday, J. L. (2011). Looking downstream: a review of the literature on physical and psychosocial health outcomes in adolescents and young adults who were conceived by ART. *Human Reproduction*, *26*(5), 1209–1219. https://doi.org/10.1093/humrep/der041
55. Xing, L. F., Qu, F., Qian, Y. L., Zhang, F. H., Zhu, Y. M., & Xu, X. F. (2011). The social adaptation of children born after ICSI compared with IVF-conceived children: a study from China. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, *31*(8), 751–753. https://doi.org/10.3109/01443615.2011.606937
56. Xu, G. F., Zhou, C. L., Xiong, Y. M., et al. (2017). Reduced intellectual ability in offspring of ovarian hyperstimulation syndrome: a cohort study. *EBioMedicine*, *20*, 263–267. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.05.020

References

1. Belyayeva, I. A., Namazova-Baranova, L. S., Baranov, A. A., Efendieyva, K. E., Karkashadze, G. A., Dedyukhina, E. S., Serebryakova, E. N., Konstantinidi, T. A., Gogoberashvili, T. Yu., & Molodchenkov, A. I. (2022). Long-term development and health of children conceived using assisted reproductive technologies. *Questions of Modern Pediatrics*, *21*(2), 72–82. https://doi.org/10.15690/pf.v19i2.2404
2. Bokhan, T. G. (2023). Individual differences in cognitive, motivational, and psycho-emotional processes in learning and development in preschool and school-age children (Stage 1). Research report. Tomsk: National Research Tomsk State University. № GR 223030200070-5.
3. Bokhan, T. G., Silaeva, A. V., Shabalovskaia, M. V., Leschinskaia, S. B., & Terekhina, O. V. (2023). Parents' psychological states and subjective evalua-

tions of family relationships as predictors of mental development and health in four-year-old children born via IVF. *Psychotherapy, Psychiatry and Clinical Psychology*, *14*(3), 215–227. https://doi.org/10.34883/PI.2023.14.3.002

4. Bokhan, T. G., Silaeva, A. V., Terekhina, O. V., Shabalovskaia, M. V., Leschinskaia, S. B., & Gaifulina, Zh. F. (2022). Mother's health as a factor influencing mental development and health of children born via in vitro fertilization: Longitudinal study. *Psychotherapy, Psychiatry and Clinical Psychology*, *13*(4), 407–420. https://doi.org/10.34883/PI.2022.13.4.010
5. Leschinskaia, S. B. (2022). Marriage and parenting relations in families conceiving a child through IVF and their contribution to child's mental development. Candidate of Psychological Sciences thesis. Tomsk. 194 p.
6. Malyskina, A. I., Matveyeva, E. A., Filkina, O. M., & Ermakova, I. S. (2019). Health status of infants in the first year of life born after in vitro fertilization. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*, *64*(1), 39–45. https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-1-39-45
7. Mikheyeva, E. M., Penkina, N. I., & Yuditsky, A. D. (2023). Risk factors for high viral infection rates in children born using assisted reproductive technologies. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*, *68*(6), 31–35. https://doi.org/10.21508/1027-4065-2023-68-6-31-35
8. Murzakhanova, A. F., Oslopov, V. N., & Khazova, E. V. (2020). Health status of children born after in vitro fertilization: Probable risks and complications. *Practical Medicine*, *18*(3), 43–50. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2020-3-43-50
9. Pitsekhelava, E. G., Strizhakov, A. N., Timokhina, E. V., Belousova, V. S., Bogomasova, I. M., & Garina, A. O. (2018). Health of children after assisted reproductive technologies: probable risks and possible complications. *Obstetrics, Gynecology and Reproduction*, *12*(3), 56–63. https://doi.org/10.17749/2313-7347.2018.12.3.056-063
10. Saveleva, G. M., Kurcer, M. A., & Karachunskaia, E. M. (2010). Health of children born after IVF. *Obstetrics and Gynecology*, *(5)*, 49–54.
11. Savevshcheva, S. S. (2017). Prenatal attachment: Concept, structure, determinants. *World of Science, Culture and Education*, *(62)*, 243–248.
12. Silaeva, A. V. (2021). Mother's health as a factor in mental development and health of children born via in vitro fertilization. Candidate of Psychological Sciences thesis. Tomsk. 205 p.
13. Solovyeva, E. V. (2015). Mental development of early childhood conceived via IVF and their interaction with mothers. Candidate of Psychological Sciences thesis. Moscow. 217 p.

14. Stepanova, E. M. (2023). Thyroid status of reproductive-age women living in endemic goiter areas. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(5), 97–116. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-5-928
15. Temirkhanova, K. T., Deriagina, L. E., Pyatibratskaya, E. D., & Pyatibratsky, A. O. (2022). Psychophysiological profile of adolescents whose mothers lived in military conflict zones before pregnancy. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(5), 208–225. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-208-225
16. Terekhina, O. V., Shabalovskaia, M. V., Markov, A. D., & Yarigina, A. M. (2023). Relationship between trace element balance and mental development in children born via IVF. In *Scientific Research in the Modern World: Experiences, Problems, and Development Perspectives* (pp. 197–202). Ufa: Bulletin of Science.
17. Filippova, G. G. (2015). Prenatal stress: Enhanced risk in current pregnancy management and infertility treatment technologies. In *VI-th International Scientific Conference "Psychological Problems of Modern Family"* (pp. 418–426). Moscow-Zvenigorod.
18. Chernenkova, Yu. V. (2014). Assessment of health indicators in children born using reproductive technologies. *Saratov Scientific Medical Journal*, *10*(4), 683–688.
19. Argyraki, M., Damdimopoulou, P., Chatzimeletiou, K., et al. (2019). In-utero stress and mode of conception: impact on regulation of imprinted genes, fetal development and future health. *Human Reproduction Update*, *25*(6), 777–801. https://doi.org/10.1093/humupd/dmz025
20. Barbuscia, A., & Mills, M. C. (2017). Cognitive development in children up to age 11 years born after ART: a longitudinal cohort study. *Human Reproduction*, *32*(7), 1482–1488. https://doi.org/10.1093/humrep/dex102
21. Bergh, C., & Wennerholm, U.-B. (2020). Long-term health of children conceived after assisted reproductive technology. *Upsala Journal of Medical Sciences*, *125*(2), 152–157. https://doi.org/10.1080/03009734.2020.1729904
22. Berntsen, S., Söderström-Anttila, V., Wennerholm, U.-B., Laivuori, H., Loft, A., Oldereid, N. B., et al. (2019). The health of children conceived by ART: 'The chicken or the egg?' *Human Reproduction Update*, *25*(2), 137–158. https://doi.org/10.1093/humupd/dmz001
23. Bokhan, T. G., Terekhina, O. V., Shabalovskaya, M. V., Silaeva, A. V., Leshchinskaia, S. B., Gayfulina, Zh. F., Aparina, K. V., Malykh, S. B., & Kovas, Yu. V. (2023). A study of correlations between newborn children outcomes and emotional states and attachment to a fetus in women pregnant using

in-vitro fertilization. *Journal of the Higher School of Economics*, *20*(3), 563–587. https://doi.org/10.17323/1813-8918-2023-3-563-587
24. Chmel, R. Jr. (2020). Assisted reproductive methods – current status and perspectives. *Ceska Gynekol*, *85*(4), 244–253.
25. Cortese, M., Moster, D., & Wilcox, A. (2021). Term birth weight and neurodevelopmental outcomes. *Epidemiology*, *32*(4), 583–590. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001350
26. Cozzani, M., Aradhya, S., & Goisis, A. (2021). The cognitive development from childhood to adolescence of low birthweight children born after medically assisted reproduction: a UK longitudinal cohort study. *International Journal of Epidemiology*, *50*(5), 1514–1523. https://doi.org/10.1093/ije/dyab009
27. Dehghan, M., Kuhi, M., & Rezvani, S. (2020). Speech and language development of children born following assisted reproductive technologies. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, *134*, 110060. https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110060
28. Dokuhaki, S., & Dokuhaki, F. (2021). The relationship of maternal anxiety, positive and negative affect schedule, and fatigue with neonatal psychological health upon childbirth. *Contraception and Reproductive Medicine*, *6*, 1–10. https://doi.org/10.1186/s40834-021-00155-8
29. Dokuhaki, S., Heidary, M., & Akbarzadeh, M. (2019). The investigation of the effect of training attachment behaviors to pregnant mothers on some physical indicators of their infants from birth to three months based on the separation of male and female infant. *Pediatrics & Neonatology*, *60*(3), 324–331. https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2018.08.002
30. Eastwood, J., Ogbo, F. A., & Hendry, A. (2017). The impact of antenatal depression on perinatal outcomes in Australian women. *PLoS ONE*, *12*(1), e0169907. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169907
31. Fauser, B. C., Devroey, P., Diedrich, K., Balaban, B., Bonduelle, M., et al. (2014). Health outcomes of children born after IVF/ICSI: a review of current expert opinion and literature. *Reproductive Biomedicine Online*, *28*(2), 162–182. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2013.10.013
32. Hansen, M., Greenop, K. R., Bourke, J., et al. (2018). Intellectual disability in children conceived using assisted reproductive technology. *Pediatrics*, *142*(6), e20181269. https://doi.org/10.1542/peds.2018-1269
33. Hart, R., & Norman, R. J. (2013). The longer-term health outcomes for children born as a result of IVF treatment: Part I – General health outcomes. *Human Reproduction Update*, *19*(3), 232–243. https://doi.org/10.1093/humupd/dms062

34. Hart, R., & Norman, R. J. (2013). The longer-term health outcomes for children born as a result of IVF treatment: Part II – Mental health and development outcomes. *Human Reproduction Update*, *19*(3), 244–250. https://doi.org/10.1093/humupd/dmt002
35. Heijligers, M., Verheijden, L. M. M., Jonkman, L. M., Van der Sangen, M., Meijer-Hoogeveen, M., Arens, Y., Van der Hoeven, M. A., & De Die-Smulders, C. E. M. (2018). The cognitive and socio-emotional development of 5-year-old children born after PGD. *Human Reproduction*, *33*(11), 2150–2157. https://doi.org/10.1093/humrep/dey302
36. Huang, X., & Fu, J. (2021). Association between assisted reproductive technology and white matter injury in premature infants: a case-control study. *Frontiers in Pediatrics*, *9*, 686670. https://doi.org/10.3389/fped.2021.686670
37. Hvidtjørn, D., Grove, J., Schendel, D., Schieve, L. A., Sværke, C., Ernst, E., & Thorsen, P. (2011). Risk of autism spectrum disorders in children born after assisted conception: a population-based follow-up study. *Journal of Epidemiology and Community Health*, *65*(6), 497–502. https://doi.org/10.1136/jech.2009.093823
38. Kocherova, O. Ju., Pykhtina, L. A., Gadzhimuradova, H. D., Filkina, O. M., & Malyshkina, A. I. (2016). Psychological characteristics of mothers of children conceived with the use of in vitro fertilization. *Clinical Psychology and Special Education*, *(5)*, 69–77. https://doi.org/10.17759/psyclin.2016050305
39. Lang, J., Zhang, B., Meng, Y., et al. (2019). First-trimester depression and/or anxiety disorders increase the risk of low birthweight in IVF offspring: a prospective cohort study. *Reproductive BioMedicine Online*, *39*(6), 947–954. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2019.09.002
40. Lazaraviciute, G., Kauser, M., Bhattacharya, S., et al. (2014). A systematic review and meta-analysis of DNA methylation levels and imprinting disorders in children conceived by IVF/ICSI compared with children conceived spontaneously. *Human Reproduction Update*, *20*(6), 840–852. https://doi.org/10.1093/humupd/dmu033
41. Maddahi, M. S., Dolatian, M., Khoramabadi, M., & Talebi, A. (2016). Correlation of maternal-fetal attachment and health practices during pregnancy with neonatal outcomes. *Electronic Physician*, *8*(7), 2639–2644. https://doi.org/10.19082/2639
42. McMahon, C. A., Boivin, J., Gibson, F. L., et al. (2013). Pregnancy-specific anxiety, ART conception and infant temperament at 4 months post-partum. *Human Reproduction*, *28*(4), 997–1005. https://doi.org/10.1093/humrep/det029

43. Pontesilli, M., Painter, R. C., Grooten, I. J., et al. (2015). Subfertility and assisted reproduction techniques are associated with poorer cardio-metabolic profiles in childhood. *Reproductive Biomedicine Online*, *30*(3), 258–267. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2014.11.006
44. Remes, H., Palma Carvajal, M., Peltonen, R., Martikainen, P., & Goisis, A. (2022). The well-being of adolescents conceived through medically assisted reproduction: a population-level and within-family analysis. *European Journal of Population*, *38*(5), 915–949. https://doi.org/10.1007/s10680-022-09623-6
45. Rice, F., Harold, G. T., Boivin, J., et al. (2010). The links between prenatal stress and offspring development and psychopathology: disentangling environmental and inherited influences. *Psychological Medicine*, *40*(2), 335–345. https://doi.org/10.1017/S0033291709005911
46. Roychoudhury, S., Lodha, A., Synnes, A., et al. (2021). Neurodevelopmental outcomes of preterm infants conceived by assisted reproductive technology. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *225*(3), 276.e1–276.e9. https://doi.org/10.1016/j.ajog.2021.03.027
47. Rumbold, A. R., Moore, V. M., Whitrow, M. J., Oswald, T. K., Moran, L. J., Fernandez, R. C., et al. (2017). The impact of specific fertility treatments on cognitive development in childhood and adolescence: a systematic review. *Human Reproduction*, *32*(7), 1489–1507. https://doi.org/10.1093/humrep/dex085
48. Rumbold, A. R., Sevoyan, A., Oswald, T. K., et al. (2019). Impact of male factor infertility on offspring health and development. *Fertility and Sterility*, *111*(6), 1047–1053. https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2019.05.006
49. Sadowska, M., Sarecka-Hujar, B., & Kopyta, I. (2020). Cerebral palsy: current opinions on definition, epidemiology, risk factors, classification and treatment options. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *16*, 1505–1518. https://doi.org/10.2147/NDT.S235165
50. Schendelaar, P., La Bastide-Van Gemert, S., Heineman, M. J., et al. (2016). Subfertility factors rather than assisted conception factors affect cognitive and behavioral development of 4-year-old singletons. *Reproductive Biomedicine Online*, *33*, 752–762. https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2016.08.021
51. Skalny, A. V. (2018). Toxicological and nutritional status of trace elements in hair of women with in vitro fertilization (IVF) pregnancy and their 9-month-old children. *Reproductive Toxicology*, *82*, 50–56. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2018.10.004
52. Strömberg, B., Dahlquist, G., Ericson, A., et al. (2002). Neurological sequelae in children born after in-vitro fertilization: a population-based study. *Lancet*, *359*(9305), 461–465. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)07674-2

53. Watanabe, C. (2017). Impact of essential trace elements on child growth and development. *Japanese Journal of Health and Human Ecology*, *83*(6), 184–190. https://doi.org/10.3861/kenko.83.6_184
54. Wilson, C. L., Fisher, J. R., Hammarberg, K., Amor, D. J., & Halliday, J. L. (2011). Looking downstream: a review of the literature on physical and psychosocial health outcomes in adolescents and young adults who were conceived by ART. *Human Reproduction*, *26*(5), 1209–1219. https://doi.org/10.1093/humrep/der041
55. Xing, L. F., Qu, F., Qian, Y. L., Zhang, F. H., Zhu, Y. M., & Xu, X. F. (2011). The social adaptation of children born after ICSI compared with IVF-conceived children: a study from China. *Journal of Obstetrics and Gynaecology*, *31*(8), 751–753. https://doi.org/10.3109/01443615.2011.606937
56. Xu, G. F., Zhou, C. L., Xiong, Y. M., et al. (2017). Reduced intellectual ability in offspring of ovarian hyperstimulation syndrome: a cohort study. *EBioMedicine*, *20*, 263–267. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2017.05.020

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бохан Татьяна Геннадьевна, д-р психол. наук, профессор, заведующая кафедрой психотерапии и психологического консультирования
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
btg960@mail.ru

Силаева Анна Владимировна, канд. психол. наук, доцент кафедры психотерапии и психологического консультирования
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
silaevaav@yandex.ru

Терехина Ольга Владимировна, канд. психол. наук, доцент кафедры психотерапии и психологического консультирования
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
doterekhina@mail.ru

Лещинская Светлана Борисовна, канд. психол. наук, доцент кафедры психотерапии и психологического консультирования
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
s_leschins94@mail.ru

Шабаловская Марина Владимировна, канд. психол. наук, доцент, доцент кафедры психотерапии и психологического консультирования
Национальный исследовательский Томский государственный университет
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
m_sha79@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana G. Bokhan, Dr. Sc. (Psychology), Professor, Head of the Department of Psychotherapy and Psychological Counseling
Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
btg960@mail.ru
SPIN-code: 2891-7745
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1454-3869
ResearcherID: O-1353-2014
Scopus Author ID: 5682013300

Anna V. Silaeva, PhD in Psychology, Associate Professor, Department of Psychotherapy and Psychological Counseling
Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
silaevaav@yandex.ru
SPIN-code: 7582-7990

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2251-5200
ResearcherID: P-5732-2016
Scopus Author ID: 57207571308

Olga V. Terekhina, PhD in Psychology, Associate Professor, Department of Psychotherapy and Psychological Counseling
Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
doterekhina@mail.ru
SPIN-code: 2726-3340
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0964-9175
ResearcherID: F-1362-2019
Scopus Author ID: 571940902

Svetlana B. Leshchinskai, PhD in Psychology, Associate Professor, Department of Psychotherapy and Psychological Counseling
Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
s_leschins94@mail.ru
SPIN-code: 8965-4260
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9564-085X
ResearcherID: N-3029-2014
Scopus Author ID: 57204199403

Marina V. Shabalovskaya, PhD in Psychology, Associate Professor, Department of Psychotherapy and Psychological Counseling
Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
m_sha79@mail.ru
SPIN-code: 5949-5444
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2622-3491
ResearcherID: S-3794-2016
Scopus Author ID: 57193768514

Поступила 15.05.2024
После рецензирования 09.06.2024
Принята 04.07.2024

Received 15.05.2024
Revised 09.06.2024
Accepted 04.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-954 **EDN: NAAYLZ**
УДК 616-008.6

Обзорная статья

ЭТИОПАТОГЕНЕЗ ПОСТКОВИДНОГО СИНДРОМА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

С.Г. Безруков, К.О. Таримов, В.З. Харченко, А.А. Ибраимов, А.З. Сеитягьяев

Аннотация

Обоснование. Значительное число пациентов во всем мире перенесли инфекцию SARS-CoV-2, и комплекс симптомов, развивающийся после полного выздоровления от COVID-19, известный как постковидный синдром, также широко распространен. Из-за отсутствия всесторонних исследований этиологии и патогенеза этого синдрома имеется настоятельная необходимость анализа научных публикаций по данной теме, что может обеспечить систематический обзор имеющихся данных и помочь разработать стратегию будущих исследований постковидного синдрома.

Цель. На основе анализа данных, опубликованных в современной медицинской научной литературе, нашей целью являлась систематизация информации об этиологии и патогенезе постковидного синдрома, одной из ведущих причин ранних осложнений после хирургического лечения.

Материалы и методы. В обзор включены зарубежные и отечественные исследования, опубликованные за последние 10 лет, отобранные с использованием ключевых слов из библиографических баз данных, таких как PubMed, Киберленинка и Elibrary.

Результаты. Проведен анализ данных, направленных на понимание механизмов постковидного синдрома. Постковидный синдром - это совокупность патофизиологических процессов, которые происходят во время острой фазы заболевания и после исчезновения его основных симптомов.

Заключение. Инфекция SARS-CoV-2 оказывает общее и местное иммуносупрессивное, нейротоксическое и противовирусное действие, приводя к развитию послеоперационных осложнений. Данные о патофизиологических механизмах, которые развиваются как во время заболевания SARS-CoV-2, так и после исчезновения основных симптомов, могут быть использованы для разработки мер профилактики послеоперационных осложнений.

Ключевые слова: постковидный синдром; этиопатогенез; ранние осложнения хирургического лечения; обзор

Для цитирования. Безруков, С. Г., Таримов, К. О., Харченко, В. З., Ибраимов, А. А., & Сеитягьяев, А. З. (2025). Этиопатогенез постковидного синдрома (обзор литературы). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 415-436. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-954

Scientific review

ETIOPATHOGENESIS OF POST-COVID SYNDROME

S.G. Bezrukov, K.O. Tarimow, V.Z. Kharchenko, A.A. Ibragimov, A.Z. Seityagyaev

Abstract

Background. A significant number of people around the world have been affected by the SARS-CoV-2 virus, and the complex of symptoms known as post-COVID syndrome is also widespread after full recovery from COVID-19. Due to the lack of comprehensive research on the etiology and pathogenesis of post-COVID syndrome, it is essential to analyze relevant scientific publications in order to systematically review available data and develop a strategy for future studies.

Purpose. Based on the analysis of data published in contemporary medical scientific literature, our aim was to systematize information about the etiology and pathogenesis of post-COVID syndrome, one of the leading causes of early complications following surgical treatment.

Materials and methods. The review included foreign and domestic studies published over the past 10 years, selected using the keywords from bibliographic databases such as PubMed, Cyberleninka, and Elibrary.

Results. The analysis of data aimed at understanding the mechanisms of post-COVID syndrome has been completed. Post-COVID syndrome is a set of pathophysiological processes that occur during the acute phase of the illness and after its main symptoms have subsided.

Conclusion. SARS-CoV-2 infection has an overall and local immunosuppressive, neurotoxic, and antiviral effect, leading to the development of postoperative complications. Data on the pathophysiological mechanisms that develops both during SARS-CoV-2 disease and after the main symptoms has subsided can be used to develop preventive measures for postoperative complications.

Keywords: post-COVID syndrome; etiopathogenesis; early complications of surgical treatment; review

For citation. Bezrukov, S. G., Tarimow, K. O., Kharchenko, V. Z., Ibragimov, A. A., & Seityagyaev, A. Z. (2025). Etiopathogenesis of post-COVID syndrome. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 415–436. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-954

Введение

Известно, что инфекция SARS-CoV-2 приводит к развитию симптомокомплекса известного как «постковидный синдром». COVID-19, как и другие заболевания, не проходит без последствий для организма. Среди возникающих при этом нарушений чаще всего выделяют группы неврогенных, эндокринных, сердечно-сосудистых, респираторных, гастроэнтерологических и иммунных расстройств [1; 26].

В течение долгого времени основное внимание уделялось острой фазе COVID-19, но по мере сбора информации стали понятнее особенности этой инфекции, и были разработаны эффективные методы лечения для определённых групп пациентов. Однако в середине 2021 года начали появляться сообщения о краткосрочных и долгосрочных последствиях перенесённой коронавирусной инфекции. Сегодня эта проблема называется «постковидный синдром». Исследования показывают, что остаточные симптомы у людей с отрицательными результатами анализов на вирус SARS-CoV-2 связаны с единым этиопатогенезом. Современные учёные рассматривают проявления и патогенез постковидного синдрома с точки зрения симптомов, вызванных хроническим воспалением, последствий поражения внутренних органов и неспецифических проявлений госпитализации и социальной изоляции [27]. Если первое объясняется высокой тропностью коронавируса к эпителию внутренних органов, то когнитивная симптоматика может быть результатом патоморфологических нарушений гематоэнцефалического барьера, снижающих его функциональность и вызывающих нарушения центральной нервной системы. Считается, что в первые три месяца после стихания симптомов острого вирусного заболевания выделяют период, называемый «Продлённым ковидом» (или Ковид-лонг). Термин «Long COVID» появился в мае 2020 года в Твиттере (#longcovid) как призыв пациентов к врачам. Проблема заключалась в том, что симптомы коронавируса не исчезали после лабораторного подтверждения выздоровления. Вскоре проблема была признана медицинским и научным сообществами. Помимо термина «Long COVID», ис-

пользуются и другие названия, такие как postCOVID syndrome, Post-Acute Sequelae of SARS-CoV-2 infection. Термин «post-COVID condition», предложенный ВОЗ, вошёл в МКБ-10, а множественная форма «postCOVID conditions» используется Центром по контролю и профилактике заболеваний США [2]. Он характеризуется проявлением широкого спектра возможных органных осложнений. При этом самыми распространёнными считают: повышенную утомляемость (у 35% пациентов), одышку (39%), признаки миокардита (3%), нарушение или полная потеря обоняния (50%), снижение или полная утрата вкусовой чувствительности (20%), боли при движении в суставах (15%), судороги скелетных мышц, не связанные с физической активностью (10%), снижение остроты слуха и зрения (15%), а также нарушения координации движений (5%). После COVID-19 у пациентов могут сохраняться симптомы острой фазы или возникать новые. Уровни маркеров воспаления могут быть в норме, а ПЦР-тест на SARS-CoV-2 отрицательным. Это указывает на необходимость клинических рекомендаций по диагностике и лечению постковидного синдрома. В декабре 2020 года Национальный институт здоровья и качества медицинской помощи Великобритании (NICE) опубликовал временные рекомендации по этому вопросу. Следовательно, описанные симптомы, согласно данным представленным в литературе, могут проявляться независимо друг от друга и способны исчезать самостоятельно, что затрудняет определение причин описываемых состояний в случаях, когда новая коронавирусная инфекция протекала в лёгкой форме, в силу чего пациент может не обращаться за медицинской помощью [3; 25; 27; 28; 29].

В ходе всего периода, продлённого ковида у части больных, остаётся высоким уровень антител (более 150 BAU/мл), вне зависимости от степени тяжести ранее перенесённого заболевания, что, согласно исследованию Ф.А.о.Бабаева, [4] указывает на вероятную взаимосвязь между появлением осложнений и уровнем антител. Установлено [4; 26], что пациенты, прошедшие предварительную иммунизацию до заболевания новой коронавирусной инфекцией, чаще болели в лёгкой форме, а послеоперационные осложнения у них возникали реже. Постковидный синдром большинство авторов определяют спустя три месяца после стихания острых симптомов, в том числе более чем у половины лиц, перенесших новую коронавирусную инфекцию в средней и лёгкой форме [23; 24].

Также ряд авторов [8; 30; 31] утверждают, что через 3 месяца после выписки из стационара у 64% переболевших тяжелой формой наблюдались стойкие симптомы постковидного синдрома, в том числе в 71% случаев

— рентгенологические отклонения в структуре легочной ткани, в 25% — снижение диффузной емкости легких. Также одной из важных проблем постковидного периода выделяют тромботические осложнения, частота которых составляет 3,28%. Однако продолжительность и методы коррекции гиперкоагуляции у пациентов, перенёсших COVID-19, ещё не определены. У 83% пациентов обнаруживают гиперкоагуляционное состояние в постковидном периоде. При выраженной гиперкоагуляции (скорость роста сгустка более 40 мкм/мин и наличие очагов спонтанного тромбообразования) отношение шансов обнаружения дисковидных ателектазов отчасти подтверждает гипотезу о тромботическом происхождении проявлений постковидного периода [5; 30].

Этиология постковидного синдрома

Вероятной причиной развития постковидного синдрома считают комплекс патофизиологических процессов, развивающихся как в период разгара заболевания, так и после стихания основных симптомов. Н.Б. Амировым и соавт. [31] установлено, что у большинства пациентов с постковидным синдромом развивается хронический тромбоваскулит. Его связывают с прямым поражением эндотелия сосудов новой коронавирусной инфекцией и выработкой иммунных комплексов в сосудистой стенке, что приводит к аутоиммунному воспалению. Наиболее часто встречающимися нарушениями гемостаза у пациентов, перенесших COVID-19, являются тромбоцитопения и повышенные уровни D-димера [6]. При этом были обнаружены существенные различия между умершими и выжившими пациентами в диапазоне D-димера и ПДФ: от 0,22 до 21 и от 4 до 150 мкг/мл соответственно. Изменения параметров свёртываемости крови отслеживались с первого по четырнадцатый день после поступления с трёхдневными интервалами. Так на десятый и четырнадцатый день D-димер у умерших пациентов значительно выше, чем у выживших. То же самое относится и к продуктам распада фибрина. Исходный уровень фибриногена не отличается, но на десятый и четырнадцатый день у умерших пациентов наблюдается прогрессивное снижение фибриногена. Активность антитромбина III изначально не различается, но на седьмой, десятый и четырнадцатый день её значения уменьшаются у умерших пациентов. Изменения в системе гемостаза соответствуют картине синдрома диссеминированного внутрисосудистого свёртывания (ДВС).

Из-за повреждения рецепторов ангиотензинпревращающего фермента 2 новой коронавирусной инфекцией происходит образование множествен-

ных микротромбов в сосудах микроциркуляторного русла с последующим их закупориванием, что приводит к петехиальным кровоизлияниям в тканях из-за повышения проницаемости сосудистой стенки. В литературе отмечается связь между тяжёлым течением COVID-19 и повышенным риском тромбоэмболии, но механизмы этой связи пока не выяснены. Основные факторы риска тромботических осложнений включают системное воспаление, гипоксию и сопутствующие заболевания, такие как ишемическая болезнь сердца, артериальная гипертензия и сахарный диабет 2 типа. Тромбообразование происходит при активации тромбоцитов и каскаде свёртывания крови. Тромбоз может быть вызван триадой Вирхова, включающей изменения в составе крови, замедление кровотока и изменения в сосудистой стенке. Активация тромбоцитов инициируется такими факторами, как коллаген через рецепторы гликопротеина VI и тромбин через рецепторы, активируемые протеазами 1 и 4. Затем происходят ключевые процессы: превращение арахидоновой кислоты в тромбоксан А2, деградация тромбоцитов и воздействие АДФ на рецепторы P2Y12, стимулирующее активацию тромбоцитов. Альфа-гранулы, содержащие Р-селектин и другие провоспалительные и прокоагулянтные факторы, также сливаются с мембраной, связываясь с воспалительными клетками [7; 12; 38].

Стойкая очаговая длительная дисфункция ствола мозга у пациентов с тяжелой формой течения новой коронавирусной инфекции приводит к нарушению иннервации различных органов и систем. Доказано, что нейропилин-1 и корецептор SARS-CoV-2, могут экспрессироваться в стволе головного мозга, приводя к снижению регенераторной способности нейронов, а также к пролонгации дисфункции ствола мозга и, соответственно, к выраженности неврологических проявлений, таких как хроническая боль в конечностях, мигрень, миалгический энцефаломиелит или синдром хронической усталости [28]. Пациенты, которые выздоровели физически, могут столкнуться с долгосрочными проблемами психического здоровья. Так вегетативные и тревожно-депрессивные нарушения играют значительную роль в структуре постковидного синдрома, и их наличие может усугубить когнитивные нарушения и бессонницу [29]. Дополнительно следует отметить, что сегодня специалисты активно обсуждают данные катамнестической оценки электронных историй болезни людей, переболевших новой коронавирусной инфекцией. Согласно этим данным, COVID-19 может вызывать или усугублять нейродегенеративные заболевания, такие как болезнь Альцгеймера. Однако этот вопрос остаётся дискуссионным и требует дальнейшего проспективного изучения [34; 36].

Помимо вышеперечисленных факторов воздействия COVID-19 на организм больного, после первичного гипервоспалительного иммунного ответа и «цитокинового шторма», более чем у 70% больных наблюдают выраженную имуносупрессию, длительность которой может превышать 6 месяцев [13]. В отдельных научных работах [7; 37] выявлен стойкий воспалительный ответ, равный как уровню иммуносупрессии, так и постсептическому катаболическому процессу, который выделяют в качестве гипотетической причины развития постковидного синдрома. В подтверждение этой гипотезы приводят тот факт, что постсептические пациенты склонны к латентной реактивации вируса [24], и даже к развитию рецидива и реактивации SARS-CoV-2 после выздоровления [5; 33; 37].

Установлена параваскулярная и трансневральная тропность новой коронавирусной инфекции. При этом COVID-19 поражает гипоталамус, лимбическую систему, мозжечок, структуры ствола мозга, приводя к множественным вторичным неврологическим расстройствам, таким как нарушения координации, спастические непроизвольные движения, резкие и беспричинные изменения настроения, спонтанное повышение частоты сердечных сокращений и др. [6; 22; 39].

В.Д. Золотовым [12] установлено, что у выздоровевших после COVID-19 больных, перенесших острый респираторный дистресс-синдромом, патологический процесс продолжает прогрессировать вплоть до развития фиброза легких, основными клиническими симптомами которого являются одышка и хронический сухой кашель. Несмотря на то, что многие пациенты выздоравливают самостоятельно в течение первых шести недель после заражения коронавирусом, и им не требуется немедленное начало программы лёгочной реабилитации, пациентам же с серьёзными респираторными проблемами может быть полезна лёгочная реабилитация, которая представляет собой мультидисциплинарный подход, основанный на индивидуальном обследовании и лечении [10; 42].

В.Е. Баринов [6], а также Ф.З. Олимова и соавт. [40] утверждают, что стойкая виремия представляет собой один из ведущих факторов развития постковидного синдрома у пациентов с тяжелым течением COVID-19. При этом из-за ослабленного гуморального ответа становится возможным неоднократное повторное заражение пациентов, уже перенесших новую коронавирусную инфекцию, приводящее к рецидиву заболевания, что в свою очередь способствует множественному сочетанному поражению органов и систем [41].

Снижение общего и местного иммунитета способствует также развитию вторичной бактериальной и грибковой инфекции, в том числе в по-

лости рта, в ротоглотке и дыхательных путях, что в более чем половине случаев приводит к развитию стоматита и кандидоза, а также возникновению острых респираторных воспалительных заболеваний или их осложнений сразу после завершения новой коронавирусной инфекции [2]. Так осложнения со стороны желудочно-кишечного тракта могут помимо прочего быть вызваны не только фармакологическими побочными эффектами используемых лекарств при лечении COVID-19, а также метаболическими и электролитными нарушениями у пациентов с тяжелой формой вирусной инфекции. Тяжёлый острый респираторный дистресс-синдром, связанный с новым коронавирусом COVID-19, также может привести к тромбозу мелких сосудов кишечника, печени или вызвать вирусную энтероневропатию [4, 6].

Таким образом, выявление постковидного синдрома основывается на определении сочетанных поражений различных органов и систем после перенесённой коронавирусной инфекции.

Механизмы развития признаков постковидного синдрома

Установлено, что постковидный синдром может включать в себя поражения различных органов и систем с нарушением их функций: сердечно-сосудистой, нервной, эндокринной, пищеварительной, выделительной, иммунной [44]. При этом выраженно часто проявляется дисциркуляторная энцефалопатия (ДЭП), что в частности может быть признаком наличия синдрома послевирусной астении. ДЭП – это прогрессирующая с умеренной скоростью хроническая недостаточность мозгового кровообращения, которая вызывает гипоксию и дефицит питательных веществ нейронов, что приводит к их постепенной мелкоочаговой деструкции в разных участках центральной нервной системы. Клинические проявления ДЭП включают мигрень, нарушение координации движений, шум в ушах, повышенную утомляемость, снижение когнитивных способностей и атаксию. Начальные симптомы ДЭП зачастую проявляются в виде астении – патологического состояния с выраженной утомляемостью, частыми беспричинными перепадами настроения, слабостью, гиперестезией в дистальных отделах конечностей и нарушениями сна. В основе синдрома послевирусной астении лежит длительное персистирование вируса в организме. В дополнение к описанным процессам также рассматривается метаболическая концепция, согласно которой вирус COVID 19 является неспецифическими биологическими стрессором. Виремия может перейти в синдром послевирусной астении в течение 24 часов (28%) или одного месяца (65%). Однако Ф.А.О.

Бабаев [4], Р.А. Эльканов [43] считают, что астения обычно наступает спустя несколько недель после перенесённой коронавирусной инфекции инфекции. Клиническая картина астении включает множество симптомов, но наиболее распространённые жалобы пациентов – это общая слабость, быстрая утомляемость, истощение, которые могут сохраняться в до полугода. Неврологические симптомы при синдроме послевирусной астении включают нарушения чувствительности, вегетативные расстройства и нейромиалгии. У большинства пациентов наблюдаются гиперстезии, незначительная гипертермия и потливость. Однако наиболее характерной является нейромиалгия, когда пациенты ощущают боль в отдельных группах мышц (чаще конечностей) и полимиалгии .

Поражения нервной системы, согласно утверждениям отдельных авторов, возникают, главным образом, на фоне нарушений нервной регуляции сокращений поперечнополосатой мускулатуры, что отражается на процессах дыхания и сердцебиения. Это, в свою очередь, ведёт к развитию вторичных нарушений [8]. К ним относят воспалительные заболевания бактериальной и\или грибковой природы дыхательной системы, развитие хронической сердечной недостаточности, а затем гипоксии органов и тканей, снижение выработки гормонов гипофиза с возникновением множественных проявлений, находящихся в зависимости от выраженности гипосекреции как парциальной, так и тотальной [7; 11; 48].

Негативное влияние на сердечно-сосудистую систему, согласно утверждениям отдельных авторов, проявляется в первую очередь через эндотелиальную дисфункцию. Множественные нарушения функционирования стенки сосудов различного диаметра ведут к развитию локализованного аутоиммунного воспаления и, как следствие, к проявлениям атеросклероза и атеротромбоза [4; 45; 47].

Помимо обозначенного поражения тканей и отдельных органов зафиксировано, что эндотелиальная дисфункция способствует развитию спектра таких заболеваний, как хронические болезни почек, вследствие нарушения проходимости почечных канальцев и замедления оттока первичной мочи, сахарный диабет, на фоне развивающейся в поджелудочной железе ишемии ее дистальных отделов, что становится ключевым фактором в развитии склероза железы [7]. Также выделяют ишемическую болезнь сердца, развивающуюся вследствие нарушений проходимости артерий сердца и микроциркуляторного русла из-за тромбоза отдельных сосудов малого диаметра и атеросклероза артерий, что в целом снижает приток крови к миокарду [11; 46].

Поражения эндокринных органов имеют разнообразные проявления, связанные как с нарушением внутренней, так и внешней секреции различных желёз. Снижение их функции может быть следствием как непосредственного повреждения тканей всей железы, так и нарушения кровоснабжения отдельных ее участков при воспалении, дыхательной недостаточности, локальной гипоксии и дефиците гормонов гипофиза [11; 49].

Повреждение тканей желез смешанной секреции чаще всего наблюдали в печени и поджелудочной железе. При этом повреждения ткани печени проявляются как в нарушениях пищеварения, так и в развитии стойкого повышения температуры тела, которое может сохраняться более полутора месяцев. Нарушения функций поджелудочной железы состояли в зависимости от локализации очагов ее поражения. При повреждении тканей в области хвоста железы у части пациентов развивался приобретённый сахарный диабет. При склерозе тела и головки железы нарушения проявлялись в виде снижения качества переваривания пищи [8; 11; 50].

Установлено, что поражения органов пищеварения являются следствием иммуносупрессии, которая нередко приводит к развитию грибковых и бактериальных поражений слизистой оболочки в различных отделах кишечника, а также к торможению репаративных и регенераторных реакций в организме в целом [15; 16; 19].

Поражения выделительной системы увязывают с нарушениями нейрорегуляции и со снижением иммунного ответа. Они чаще проявляются в виде воспалительных заболеваний грибкового характера, которые ведут к затрудненному мочеиспусканию [12; 20; 21].

Таким образом, инфекция COVID-19 и последующий постковидный синдром оказывают общее и местное иммуносупрессивное, нейротропное и ангиотоксическое действие, что приводит к формированию широкого спектра нарушений в органах и тканях, что является вероятной причиной развития ранних послеоперационных осложнений. Поэтому при реабилитации пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию, следует учитывать ряд положений. Так, для пациентов, перенесших COVID-19, отрицательный результат ПЦР-анализа не является завершением наблюдения, рекомендуется непрерывное и долгосрочный мониторинг для оценки проявлений после COVID-19 и раннего вмешательства при критических признаках [17; 18]. Кроме того, необходимость постоянного консультирования пациентов очень важна не только для поддержания высокой их приверженности к лечению, но и для выявления ранних признаков развития серьезных осложнений.

Выводы

Постковидный синдром в различных его проявлениях развивается более чем у 50% больных, перенесших COVID 19, в том числе – в легкой форме. Его возникновение сопровождается формированием множественных структурных повреждений в тканях и органах с последующим развитием воспалительно-дегенеративных хронических процессов и прогрессированию нарушений в дыхательной, сердечно-сосудистой, эндокринной, нервной и других системах.

Сочетанные функциональные постковидные нарушения оказывают иммуносупрессивный эффект, снижают репаративные и регенераторные возможности организм, повышают риск развития ранних послеоперационных осложнений у хирургических больных.

Всё это служит основанием для разработки способа профилактики послеоперационных осложнений в различных направлениях хирургии, в частности в хирургической стоматологии.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Список литературы

1. Агурбаш, А. Н. (2022). Новая коронавирусная инфекция: тромбогеморрагические осложнения. *Scientist (Russia)*, *(21)*, 2.
2. Ахильгова, М. Т. (2022). Психоэмоциональное состояние и ментальное здоровье людей в постковидный период. *Педагогика & Психология. Теория и практика*, *(41)*, 61–67.
3. Ахорова, Ш. Б. (2021). Специфические изменения нервной системы у пациентов с постковидным синдромом. *Вестник Казахского национального медицинского университета*, *(4)*, 354–358.
4. Бабаев, Ф. А. О. (2021). Внелегочные осложнения у больных с новой коронавирусной инфекцией COVID-19. *Верхневолжский медицинский журнал*, *20*(3), 39–42.
5. Бабаев, Ф. А. О. (2021). Диагностика и лечение абдоминальных осложнений новой коронавирусной инфекции COVID-19. *Верхневолжский медицинский журнал*, *20*(4), 3–7.
6. Баринов, В. Е. (2020). Венозные тромботические осложнения как спутник новой коронавирусной инфекции COVID-19. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*, *(2)*, 22–27. https://doi.org/10.26269/ayxs-2p77

7. Васильева, А. В. (2022). Постковидный синдром: в фокусе психоневрологические нарушения. *Медицинский совет*, *16*(21), 88–94. https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-21-88-94
8. Глущенко, В. В. (2022). Некоторые аспекты постковидного синдрома у пациентов неврологического отделения. *Вестник Новгородского государственного университета*, *(127)*, 89–93. https://doi.org/10.34880/2076-8065-2022-2(127)-89-93
9. Гуляев, П. В. (2022). Выявление постковидного синдрома у пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики*, *(S2)*, 107–128. https://doi.org/10.24412/2312-2935-2022-2-107-128
10. Гутова, Т. С. (2022). Психологические аспекты постковидного синдрома. *Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в вузе и школе*, *(37)*, 1056–1060.
11. Жоголь, П. Л. (2021). Синдром послевирусной астении как одно из ранних проявлений постковидного состояния. *Современные достижения молодых ученых в медицине – 2021: сборник материалов VIII Республиканской научно-практической конференции с международным участием* (с. 80–83). Гродно: Гродненский государственный медицинский университет.
12. Золотов, В. Д. (2021). Сосудистые осложнения у пациентов с новой коронавирусной инфекцией. *Практическая медицина*, *18*(3), 43–50. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2020-3-43-50
13. Зуйкова, А. А. (2022). Эффективность восстановительного лечения пациентов с постковидным синдромом. *Лечащий врач*, *25*(11), 21–29. https://doi.org/10.51793/OS.2022.25.11.004
14. Кирилюк, Е. В. (2020). Синдром Гийена-Барре: редкое осложнение новой коронавирусной инфекции. В руководстве для врачей: *Диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции. Организация работы в условиях многопрофильного стационара* (с. 177–184). Москва: ООО «Издательский дом „Практика“». https://doi.org/10.51833/9785898161804_177
15. Кондрашова, О. А. (2022). Роль физиотерапии в лечении психоневрологических заболеваний, как осложнений перенесённой новой коронавирусной инфекции (COVID-19). *Актуальные вопросы современной науки и образования: сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции* (с. 247–250). Пенза: Наука и просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.).
16. Лекомцева, Э. В. (2021). Последствия постковидного синдрома. *Альманах молодой науки*, *(43)*, 5–6.
17. Лялина, Е. В. (2022). Постковидный синдром и восстановление работоспособности организма: нутрициологический подход. *Модернизация*

российского общества и образования: новые экономические ориентиры, стратегии управления, вопросы правоприменения и подготовки кадров: материалы XXIII Национальной научной конференции (с международным участием) (с. 753–757). Таганрог: Таганрогский институт управления и экономики.

18. Мартиросова, Т. А. (2022). Реабилитация после новой коронавирусной инфекции. *Современные технологии в области абилитации и реабилитации. Адаптивная верховая езда как составная часть комплексной реабилитации: материалы международной научно-практической конференции* (с. 102–109). Чита: ЗабГУ.
19. Голохвастов, С. Ю., Литвиненко, И. В., Янишевский, С. Н., Яковлев, А. И., Мирная, Д. А., & Пушкарев, В. А. (2021). Механизм церебральных осложнений новой коронавирусной инфекции. *Известия Российской военно-медицинской академии*, *40*(S4), 20–26.
20. Михайлова, А. С. (2020). Подходы к лечению и реабилитации пациентов с постковидным синдромом (клинический случай). *Практическая пульмонология*, *(4)*, 29–33.
21. Яровая, Л. А., Пилипчук, Н. Г., Гончарова, О. Г., Мошняга, В. Б., & Пронина, Н. А. (2022). Новая коронавирусная инфекция и её осложнения в амбулаторной практике врача-отоларинголога. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, *21*(S2), 26–27.
22. Хохлов, Р. А., Ярмонова, М. В., Трибунцева, Л. В., & Прозорова, Г. Г. (2022). Особенности поражения сердца у пациентов с постковидным синдромом. *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*, *(88)*, 43–50.
23. Мамедова, Ф. М., Гидаятова, Л. А., Таги-заде, Т. Г., & Гаджиева, У. К. (2022). Особенности течения постковидного периода у детей с гипермобильным синдромом. *Российский педиатрический журнал*, *3*(1), 188.
24. Городин, В. Н., Мойсова, Д. Л., Чупров, И. И., Бахтина, В. А., & Чернявская, О. В. (2022). Оценка гемостаза в постковидный период. В сборнике: *Инфекционные болезни в современном мире: эволюция, текущие и будущие угрозы: сборник трудов XIV Ежегодного Всероссийского Конгресса по инфекционным болезням имени академика В. И. Покровского* (с. 48–49). Москва: ООО «Медицинское маркетинговое агентство».
25. Перевощиков, А. Н., Умаров, А. Х., Карасов, И. А., & Попова, Н. И. (2021). Патогенез неврологических осложнений новой коронавирусной инфекции. В сборнике: *Научные исследования в современном мире. Теория и практика: сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции* (с. 38–41). Санкт-Петербург: Частное на-

учно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ».

26. Власова, Т. И., Спирина, М. А., Арсентьева, Е. В., Шамрова, Е. А., & Ситдикова, А. В. (2021). Патогенетические механизмы неврологического постковидного синдрома и основы его патогенетического лечения и профилактики (обзор литературы). *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки*, *(60)*, 129–142. https://doi.org/10.21685/2072-3032-2021-4-11
27. Баймухамбетова, Д. В., Горина, А. О., Румянцев, М. А., Шихалева, А. А., Эль-Тарави, Я. А., Бондаренко, Е. Д., Капустина, В. А., & Мунблит, Д. Б. (2021). Постковидное состояние у взрослых и детей. *Пульмонология*, *31*(5), 562–570. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2021-31-5-562-570
28. Абрамова, В. Д., Коростышевская, А. М., Савелов, А. С., & Штарк, М. Б. (2021). Постковидный неврологический синдром: спектр МРТ-визуализации. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*, *11*(4), 7–19. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-12-24
29. Беляков, Н. А., Трофимова, Т. Н., Рассохин, В. В., Рыбакова, М. Г., & Васильев, В. Б. (2021). Постковидный синдром — полиморфизм нарушений при новой коронавирусной инфекции. *ВИЧ-инфекция и иммуносупрессии*, *13*(4), 7–20. https://doi.org/10.22328/2077-9828-2021-13-4-7-20
30. Купкенова, Л. М., Шамсутдинова, Н. Г., Одинцова, А. Х., Черемина, Н. А., Исхакова, Д. Г., & Абдулганиева, Д. И. (2022). Постковидный синдром у пациентов с воспалительными заболеваниями кишечника. *РМЖ. Медицинское обозрение*, *6*(5), 227–231. https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-5-227-231
31. Амиров, Н. Б., Давлетшина, Э. И., Васильева, А. Г., & Фатыхов, Р. Г. (2021). Постковидный синдром: мультисистемные дефициты. *Вестник клинической современной медицины*, *14*(6), 94–104. https://doi.org/10.20969/ВСКМ.2021.14(6).94-104
32. Айтбаев, К. А., Муркамилов, И. Т., Муркамилова, Ж. А., Фомин, В. В., Кудайбергенова, И. О., & Юсупов, Ф. А. (2021). Постковидный синдром: частота, клинический спектр и проблемы для амбулаторной службы. *Практическая медицина*, *19*(5), 15–20. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2021-5-15-20
33. Иванова, А. П., Волобуев, Д. К., Анфилова, М. Г., Востриков, П. П., & Привалова, Т. С. (2020). Развитие хирургических осложнений у больных новой коронавирусной инфекцией. *Innova*, *(20)*, 25–27.
34. Сабиров, И. С., Мамедова, К. М., Султанова, М. С., Кожоева, М. З., & Ибадуллаев, Б. М. (2021). Роль и значение гипоксического компонента в разви-

тии осложнений новой коронавирусной инфекции (COVID-19). *The Scientific Heritage*, *(62)*, 21–28. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-62-2-21-28

35. Сурикова, Н. А. (2021). Распространённость новой коронавирусной инфекции и её осложнений у людей с сердечно-сосудистыми факторами риска. *Альманах молодой науки*, *(43)*, 7–9.
36. Трисветова, Е. Л. (2021). Постковидный синдром: клинические признаки, реабилитация. *Кардиология в Беларуси*, *13*(2), 268–279. https://doi.org/10.34883/PI.2021.13.2.011
37. Труфанов, А. Г. (2022). Нарушения функциональной коннективности головного мозга у пациентов с постковидным синдромом в рамках теории тройственной нейросети. *Известия Российской военно-медицинской академии*, *41*(4), 393–398. https://doi.org/10.17816/rmmar111862
38. Улиханян, К. А. (2022). Влияние постковидного синдрома на состояние органов и тканей полости рта. В сборнике: *76-я итоговая научная конференция студентов Ростовского государственного медицинского университета* (с. 51–52). Ростов-на-Дону: Ростовский государственный медицинский университет.
39. Ханмухометов, Ф. О. (2020). Неврологические симптомы и осложнения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) у взрослых. *Вестник молодого ученого*, *9*(3), 101–106.
40. Олимова, Ф. З., Клочева, Е. Г., & Лобова, Н. В. Цереброваскулярные осложнения новой коронавирусной инфекции у лиц молодого и среднего возраста. *Журнал инфектологии*, *13*(1), 11–18.
41. Челомбитько, Е. Г. (2022). Системные проявления постковидного синдрома. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*, *(3)*, 48–60.
42. Черноков, О. И. (2021). Постковидный синдром в период пандемии COVID-19. *Иммунопатология, аллергология, инфектология*, *(3)*, 105–110. https://doi.org/10.14427/jipai.2021.3.105
43. Эльканов, Р. А. (2022). Психосоматическое влияние при постковидном синдроме. *Инновационная наука*, *(4-1)*, 67–69.
44. Garg, P., Arora, U., Kumar, A., & Wig, N. (2021). The “post-COVID” syndrome: How deep is the damage? *Journal of Medical Virology*, *93*(2), 673–674. https://doi.org/10.1002/jmv.26465
45. Kamal, M., Abo Omirah, M., Hussein, A., & Saeed, H. (2020). Assessment and characterization of post-COVID-19 manifestations. *International Journal of Clinical Practice*, *75*(3), 13746. https://doi.org/10.1111/ijcp.13746
46. Zhao, Y. M., Shang, Y. M., Song, W. B., Li, Q. Q., Xie, H., Xu, Q. F., Jia, J., Li, L. M., Mao, H. L., Zhou, X. M., Luo, H., Gao, Y. F., & Xu, A. G. (2020). Follow-

up study of the pulmonary function and related physiological characteristics of COVID-19 survivors three months after recovery. *EClinicalMedicine*, *25*, 100463. https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100463

47. Mahase, E. (2022). Long COVID could be four different syndromes, review suggests. *BMJ (Clinical research ed.)*, *371*, m3981. https://doi.org/10.1136/bmj.m3981
48. Greenhalgh, T., Knight, M., A'Court, C., Buxton, M., & Husain, L. (2020). Management of post-acute COVID-19 in primary care. *BMJ (Clinical research ed.)*, *370*, m3026. https://doi.org/10.1136/bmj.m3026

References

1. Agurbash, A. N. (2022). Novel coronavirus infection: thrombhemorrhagic complications. *Scientist (Russia)*, *(21)*, 2.
2. Akhilgova, M. T. (2022). Psychoemotional state and mental health of people in the post-COVID period. *Pedagogika & Psikhologiya. Teoriya i Praktika*, *(41)*, 61–67.
3. Akhrorova, Sh. B. (2021). Specific changes in the nervous system in patients with post-COVID syndrome. *Bulletin of Kazakh National Medical University*, *(4)*, 354–358.
4. Babayev, F. A. O. (2021). Extrathoracic complications in patients with novel coronavirus infection COVID-19. *Verkhnevolzhskiy medicinskiy zhurnal*, *20*(3), 39–42.
5. Babayev, F. A. O. (2021). Diagnosis and treatment of abdominal complications of novel coronavirus infection COVID-19. *Verkhnevolzhskiy medicinskiy zhurnal*, *20*(4), 3–7.
6. Barinov, V. E. (2020). Venous thrombotic complications accompanying novel coronavirus infection COVID-19. *Kremlevskaya meditsina. Klinicheskiy vestnik*, *(2)*, 22–27. https://doi.org/10.26269/ayxs-2p77
7. Vasilyeva, A. V. (2022). Post-COVID syndrome: focus on psychoneurologic disturbances. *Medical Council*, *16*(21), 88–94. https://doi.org/10.21518/2079-701X-2022-16-21-88-94
8. Glushchenko, V. V. (2022). Certain aspects of post-COVID syndrome in patients admitted to a neurology department. *Bulletin of Novgorod State University*, *(127)*, 89–93. https://doi.org/10.34880/2076-8065-2022-2(127)-89-93
9. Gulayev, P. V. (2022). Identifying post-COVID syndrome in patients recovering from novel coronavirus infection. *Sovremennye problemy zdravookhraneniya i meditsinskoj statistiki*, *(S2)*, 107–128. https://doi.org/10.24412/2312-2935-2022-2-107-128

10. Gutova, T. S. (2022). Psychological aspects of post-COVID syndrome. *Sovremennye problemy lingvistiki i metodiki prepodavaniya russkogo yazyka v vuze i shkole*, *(37)*, 1056–1060.
11. Jogol', P. L. (2021). Postviral asthenia syndrome as one of the early manifestations of post-COVID condition. *Sovershenniye dostizheniya molodykh uchenykh v meditsine – 2021: sbornik materialov VIII Respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* (pp. 80–83). Grodno: Grodnenskiy gosudarstvenniy meditsinskiy universitet.
12. Zolotov, V. D. (2021). Vascular complications in patients with novel coronavirus infection. *Prakticheskaya meditsina*, *18*(3), 43–50. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2020-3-43-50
13. Zuikova, A. A. (2022). Efficacy of rehabilitation therapy in patients with post-COVID syndrome. *Lechaschiy vrach*, *25*(11), 21–29. https://doi.org/10.51793/OS.2022.25.11.004
14. Kirilyuk, E. V. (2020). Guillain-Barré syndrome: rare complication of novel coronavirus infection. *Diagnostics and treatment of novel coronavirus infection. Organization of work in multiprofiling hospitals* (pp. 177–184). Moscow: OOO «Izdatelskiy dom „Praktika"». https://doi.org/10.51833/9785898161804_177
15. Kondrashova, O. A. (2022). Role of physiotherapy in treating psychoneurological disorders as complications of novel coronavirus infection (COVID-19). *Aktualnyye voprosy sovremennoy nauki i obrazovaniya: sbornik statey XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (pp. 247–250). Penza: Nauka i prosveshchenie (IP Gulyaev G. Yu.).
16. Lekomtseva, E. V. (2021). Sequelae of post-COVID syndrome. *Almanakh molodoy nauki*, *(43)*, 5–6.
17. Lyalina, E. V. (2022). Post-COVID syndrome and restoring organism functionality: nutritiological approach. *Modernizatsiya rossiyskogo obshchestva i obrazovaniya: novyye ekonomicheskiye orientiry, strategii upravleniya, voprosy pravoprimeneniya i podgotovki kadrov: materialy XXIII Natsionalnoy nauchnoj konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* (pp. 753–757). Taganrog: Taganrogskiy institut upravleniya i ekonomiki.
18. Martirosova, T. A. (2022). Rehabilitation after novel coronavirus infection. *Sovershennyye tekhnologii v oblasti abilitatsii i reabilitatsii. Adaptivnaya vershkaya yezda kak sostavnaya chast kompleksnoy reabilitatsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (pp. 102–109). Chita: ZabGU.
19. Golokhvastov, S. Yu., Litvinenko, I. V., Yanishevskiy, S. N., Yakovlev, A. I., Mirnaya, D. A., & Pushkarev, V. A. (2021). Mechanisms of cerebral complica-

tions of novel coronavirus infection. *Izvestiya Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii*, *40*(S4), 20–26.

20. Mikhaylova, A. S. (2020). Approaches to treatment and rehabilitation of patients with post-COVID syndrome (clinical case). *Prakticheskaya pulmonologiya*, *(4)*, 29–33.
21. Yarovaia, L. A., Pilipchuk, N. G., Goncharova, O. G., Moshnyaga, V. B., & Pronina, N. A. (2022). Novel coronavirus infection and its complications in the ambulatory practice of ENT physicians. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, *21*(S2), 26–27.
22. Khokhlov, R. A., Yarmonova, M. V., Tribuntseva, L. V., & Prozorova, G. G. (2022). Features of cardiac lesions in patients with post-COVID syndrome. *Nauchno-meditsinskiy vestnik Tsentralnogo Chernozemya*, *(88)*, 43–50.
23. Mamedova, F. M., Gidaytova, L. A., Taghi-zade, T. G., & Gadzhieva, U. K. (2022). Features of the post-COVID period in children with hypermobility syndrome. *Rossiyskiy pediatritcheskiy zhurnal*, *3*(1)*, 188*.
24. Gorodin, V. N., Mojsova, D. L., Chuprov, I. I., Bakhtina, V. A., & Chernyavskaya, O. V. (2022). Hemostasis evaluation in the post-COVID period. *Infektsionnyye bolezni v sovremennom mire: evolyutsiya, tekushchie i budushchie ugrozy: sbornik trudov XIV Ezhegodnogo Vserossiyskogo Kongressa po infektsionnym boleznjam imeni akademika V. I. Pokrovsogo* (pp. 48–49). Moscow: OOO «Meditsinskoye marketingovoye agentstvo».
25. Perevoschikov, A. N., Umarov, A. Kh., Karasov, I. A., & Popova, N. I. (2021). Pathogenesis of neurological complications of novel coronavirus infection. *Nauchnyye issledovanija v sovremennom mire. Teoriya i praktika: sbornik izbrannykh statey Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii* (pp. 38–41). St. Petersburg: Chastnoye nauchno-obrazovatelnoe uchrezhdenie dopolnitelnogo professionalnogo obrazovaniya Gumanitarnyy natsionalnyy issledovatel'skiy institut «NACRAZVITIE».
26. Vlasova, T. I., Spirina, M. A., Arsent'eva, E. V., Shamrova, E. A., & Sitdikova, A. V. (2021). Pathogenetic mechanisms of neurological post-COVID syndrome and fundamentals of its pathogenetic treatment and prevention (review article). *Izvestiya vyssikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki*, *(60)*, 129–142. https://doi.org/10.21685/2072-3032-2021-4-11
27. Baimukhambetova, D. V., Gorina, A. O., Rumyantsev, M. A., Shikhaleva, A. A., El-Taravi, Ya. A., Bondarenko, E. D., Kapustina, V. A., & Munblit, D. B. (2021). Post-COVID condition in adults and children. *Pulmonologiya*, *31*(5), 562–570. https://doi.org/10.18093/0869-0189-2021-31-5-562-570
28. Abramova, V. D., Korostyshevskaya, A. M., Savelov, A. S., & Shtark, M. B. (2021). Post-COVID neurological syndrome: spectrum of MRI visualizations.

Rossiyskiy elektronnyy zhurnal luchevoy diagnostiki, *11*(4), 7–19. https://doi.org/10.21569/2222-7415-2021-11-4-12-24

29. Belyakov, N. A., Trofimova, T. N., Rassokhin, V. V., Rybakova, M. G., & Vasiliev, V. B. (2021). Post-COVID syndrome — polymorphism of abnormalities in novel coronavirus infection. *VCH-infektsiya i immunosuppressiya*, *13*(4), 7–20. https://doi.org/10.22328/2077-9828-2021-13-4-7-20
30. Kupkenova, L. M., Shamsuitdinova, N. G., Odintsova, A. Kh., Cheremina, N. A., Iskhakova, D. G., & Abdulganieva, D. I. (2022). Post-COVID syndrome in patients with inflammatory bowel diseases. *RMZh. Medicinskoe obozrenie*, *6*(5), 227–231. https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-5-227-231
31. Amirov, N. B., Davletchina, E. I., Vasilyeva, A. G., & Fatykhov, R. G. (2021). Post-COVID syndrome: multisystem deficits. *Bulletin of Clinical Modern Medicine*, *14*(6), 94–104. https://doi.org/10.20969/VSKM.2021.14(6).94-104
32. Aitbaev, K. A., Murkamilov, I. T., Murkamilova, Zh. A., Fomin, V. V., Kudaibergenova, I. O., & Yusupov, F. A. (2021). Post-COVID syndrome: prevalence, clinical spectrum, and challenges for ambulatory service. *Prakticheskaya meditsina*, *19*(5), 15–20. https://doi.org/10.32000/2072-1757-2021-5-15-20
33. Ivanova, A. P., Volobuev, D. K., Anfilova, M. G., Vostrikov, P. P., & Privalova, T. S. (2020). Development of surgical complications in patients with novel coronavirus infection. *Innova*, *(20)*, 25–27.
34. Sabirov, I. S., Mamedova, K. M., Sultonova, M. S., Kozhoeva, M. Z., & Ibadyllaev, B. M. (2021). Role and importance of hypoxic component in the development of complications of novel coronavirus infection (COVID-19). *The Scientific Heritage*, *(62)*, 21–28. https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-62-2-21-28
35. Surikova, N. A. (2021). Prevalence of novel coronavirus infection and its complications in individuals with cardiovascular risk factors. *Almanakh molodoy nauki*, *(43)*, 7–9.
36. Trisvetova, E. L. (2021). Post-COVID syndrome: clinical signs, rehabilitation. *Kardiologiya v Belarusi*, *13*(2), 268–279. https://doi.org/10.34883/PI.2021.13.2.011
37. Trufanov, A. G. (2022). Violations of brain functional connectivity in patients with post-COVID syndrome within the triple network theory. *Izvestiya Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii*, *41*(4), 393–398. https://doi.org/10.17816/rmmar111862
38. Ulikhanyan, K. A. (2022). Impact of post-COVID syndrome on the condition of oral cavity tissues and organs. *Final scientific conference of students of Rostov State Medical University* (pp. 51–52). Rostov-on-Don: Rostov State Medical University.

39. Khanmukhometov, F. O. (2020). Neurological symptoms and complications of novel coronavirus infection (COVID-19) in adults. *Bulletin of Young Scientist*, *9*(3), 101–106.
40. Olimova, F. Z., Klocheva, E. G., & Lobova, N. V. (2021). Cerebrovascular complications of novel coronavirus infection in young and middle-aged individuals. *Journal of Infectology*, *13*(1), 11–18.
41. Chelombitko, E. G. (2022). Systemic manifestations of post-COVID syndrome. *Russian Journal of Environmental and Rehabilitation Medicine*, *(3)*, 48–60.
42. Chernokov, O. I. (2021). Post-COVID syndrome during the COVID-19 pandemic. *Immunopathology, Allergology, Infection*, *(3)*, 105–110. https://doi.org/10.14427/jipai.2021.3.105
43. Elkhanov, R. A. (2022). Psychosomatic influence in post-COVID syndrome. *Innovation Science*, *(4-1)*, 67–69.
44. Garg, P., Arora, U., Kumar, A., & Wig, N. (2021). The "post-COVID" syndrome: How deep is the damage? *Journal of Medical Virology*, *93*(2), 673–674. https://doi.org/10.1002/jmv.26465
45. Kamal, M., Abo Omirah, M., Hussein, A., & Saeed, H. (2020). Assessment and characterization of post-COVID-19 manifestations. *International Journal of Clinical Practice*, *75*(3), 13746. https://doi.org/10.1111/ijcp.13746
46. Zhao, Y. M., Shang, Y. M., Song, W. B., Li, Q. Q., Xie, H., Xu, Q. F., Jia, J., Li, L. M., Mao, H. L., Zhou, X. M., Luo, H., Gao, Y. F., & Xu, A. G. (2020). Follow-up study of the pulmonary function and related physiological characteristics of COVID-19 survivors three months after recovery. *EClinicalMedicine*, *25*, 100463. https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100463
47. Mahase, E. (2022). Long COVID could be four different syndromes, review suggests. *BMJ (Clinical research ed.)*, *371*, m3981. https://doi.org/10.1136/bmj.m3981
48. Greenhalgh, T., Knight, M., A'Court, C., Buxton, M., & Husain, L. (2020). Management of post-acute COVID-19 in primary care. *BMJ (Clinical research ed.)*, *370*, m3026. https://doi.org/10.1136/bmj.m3026

ВКЛАД АВТОРОВ

Безруков С.Г.: разработка концепции научной работы.
Таримов К.О.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.
Харченко В.З.: статистическая обработка.
Ибраимов А.А.: сбор и анализ данных.
Сеитягьяев А.З.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Sergey G. Bezrukov: study conception and design.
Kirill O. Tarimow: study conception, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.
Vladimir Z. Kharchenko: data collection and analysis.
Aider A. Ibraimov: statistical data analysis.
Aziz Z. Seityagyaev: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Безруков Сергей Григорьевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии
КФУ им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация
ph.bezrukov@gmail.com

Таримов Кирилл Олегович, аспирант, кафедры хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии
КФУ им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация
kirito.k@yandex.ru

Харченко Владимир Захарович, доктор биологических наук, профессор кафедры общей и клинической патофизиологии
КФУ им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация
julianashramko@rambler.ru

Ибраимов Айдер Ахтемович, студент кафедры общей и клинической патофизиологии
КФУ им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация
rediarey@bk.ru

Сеитягьяев Азиз Зинурович, студент кафедры общей и клинической патофизиологии

КФУ им. В.И. Вернадского
просп. Вернадского, 4, г. Симферополь, 295007, Российская Федерация
seityagyayev.aziz@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey G. Bezrukov, MD, Professor, Head of the Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation
ph.bezrukov@gmail.com

Kirill O. Tarimow, Postgraduate Student, Department of Surgical Dentistry and Maxillofacial Surgery
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation
kirito.k@yandex.ru

Vladimir Z. Kharchenko, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of General and Clinical Pathophysiology
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation
julianashramko@rambler.ru

Aider A. Ibraimov, Student, Department of General and Clinical Pathophysiology
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation
rediarey@bk.ru

Aziz Z. Seityagyaev, Student, Department of General and Clinical Pathophysiology
V.I. Vernadsky Crimean Federal University
4, Vernadsky Ave., Simferopol, 295007, Russian Federation
seityagyayev.aziz@bk.ru

Поступила 16.02.2024 Received 16.02.2024
После рецензирования 21.07.2024 Revised 21.07.2024
Принята 05.08.2024 Accepted 05.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1361 **EDN: NDNJDF**
УДК 614.256:34.04

CC BY NC ND

Научная статья

МЕДИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ (СОТРУДНИКОВ): СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ И РЕГУЛЯЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ

Д.В. Смирнов, П.Ю. Наумов, А.И. Землин

Аннотация

Состояние вопроса. В связи с происходящими в современных условиях военно-политическими событиями, участием Вооруженных Сил России и иных войск в поддержании международного мира и безопасности на различных театрах военных действий, вопросы действенности различных видов обеспечения военнослужащих выходят на первый план. В условиях, когда большое количество личного состава военнослужащих (сотрудников) привлечено к участию в боевых действиях и выполнению специальных задач, объективно повышается риск воздействия на их здоровье неблагоприятных факторов воинского труда и психотравмирующих событий. В структуре медицинского обеспечения военнослужащих (сотрудников) значимое место занимает медико-психологическая реабилитация, которая призвана восстановить их физическое и психическое здоровье путем организации комплексного воздействия. При этом концептуализация организационных и правовых основ проведения медико-психологической реабилитации в отношении военнослужащих (сотрудников) – актуальная научная задача, поскольку позволяет: обобщить существующие правовые нормы и понять эффективность их функционирования; выявить противоречия и пробелы правового регулирования; консолидировать различные нормативные правовые предписания для упрощения их понимания и практического применения; а также совершенствовать подходы к поддержанию и восстановлению физического, психологического, и, как последствие, социального здоровья военнослужащих и приравненных к ним лиц на различных этапах возрастной периодизации их личности.

Цель исследования. В работе изучаются организационные и нормативно-правовые аспекты медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников), а также раскрыть особенности и перспективы правового регулирования данного феномена.

Материалы и методы исследования. Для познания организационно-правовых основ медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников) в работе применены системный, сравнительно-правовой и комплексный подходы. Применяемыми в исследовании методами явились: аналитические, синтетические, структурно-функциональные, аналого-сравнительные, концептуально-обобщаемые и сравнительные приемы и способы.

Результаты и выводы. По итогам проведенного исследования авторами обобщены ключевые нормативные акты, регулирующие прохождение (проведение) медико-психологической реабилитации военнослужащими (сотрудниками). Обоснован алгоритм организации медико-психологической реабилитации и её соотношение с медицинской реабилитацией и санаторно-курортным лечением. Отмечены направления совершенствования законодательства в области медико-психологической реабилитации и проведения реабилитационных отпусков. Основные научные результаты будут полезны профессорско-преподавательскому составу вузов, организаторам здравоохранения, исследователям военного и медицинского права, личному составу военно-политических органов, юридических и медицинских служб различных силовых структур Российской Федерации.

Ключевые слова: медицинская реабилитация; медицинское обеспечение; санаторно-курортное лечение; медицинская экспертиза; отдых; восстановление боеспособности; медицинское освидетельствование; психологическое состояние; медико-психологическая реабилитация; реабилитационный отпуск

Для цитирования. Смирнов, Д. В., Наумов, П. Ю., & Землин, А. И. (2025). Медико-психологическая реабилитация военнослужащих (сотрудников): современные организационные тренды и регуляционные аспекты. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 437-460. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1361

Original article

MEDICAL AND PSYCHOLOGICAL REHABILITATION OF MILITARY SERVICEMEN (EMPLOYEES): MODERN ORGANIZATIONAL TRENDS AND REGULATORY ASPECTS

D.V. Smirnov, P.Yu. Naumov, A.I. Zemlin

Abstract

Background. In connection with the military-political events taking place in modern conditions, the participation of the Russian Armed Forces and other troops

in maintaining international peace and security in various theaters of operations, the issues of the effectiveness of various types of support for military personnel come to the fore. In conditions where a large number of military personnel (employees) are involved in combat operations and the performance of special tasks, the risk of exposure to adverse factors of military labor and psycho-traumatic events on their health is objectively increased. In the structure of medical support for military personnel (employees), a significant place is occupied by medical and psychological rehabilitation, which is designed to restore the physical and mental health of military personnel through the organization of a complex impact. At the same time, the conceptualization of the organizational and legal foundations for conducting medical and psychological rehabilitation in relation to military personnel (employees) is an urgent scientific task, since it allows: to generalize the existing legal norms and understand the effectiveness of their functioning; identify contradictions and gaps in legal regulation; consolidate various regulatory legal requirements to simplify their understanding and practical application; as well as to improve approaches to maintaining and restoring the health of servicemen and persons equated to them.

Purpose. The work examines the organizational and regulatory aspects of medical and psychological rehabilitation of military personnel (employees), as well as the prospects for further knowledge of this phenomenon.

Materials and methods. For effective knowledge of the essence and organizational and legal foundations of the medical and psychological rehabilitation of military personnel (employees), systemic, comparative legal and integrated approaches are used in the work. The methods used in the study were: analytical, synthetic, structural-functional, analog-comparative, conceptual-generalized and comparative techniques and methods.

Results and conclusions. Based on the results of the study, the authors summarized the key regulations governing the passage (conduct) of medical and psychological rehabilitation by military personnel (employees). The algorithm for organizing medical and psychological rehabilitation and its relationship with medical rehabilitation and sanatorium treatment are substantiated. Directions for improving legislation in the field of medical and psychological rehabilitation and conducting rehabilitation holidays are noted. The main scientific results will be useful to university teaching staff, healthcare organizers, researchers of military and medical law, personnel of military-political bodies, legal and medical services of various law enforcement agencies of the Russian Federation.

Keywords: medical rehabilitation; medical support; spa treatment; military medical expertise; recreation; medical examination; military medical organization; medical and psychological rehabilitation; rehabilitation leave

For citation. Smirnov, D. V., Naumov, P. Yu., & Zemlin, A. I. (2025). Medical and psychological rehabilitation of military servicemen (employees): modern organizational trends and regulatory aspects. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 437–460. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1361

Введение

Нарастание внутренних и внешних угроз Российской Федерации, дестабилизация существующей системы международных отношений, деструктурирование миропорядка, слом сложившегося всемирного и регионально-внутреннего правопорядка наглядно меняет архитектуру политической и социальной реальности [6; 36]. Фактически произошел коренной сдвиг практического функционирования утвержденной системы международного права в отношении Российской Федерации [30]. Это детерминирует необходимость поддержания Вооруженных Сил Российской Федерации, иных войск и правоохранительных органов в состоянии повышенной готовности к защите суверенитета и территориальной целостности [46; 48].

Военнослужащие, проходящие военную службу по контракту, и сотрудники в ходе служебной деятельности подвергаются воздействию различных психотравмирующих и подрывающих здоровье факторов [47]. Воздействие указанных факторов на жизнь, здоровье, психику и эмоциональное состояние военнослужащих необходимо предотвращать, минимизировать или восстанавливать психическое и физическое здоровье после их действия [35].

Когда большое количество личного состава военнослужащих (сотрудников) привлечено к участию в боевых действиях и выполнению специальных задач, объективно повышается риск воздействия на их здоровье неблагоприятных факторов воинского труда и психотравмирующих событий. Поэтому в структуре медицинского обеспечения военнослужащих (сотрудников) значимое место занимает медико-психологическая реабилитация, которая призвана восстановить их физическое и психическое здоровье путем организации комплексного воздействия на личность в условиях, благоприятных для отдыха и восстановления работоспособности.

Право на охрану здоровья, является социальной ценностью и конституционным правом военнослужащих (сотрудников) [2; 10]. При этом концептуализация организационных и правовых основ проведения медико-психологической реабилитации в отношении военнослужащих (сотрудников) – актуальная научная задача, решение которой позволяет: обобщить существующие правовые нормы и понять эффективность их функционирования; выявить противоречия и пробелы правового регули-

рования; консолидировать различные нормативные правовые предписания для упрощения их понимания и практического применения; а также совершенствовать подходы к поддержанию и восстановлению здоровья военнослужащих и приравненных к ним лиц.

Материалы и методы

Для изучения актуального состояния организационных и правовых характеристик медико-психологической реабилитации на современном этапе авторами применены сравнительно-правовой и системный подходы, функциональный анализ, теоретическое обобщение, метод концептуализации, аналогия понятий и терминов, метод сравнения правовых норм, философская абстракция, дедуктивные эпистемологические приемы и экспертный отбор проблемных компонентов исследуемой темы.

Порядок проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников) правоохранительных органов уже являлись предметом специального познания в научной литературе. Теоретико-информационной и методологической основой настоящей статьи выступили значимые работы следующих авторов: С.А. Бая [1], И.В. Бухтиярова [3], В.С. Вовкодава [5], А.В. Ганишева [8], М.Ф. Гацко [9], С.В. Долгих [11], И.В. Душкина [12], В.Е. Житловского [13], Е.В. Жовнерчук [14], В.П. Зайцева [15], Е.Г. Ичитовкиной [16], В.А. Каленова [17], С.А. Колова [18], Е.В. Куричковой [19], В.Н. Кусова [20], Е.Н. Лозовой [21], С.С. Меметова [22], А.А. Мохова [23; 24], А.М. Семонюка [37], Ю.Д. Сергеева [38; 39], А.А. Согияйнена [40; 41], Н.А. Сюриса [42], А.Я. Фисуна [43], И.В. Холикова [44; 45], С.В. Чермянина [49], А.Л. Чаплюка [50], а также авторские разработки, выступившие предметным ориентиром для разработки выбранной тематики [2; 7; 25-29].

К настоящему времени медико-психологическая реабилитация военнослужащих (сотрудников) остается неизученным феноменом, так как работ концептуального характера, освещающих современное его состояние, организации осуществления, программных документов, ее регулирующих, в научной литературе имеются единицы [4; 15; 34]. Это ставит вопросы познания современного состояния правового регулирования организации и проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников).

Основная часть

Синкретической правовой основой организации и осуществления медико-психологической реабилитации в России на федеральном уровне являются нормативные предписания в отношении:

а) *военнослужащих* – статьи 17.1 Федерального закона от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне», статьи 25 Федерального закона от 21 ноября 2013 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», статьи 16 Федерального закона от 27 мая 1998 г. № 76-ФЗ «О статусе военнослужащих», части 2 статьи 28 Федерального закона от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии Российской Федерации»;

б) *сотрудников органов внутренних дел* – статьи 45 Федерального закон от 7 февраля 2011 г. № 3-ФЗ «О полиции», части 11 статьи 11 Федерального закона от 19 июля 2011 г. № 247-ФЗ «О социальных гарантиях сотрудникам органов внутренних дел Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

в) *сотрудников войск национальной гвардии Российской Федерации* – части 11 статьи 11 Федерального закона от 19 июля 2011 г. № 247-ФЗ «О социальных гарантиях сотрудникам органов внутренних дел Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и части 4 статьи 28 Федерального закона от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии Российской Федерации»;

г) *сотрудников органов принудительного исполнения, сотрудников органов уголовно-исполнительной системы, сотрудников федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и сотрудников таможенных органов* – части 10 статьи 10 Федерального закона от 30 декабря 2012 г. № 283-ФЗ «О социальных гарантиях сотрудникам некоторых федеральных органов исполнительной власти и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», постановление Правительства Российской Федерации от 24 апреля 2019 г. № 492 «О медико-психологической реабилитации сотрудников, имеющих специальные звания и проходящих службу в учреждениях и органах уголовно-исполнительной системы Российской Федерации, органах принудительного исполнения Российской Федерации, федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и таможенных органах Российской Федерации» (далее – Правила медико-психологической реабилитации сотрудников).

Совсем недавно конструктивным преобразованиям в области медико-психологической реабилитации военнослужащих подвергнута статья 20 Устава внутренней службы Вооруженных Сил Российской Федерации, утвержденного Указом Президента Российской Федерации от 10 ноября 2007 г. № 1495 (далее – Устав внутренней службы), где прохождение названной реабилитации вменено в обязанность военнослужащих в целях

реализации на практике заботы о состоянии своего здоровья, его поддержания и восстановления после воздействия негативных факторов воинского труда. Уточненные предписания, содержащиеся в статье 20 Устава внутренней службы, даны в редакции Указа Президента России 12 июля 2021 г. № 415.

Касаясь требований по нормативному регулированию организации медико-психологической реабилитации, также следует отметить, что в 2021 году Указом Президента России от 1 февраля 2021 г. № 63, с целью совершенствования установленных норм, регулирующих организацию медицинского обеспечения профессиональной деятельности военнослужащих, касающихся организации и осуществления медико-психологической реабилитации, внесены комплексные изменения в Устав внутренней службы, где в главу № 8 «Охрана здоровья военнослужащих» внесен раздел «Медицинское обеспечение военнослужащих». В ней введены статьи 342.1 и 342.2 посвященные медико-психологической реабилитации. В статье 342.2 службы определено, что военнослужащие после выполнения ими задач, неблагоприятно отражающихся на состоянии здоровья, при наличии показаний к медико-психологической реабилитации подлежат медико-психологической реабилитации продолжительностью до 30 суток. Медико-психологическая реабилитация может проводиться в условиях, в которых проводится медицинская помощь (амбулаторных условиях, в условиях дневного стационара и в стационарных условиях). Реализацию мероприятий медико-психологической реабилитации осуществляют санаторно-курортные организации и соответствующие центры по её проведению.

Рассматривая ведомственные нормативные правовые акты в области организации и проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников), стоит обратить внимание на приказ Минобороны России от 27.01.2017 № 60 «О медико-психологической реабилитации военнослужащих», приказ Росгвардии от 15.06.2018 № 204 «Об утверждении Перечня показаний к медико-психологической реабилитации и соответствующей им продолжительности медико-психологической реабилитации, Перечня категорий военнослужащих войск национальной гвардии Российской Федерации и лиц, проходящих службу в войсках национальной гвардии Российской Федерации и имеющих специальные звания полиции, подлежащих при наличии показаний медико-психологической реабилитации, а также Порядка и мест проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих войск национальной гвардии Российской Федерации и лиц, проходящих службу в войсках национальной гвардии

Российской Федерации и имеющих специальные звания полиции», приказ МВД России от 10.01.2012 № 5 «О медико-психологической реабилитации сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации», приказ ФСБ России от 22.11.2012 № 589 «Об утверждении Инструкции об организации санаторно-курортного обеспечения в органах федеральной службы безопасности», приказ ГУСП от 17.01.2019 № 8 «Об утверждении Перечня показаний к медико-психологической реабилитации и соответствующей им продолжительности медико-психологической реабилитации, Перечня категорий военнослужащих Главного управления специальных программ Президента Российской Федерации, подлежащих при наличии показаний медико-психологической реабилитации, а также Порядка и мест проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих Главного управления специальных программ Президента Российской Федерации», приказ МВД РСФСР от 04.02.1991 № 14 «О мерах по медико-психологической реабилитации работников органов внутренних дел».

В целом медико-психологическая реабилитация представляет собой организованный комплекс мероприятий медико-психологической помощи, направленный на восстановление энергетических ресурсов человека ввиду воздействия неблагоприятных факторов профессиональной деятельности.

Данный комплекс включает в себя изучение и оценку актуального психофизиологического состояния человека, разработку индивидуальной программы восстановления и реабилитации в специально организованных условиях, способствующих динамическому отслеживанию целесообразности реализации тех или иных мероприятий медицинского и психологического характера.

Любая профессиональная деятельность, в которую включен человек, оставляет свой след в структуре развития профессионально важных для профессии качеств личности. Поэтому важным при направлении человека на медико-психологическую реабилитацию является выставление соответствующего диагноза, который складывается из результатов медицинских наблюдений (обследований), изучения медицинского, психологического и социального анамнеза человека, процесса формирования его психологических особенностей до включения в профессиональную (служебную) деятельность, и в период ее осуществления в различных условиях обстановки, включая участие в боевых действиях, что носит характер экстремального стресса, приводящего к формированию различных посттравматических расстройств. Здесь необходимость определения правильных выводов и заключений соответствующими специалистами организаций обуславливается

сложностью формирования психических состояний, которые могут быть отсрочены во времени и динамически подвержены постоянной верификации.

Перечень военнослужащих и сотрудников, направляемых на медико-психологическую реабилитацию, а также перечень оснований для ее назначения многообразен и различен по своему смыслу и содержанию. Как правило, к ним относится тот личный состав, который выполнял служебные (служебно-боевые, оперативно-боевые) задачи в ходе боевых действий, боевого дежурства, испытывал физиологические и психологические перегрузки, выполнял задачи в соответствии с Федеральным конституционным законом от 30.01.2002 № 1-ФКЗ «О военном положении», Федеральным конституционным законом от 30.05.2001 № 3-ФКЗ «О чрезвычайном положении», Федеральным законом от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», Федеральным законом от 31.05.1996 № 61-ФЗ «Об обороне», Федеральным законом от 06.03.2006 № 35-ФЗ «О противодействии терроризму», Федеральным законом от 10.01.1996 № 5-ФЗ «О внешней разведке», Федеральным законом от 25.07.2002 № 114-ФЗ «О противодействии экстремистской деятельности», Федеральным законом от 20 августа 2004 г. № 119-ФЗ «О государственной защите потерпевших, свидетелей и иных участников уголовного судопроизводства», Федеральным законом от 20.04.1995 № 45-ФЗ «О государственной защите судей, должностных лиц правоохранительных и контролирующих органов».

В Вооруженных Силах Российской Федерации основными показаниями к направлению и проведению медико-психологической реабилитации является выявленное по итогам медицинского и психологического обследования общее состояние здоровья военнослужащего, включающее оценку степени утомления и уровня боеспособности (работоспособности), а также интерпретацию результатов психологического обследования. Периодичность медико-психологической реабилитации составляет 10, 20 и 30 суток в зависимости от уровня и актуального состояния индивидуальных личностных особенностей, признаков утомления, наличия стрессовых состояний и проявлений различных заболеваний (состояний) на основании решения врачебной комиссии военно-медицинской организации. Медико-психологическая реабилитация военнослужащих проводится по территориальному принципу в санаторно-курортных организациях, на базах и в домах отдыха Минобороны России (в отдельных случаях воинских частях).

В войсках национальной гвардии Российской Федерации показаниями к направлению на медико-психологическую реабилитацию является на-

личие у военнослужащих (сотрудников) психологических и медицинских признаков, свидетельствующих о неблагоприятных изменениях психофизиологического состояния здоровья в результате воздействия факторов служебной деятельности. В этих целях проводится медицинское освидетельствование, которое позволяет изучить истинное состояние всех систем человеческого организма, основных механизмов его взаимодействия с окружающей средой [42]. При этом одним из важных направлений в изучении выступает психологическая составляющая, так как она задает основной вектор формирования всех личностных особенностей человека на протяжении всей жизни, его способностей, навыков и умений в рамках реализации трудовой деятельности и, как следствие, под воздействием негативных факторов окружающей среды может в значительной степени влиять на процесс проявления у него различных патологий.

Здесь важным инструментом в изучении социально-психологического анамнеза военнослужащего (сотрудника) выступает профессиональный психологический отбор, который изначально определяет степень соответствия индивидуальных психологических особенностей человека требованиям предстоящей профессиональной деятельности [43]. В ходе медицинского освидетельствования актуального состояния здоровья военнослужащего (сотрудника) в учет обязательно берутся результаты психодиагностических исследований, полученные в ходе прохождения мероприятий профессионального психологического отбора как первичных, при поступлении на военную службу (службу), так и мероприятий психологического сопровождения в ходе служебной деятельности. Основным элементом рассмотрения для специалиста в данном контексте выступает категория профессиональной психологической пригодности военнослужащего (сотрудника), которая изначально показывает динамику формирования его профессионально-важных качеств в структуре личностного становления и позволяет прогнозировать успешность выполнения им профессиональных задач трудовой деятельности [44].

По результатам комплексного изучения медицинского и социально-психологического анамнеза военно-врачебной комиссией принимается решение о направлении военнослужащего (сотрудника) в ведомственные реабилитационные организации для прохождения медико-психологической реабилитации.

Продолжительность проведения медико-психологической реабилитации установлена в количестве 14, 21 и 30 суток в зависимости от результатов изучения и оценки психофизиологического состояния, а также наличия показаний к ее проведению.

Медико-психологическая реабилитация сотрудников МВД России может проводиться в кабинетах психологической регуляции органов и подразделений внутренних дел, в центрах реабилитации (специализированных реабилитационных подразделениях) медико-санитарных организаций системы МВД России, в санаторно-курортных организациях.

Решение о нуждаемости сотрудников МВД России в медико-психологической реабилитации принимается врачебной комиссией амбулаторно-поликлинического подразделения медико-санитарной организации по результатам медицинского осмотра и психофизиологического обследования не позднее пяти суток после завершения обследования сотрудника.

В свою очередь, решение о нуждаемости в прохождении медико-психологической реабилитации сотрудников, имеющих специальные звания и проходящих службу в учреждениях и органах уголовно-исполнительной системы Российской Федерации, органах принудительного исполнения Российской Федерации, федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и таможенных органах Российской Федерации, осуществляется врачебной комиссией по месту прикрепления сотрудника на медицинское обеспечение.

Порядок направления и проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих ФСБ России является сведениями ограниченного распространения, поскольку регулируется приказом ФСБ России от 24 сентября 2009 г. № 488 «О медико-психологической реабилитации военнослужащих органов федеральной службы безопасности», текст которого не приводится, потому в настоящем исследовании содержательные особенности данного документа рассмотрению не подлежат. При этом нормы статьи 25 Федерального закона от 21 ноября 2013 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» и статьи 16 Федерального закона от 27 мая 1998 г. № 76-ФЗ «О статусе военнослужащих», регулирующие общий порядок проведения медико-психологической реабилитации, распространяется и на военнослужащих, являющихся сотрудниками названных органов.

Стоимость проезда к месту проведения медико-психологической реабилитации и обратно, как и самой реабилитации, подлежит оплате за счет средств федерального бюджета и на военнослужащих (сотрудников) не возлагается. Также стоит выделить и то обстоятельство, что в соответствии со статьей 26 Федерального закона «О статусе военнослужащих» прохождение медико-психологической реабилитации при наличии показаний к ее проведению является обязанностью военнослужащего, за

неисполнение или ненадлежащее исполнение которой он может быть привлечен к различным видам юридической ответственности исходя из характера и тяжести совершенного правонарушения.

Обсуждения

Для возникновения права и предоставления военнослужащему (сотруднику) медико-психологической реабилитации необходимо, чтобы он выполнял (исполнял) служебные обязанности (обязанности военной службы) в определенных и, как правило, особых (отличных от нормальных и определенных соответствующим органом) условиях (боевая служба, борьба с терроризмом, участие в вооруженных конфликтах).

В период осуществления мероприятий медико-психологической реабилитации ведется медицинская документация о ходе и результатах ее проведения, выписка из которой вручается военнослужащему (сотруднику).

В качестве основного вывода по итогам проведенного исследования хотелось бы отметить, что порядок, правила, алгоритм и проблемные вопросы, связанные как с правом на медико-психологическую реабилитацию военнослужащих, так и с технологией практической реализации указанного права, получили свое отражение в федеральном законодательстве и ведомственной нормативной правовой базе. Здесь следует отметить, что, в отличие от Федеральных законов «О статусе военнослужащих» и «О социальных гарантиях сотрудникам органов внутренних дел Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» не содержит как порядка, так и понятия медико-психологической реабилитации, что можно поставить в упрек законодателю за несогласованность столь важных для практики правовых норм.

Для практической реализации права военнослужащих (сотрудников) на медико-психологическую реабилитацию существующие нормативные правовые основы выполняют необходимые регуляционные, нормативные, предписывающие и консолидационные функции, позволяющие реально предоставлять данную социальную гарантию в случаях, установленных законодательством по медицинским и психологическим показаниям.

Заключение

Для совершенствования регулирования процедуры направления и проведения медико-психологической реабилитации законодателю стоит рассмотреть вопрос определения порядка и условий предоставления ме-

дико-психологической реабилитации военнослужащим (сотрудникам), соответствующих федеральных органов исполнительной власти, постоянно выполняющих задачи с оружием: по охране общественного порядка и обеспечению общественной безопасности; выполнения задач в составе нарядов и караулов; охране важных государственных объектов и специальных грузов, сооружений на коммуникациях или решения иных задач. Актуальным направлением дальнейшей деятельности в области совершенствования медико-психологической реабилитации является разработка клинических рекомендаций и утверждения гарантированного объема её оказания.

Также законодателю стоит в перечне работ (услуг), составляющих медицинскую деятельность, утвержденным Положением о лицензировании медицинской деятельности, предусмотреть, помимо медицинской реабилитации, и медико-психологическую реабилитацию.

Поскольку в отдельных государственных органах (МВД России, ФССП, ФСИН России и других) медико-психологическая реабилитация проводится на основании соответствующих решений врачебных комиссий, целесообразно было бы внести изменения в приказ Минздравсоцразвития России от 05.05.2012 № 502н «Об утверждении порядка создания и деятельности врачебной комиссии медицинской организации» в целях наделения полномочиями врачебных комиссий по принятию решений о проведении медико-психологической реабилитации военнослужащих (сотрудников).

Повышение эффективности правового регулирования медико-психологической реабилитации может быть основано при условии правотворцев готовности к организации и осуществлению правотворческой деятельности [31-33].

Одним из актуальных направлений совершенствования законодательства в области проведения медико-психологической реабилитации может служить принятие изменений в Федеральный закон «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» с целью легитимации и легализации определения понятия «медико-психологическая реабилитация», а также установления возможности на прохождение медико-психологической реабилитации военнослужащих и приравненных к ним по медицинскому обеспечению лиц статьей 25 названного нормативного правового акта.

Список литературы

1. Бай, С. А., Демеев, Я. А., Скачков, О. А., & др. (2022). Особенности проведения медико-психологической реабилитации военнослужащих подводных лодок после дальнего морского похода. *Военно-медицинский журнал*, *343*(11), 59–66. https://doi.org/10.52424/00269050_2022_343_11_59

2. Большакова, В. М., Холиков, И. В., & Наумов, П. Ю. (2022). Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(1), 103–127. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127
3. Бухтияров, И. В., Холиков, И. В., Большакова, В. М., & Наумов, П. Ю. (2023). Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России»). *Медицина труда и промышленная экология*, *63*(1), 67–73. https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73
4. Бухтояров, О. В., Таубаева, А. П., & Чванова, Ю. О. (2015). Медико-психологическая реабилитация сотрудников уголовно-исполнительной системы. *Ведомости уголовно-исполнительной системы*, *(158)*, 5–7.
5. Вовкодав, В. С., Годило-Годлевский, В. А., & Чурилов, Ю. К. (2019). Сравнительная оценка эффективности различных комплексов медицинской реабилитации лётного состава с вегетативной дисфункцией сердечно-сосудистой системы. *Военно-медицинский журнал*, *340*(7), 62–67.
6. Гаврилов, С. О., Глебов, И. Н., & Чукин, С. Г. (2022). Право в точке бифуркации: обсуждение концептуального исследования военных проблем международного права. *Государство и право*, *(12)*, 59–67. https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2
7. Гайдамашко, И. В., Наумов, П. Ю., & Дьячков, А. А. (2023). Потенциал монографии «Военное право» в обучении будущего военного юриста и развитии его личности. *Государство и право*, *(5)*, 68–79. https://doi.org/10.31857/S102694520025198-8
8. Ганишев, А. В., & Коньков, А. В. (2015). Методологические аспекты военно-врачебной экспертизы в органах внутренних дел Российской Федерации. *Медицинский вестник МВД*, *(76)*, 8–14.
9. Гацко, М. Ф. (2009). О порядке реализации военнослужащими права на медико-психологическую реабилитацию. *Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение*, *(148)*, 42–45.
10. Глушаченко, С. Б., & Зелепукин, Р. В. (2023). Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трехтомную монографию «Военное право»). *Мир транспорта*, *21*(1), 134–137. https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16
11. Долгих, С. В., Ковлен, Д. В., & Кирсанова, А. А. (2022). Персонализированная медико-психологическая реабилитация военнослужащих в военных санаторно-курортных организациях. *Современные проблемы науки и образования*, *(2)*, 102. https://doi.org/10.17513/spno.31589

12. Душкин, И. В. (2012). Медико-психологическая реабилитация военнослужащих: историко-правовой аспект и проблемы реализации. *Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение*, *(184)*, 30–33.
13. Житловский, В. Е., Лайшева, О. А., & Тохтиева, Н. В. (2021). Опыт преподавания основ медико-психологической реабилитации в курсе «Реабилитация, спортивная медицина и физическая культура». *Методология и технология непрерывного профессионального образования*, *(5)*, 54–62. https://doi.org/10.24075/MTCPE.2021.005
14. Жовнерчук, Е. В., Жовнерчук, И. Ю., Богдасаров, Ю. В., & Двинских, М. В. (2018). Медико-психологическая реабилитация сотрудников органов внутренних дел (современное состояние проблемы). *Медицина труда и промышленная экология*, *(2)*, 6–10.
15. Зайцев, В. П. (2013). Медико-психологическая реабилитация больных и инвалидов. *Терапевтический архив*, *85*(10), 105–110.
16. Ичитовкина, Е. Г., Злоказова, М. В., & Соловьев, А. Г. (2013). Эффективность медико-психологической реабилитации комбатантов. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*, *113*(5), 42–47.
17. Каленов, В. А., & Шильникова, Н. Ф. (2012). Организация медико-психологического сопровождения и реабилитации сотрудников внутренних дел, участников боевых действий. *Забайкальский медицинский вестник*, *(2)*, 160–169.
18. Колов, С. А. (2009). Интеграция биопсихосоциального подхода в медико-психологическую реабилитацию и психотерапию ветеранов боевых действий. *Вестник психотерапии*, *(34)*, 17–26.
19. Куричкова, Е. В., & Штумф, В. О. (2019). Критерии эффективности 10-дневной программы медико-психологической реабилитации для специалистов МЧС России. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*, *(3)*, 5–14. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2019-0-3-05-14
20. Кусов, В. Д., & Блощинский, И. А. (2007). Принципы психофизиологической коррекции как основа медико-психологической реабилитации. *Вестник психотерапии*, *(27)*, 89–91.
21. Лозовая, Е. Н., & Покацкий, Б. А. (2023). Значение медико-психологической реабилитации военнослужащих и ветеранов боевых действий в современных условиях. *Труды Братского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки*, *(1)*, 53–55.
22. Меметов, С. С., Силенко, Л. В., Погосян, Г. Э., & Потапов, В. Н. (2017). Медицинская экспертиза: состояние, перспективы, проблемы. *Вестник Все-*

российского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии, *(2)*, 5–9.

23. Мохов, А. А. (2017). Медицинское право России как учебная дисциплина в системе подготовки юристов. *Юридическое образование и наука*, *(5)*, 3–7. https://doi.org/10.18572/1813-1190-2017-5-3-7
24. Мохов, А. А. (2021). Принципы правового регулирования государственной модели национального здравоохранения. *Актуальные проблемы российского права*, *16*(3), 85–96. https://doi.org/10.17803/1994-1471.2021.124.3.085-096
25. Наумов, П. Ю., Большакова, В. М., Землин, А. И., & Холиков, И. В. (2021). Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(6), 283–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306
26. Наумов, П. Ю., & Холиков, И. В. (2023). Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(1), 474–493. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493
27. Наумов, П. Ю., Баранова, Н. Н., Холиков, И. В., & Купцов, С. А. (2023). Комплексное исследование правовых основ и проблемных вопросов оказания первой помощи военнослужащим (военнослужащими). *Медицина катастроф*, *(3)*, 57–64. https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64
28. Наумов, П. Ю. (2023). Социальные функции частных военных компаний в условиях трансформации современного миропорядка. *Пути к миру и безопасности*, *(65)*, 207–218. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218
29. Наумов, П. Ю., Шепель, Р. Н., & Холиков, И. В. (2023). Оказание военнослужащим первичной медико-санитарной помощи: правовое регулирование и проблемные аспекты. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, *22*(S9), 46–56. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885
30. Наумов, П. Ю., Захарцев, С. И., Холиков, И. В., & Большакова, В. М. (2023). Ценность права и правовые ценности в глобализующемся мире (аксиологический обзор книги «Государство и право: права человека и мировой порядок, основанный на верховенстве права»). *Государство и право*, *(9)*, 64–72. https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5
31. Наумова, Л. Ю. (2022). Концептуализация критериев оценки сформированности готовности будущих юристов к правотворческой деятельности. *Russian Journal of Education and Psychology*, *13*(1), 101–112. https://doi.org/10.12731/2658-4034-2022-13-1-101-112

32. Наумова, Л. Ю. (2023). Сущностное обобщение результатов эмпирического исследования по формированию готовности будущих юристов к правотворческой деятельности. *Russian Journal of Education and Psychology*, *14*(3), 86–105. https://doi.org/10.12731/2658-4034-2023-14-3-86-105
33. Наумова, Л. Ю., & Повшедная, Ф. В. (2022). Основания и структура готовности будущих юристов к правотворческой деятельности. *Психолого-педагогический поиск*, *(64)*, 176–185. https://doi.org/10.37724/RSU.2022.64.4.019
34. Николаев, К. Н., Зубрицкий, В. Ф., & Колтович, А. П. (2018). Профилактика венозных тромбоэмболических осложнений при боевой огнестрельной травме. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*, *(9)*, 82–86. https://doi.org/10.17116/hirurgia2018090182
35. Новиков, Н. С., Наумов, П. Ю., & Утюганов, А. А. (2022). Физическое и психическое здоровье военнослужащих как социально-правовая ценность. *Актуальные проблемы государства и права*, *6*(3), 450–458. https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-3-450-458
36. Савенков, А. Н., & Кудашкин, А. В. (2021). Военное право: постановка проблемы и пути решения. *Государство и право*, *(4)*, 7–34.
37. Семонюк, А. М. (2022). Возможности современной гипнотерапии в коррекции и реабилитации ментального здоровья сотрудников силовых структур. В сборнике: *Актуальные проблемы психологической практики в силовых структурах: ментальное здоровье и условия его сохранения* (с. 257–261). Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского.
38. Сергеев, Ю. Д., & Милушин, М. И. (2003). О теоретических основах и концепции национального медицинского права. *Юридическое образование и наука*, *(4)*, 29–34.
39. Сергеев, Ю. Д., & Акимцева, Г. В. (2005). Об изменении законодательства по лицензированию и некоторых процедурных вопросах организации работы органов, лицензирующих медицинскую деятельность. *Социальное и пенсионное право*, *(2)*, 23–25.
40. Согияйнен, А. А., Щепин, В. О., Тельнова, Е. А., & Чичерин, Л. П. (2017). Актуальные правовые и организационные проблемы лицензирования военно-врачебной экспертизы. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*, *25*(5), 290–294. https://doi.org/10.18821/0869-866X-2017-25-5-290-294
41. Согияйнен, А. А. (2017). Медицинская и медико-психологическая реабилитация в системе медицинского обеспечения военнослужащих: методологические и организационные аспекты. *Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение*, *(239)*, 23–29.

42. Сюрис, Н. А. (2022). Эффективность психофизиологической коррекции в медико-психологической реабилитации военнослужащих. *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*, *99*(3-2), 184–185.
43. Фисун, А. Я., Щегольков, А. М., Юдин, В. Е., & Пономаренко, Т. Н. (2014). Медицинская реабилитация в Вооруженных силах: истоки, современное состояние и перспективы. *Военно-медицинский журнал*, *335*(8), 4–15.
44. Холиков, И. В. (2018). Гуманитарная роль Российской военной медицины на международном и национальном уровнях. *Пути к миру и безопасности*, *(54)*, 197–206. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2018-1-197-206
45. Холиков, И. В. (2020). Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности. *Пути к миру и безопасности*, *(59)*, 27–40. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40
46. Холиков, И. В., Милованович, А., & Наумов, П. Ю. (2022). Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход. *Журнал российского права*, *26*(11), 132–148. https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122
47. Холиков, И. В., Наумов, П. Ю., Большакова, В. М., & др. (2022). Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения. *Уголь*, *(1159)*, 66–71. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671
48. Холиков, И. В., Большакова, В. М., Наумов, П. Ю., & Зелепукин, Р. В. (2022). Ценности и смыслы главного судебного акта XX века: аксиологические концепты книги А.Н. Савенкова «Нюрнберг: Приговор во имя мира» (Материалы дискуссии). *Государство и право*, *(10)*, 51–62. https://doi.org/10.31857/S1026945200217887
49. Чермянин, С. В., Назаров, С. С., & Кобрянова, И. В. (2020). Медико-психологическая реабилитация военных моряков после длительного морского похода. *Известия Российской военно-медицинской академии*, *39*(S3-4), 290–293.
50. Чурилов, Ю. К., Чаплюк, А. Л., Бровкин, С. Г., & Вовкодав, В. С. (2018). Из истории военно-врачебной экспертизы в России. *Военно-медицинский журнал*, *339*(4), 69–77.

References

1. Bay, S. A., Demeev, Y. A., Skachkov, O. A., et al. (2022). Features of conducting medical and psychological rehabilitation of submarine crew members after a distant sea voyage. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, *343*(11), 59–66. https://doi.org/10.52424/00269050_2022_343_11_59

2. Bolshakova, V. M., Holikov, I. V., & Naumov, P. Yu. (2022). Medical support of the judicial system of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *14*(1), 103–127. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127
3. Bukhtiyorov, I. V., Holikov, I. V., Bolshakova, V. M., & Naumov, P. Yu. (2023). Experience of conceptualization of military aspects of medical law (discussion of Chapter 14 of the textbook "Medical Law of Russia"). *Meditsina truda i promyslennaya ekologiya*, *63*(1), 67–73. https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73
4. Bukhtoyarov, O. V., Taybaeva, A. P., & Chvanova, Y. O. (2015). Medical and psychological rehabilitation of employees of the penal enforcement system. *Vedomosti ugolovno-ispolnitel'noy sistemy*, *(158)*, 5–7.
5. Vovkodav, V. S., Godilo-Godlevsky, V. A., & Churilov, Y. K. (2019). Comparative evaluation of the effectiveness of various medical rehabilitation programs for flight personnel with vegetative dysfunction of the cardiovascular system. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, *340*(7), 62–67.
6. Gavrilov, S. O., Glebov, I. N., & Chukin, S. G. (2022). Law at the point of bifurcation: discussion of a conceptual study of military issues of international law. *State and Law*, *(12)*, 59–67. https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2
7. Gaidamashko, I. V., Naumov, P. Yu., & Dyachkov, A. A. (2023). Potential of monograph "Military Law" in educating future military lawyers and developing their personality. *State and Law*, *(5)*, 68–79. https://doi.org/10.31857/S102694520025198-8
8. Ganishev, A. V., & Konkov, A. V. (2015). Methodological aspects of military medical examination in internal affairs bodies of the Russian Federation. *Medical Herald of the Interior Ministry*, *(76)*, 8–14.
9. Gazko, M. F. (2009). Procedure for realization of the right of soldiers to medical and psychological rehabilitation. *Law in Armed Forces – Military Legal Review*, *(148)*, 42–45.
10. Glushachenko, S. B., & Zelepukin, R. V. (2023). Military legal knowledge for future transport industry workers (review of three-volume monograph "Military Law"). *Mir transportsa*, *21*(1), 134–137. https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16
11. Dolgikh, S. V., Kovlen, D. V., & Kirsanova, A. A. (2022). Personalized medical and psychological rehabilitation of military personnel in military resort organizations. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, *(2)*, 102. https://doi.org/10.17513/spno.31589
12. Dushkin, I. V. (2012). Medical and psychological rehabilitation of military personnel: historical and legal aspects and implementation problems. *Law in Armed Forces – Military Legal Review*, *(184)*, 30–33.

13. Zhitlovsky, V. E., Layshova, O. A., & Tokhtieva, N. V. (2021). Teaching basics of medical and psychological rehabilitation in the course "Rehabilitation, Sports Medicine and Physical Culture". *Metodologiya i tekhnologiya nepreryvnogo professional'nogo obrazovaniya*, *(5)*, 54–62. https://doi.org/10.24075/MTCPE.2021.005
14. Zhovnerchuk, E. V., Zhovnerchuk, I. Yu., Bodgasarov, Y. V., & Dvinskikh, M. V. (2018). Medical and psychological rehabilitation of police officers (current state of the problem). *Meditsina truda i promyslennaya ekologiya*, *(2)*, 6–10.
15. Zaitsov, V. P. (2013). Medical and psychological rehabilitation of sick persons and disabled individuals. *Terapevticheskiy arkhiv*, *85*(10), 105–110.
16. Ichitovkina, E. G., Zlokazova, M. V., & Solovyev, A. G. (2013). Efficiency of medical and psychological rehabilitation of combat veterans. *Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im. S.S. Korsakova*, *113*(5), 42–47.
17. Kalenov, V. A., & Shilnikova, N. F. (2012). Organization of medical and psychological support and rehabilitation of interior ministry staff participating in combat operations. *Zabaykalskiy meditsinskiy vestnik*, *(2)*, 160–169.
18. Kolov, S. A. (2009). Integration of biopsychosocial approach in medical and psychological rehabilitation and psychotherapy of combat veterans. *Vestnik psikhoterapii*, *(34)*, 17–26.
19. Kurichkova, E. V., & Shtumpf, V. O. (2019). Criteria for the effectiveness of a ten-day program of medical and psychological rehabilitation for specialists of EMERCOM of Russia. *Mediko-biologicheskie i sotsial'-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvichaynykh situatsiyakh*, *(3)*, 5–14. https://doi.org/10.25016/2541-7487-2019-0-3-05-14
20. Kusov, V. D., & Bloshchinsky, I. A. (2007). Principles of psychophysiological correction as the basis of medical and psychological rehabilitation. *Vestnik psikhoterapii*, *(27)*, 89–91.
21. Lozovaya, E. N., & Pokatsky, B. A. (2023). Importance of medical and psychological rehabilitation of military personnel and combat veterans in modern conditions. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i sotsial'nye nauki*, *(1)*, 53–55.
22. Memetov, S. S., Silenko, L. V., Pogosyan, G. E., & Potapov, V. N. (2017). Medical expertise: state, prospects, problems. *Vestnik Vserossiyskogo obshchestva spetsialistov po mediko-sotsial'noy ekspertize, reabilitatsii i reabilitatsionnoy industrii*, *(2)*, 5–9.
23. Mohov, A. A. (2017). Medical law of Russia as an academic discipline in the system of legal education. *Yuridicheskoe obrazovanie i nauka*, *(5)*, 3–7. https://doi.org/10.18572/1813-1190-2017-5-3-7
24. Mohov, A. A. (2021). Principles of legal regulation of the state model of national healthcare. *Aktual'nye problemy rossiyskogo prava*, *16*(3), 85–96. https://doi.org/10.17803/1994-1471.2021.124.3.085-096

25. Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M., Zemlin, A. I., & Holikov, I. V. (2021). Conceptual aspects of producing medical examinations in cases of challenging court decisions resulting from military medical examinations. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(6), 283–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306
26. Naumov, P. Yu., & Holikov, I. V. (2023). Characteristics of legal grounds for conducting military medical examination in the National Guard troops of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *15*(1), 474–493. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493
27. Naumov, P. Yu., Baranova, N. N., Holikov, I. V., & Kuptsov, S. A. (2023). Integrated study of legal grounds and problematic issues of providing first aid to military personnel (military personnel). *Meditsina katastrof*, *(3)*, 57–64. https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64
28. Naumov, P. Yu. (2023). Social functions of private military companies in the context of transformation of the modern world order. *Puti k miru i bezopasnosti*, *(65)*, 207–218. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218
29. Naumov, P. Yu., Shepel, R. N., & Holikov, I. V. (2023). Rendering primary medical and sanitary assistance to military personnel: legal regulation and problematic aspects. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*, *22*(S9), 46–56. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885
30. Naumov, P. Yu., Zakharcev, S. I., Holikov, I. V., & Bolshakova, V. M. (2023). Value of law and legal values in the globalizing world (axiological review of the book "State and Law: Human Rights and Rule-of-Law-Based World Order"). *State and Law*, *(9)*, 64–72. https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5
31. Naumova, L. Yu. (2022). Conceptualization of criteria for assessing the formation of readiness of future lawyers for legislative activities. *Russian Journal of Education and Psychology*, *13*(1), 101–112. https://doi.org/10.12731/2658-4034-2022-13-1-101-112
32. Naumova, L. Yu. (2023). Essential generalization of empirical research results on the formation of readiness of future lawyers for legislative activities. *Russian Journal of Education and Psychology*, *14*(3), 86–105. https://doi.org/10.12731/2658-4034-2023-14-3-86-105
33. Naumova, L. Yu., & Povshennaya, F. V. (2022). Foundations and structure of readiness of future lawyers for legislative activities. *Psykholoho-pedahhichny pashuk*, *(64)*, 176–185. https://doi.org/10.37724/RSU.2022.64.4.019
34. Nikolaev, K. N., Zubritsky, V. F., & Koltovich, A. P. (2018). Prevention of venous thromboembolic complications in battle gunshot wounds. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, *(9)*, 82–86. https://doi.org/10.18821/0869-866X-2018-9-82-86

35. Novikov, N. S., Naumov, P. Yu., & Utuyganov, A. A. (2022). Physical and mental health of military personnel as a socio-legal value. *Aktual'nye problemy gosudarstva i prava*, *6*(3), 450–458. https://doi.org/10.20310/2587-9340-2022-6-3-450-458
36. Savenkov, A. N., & Kudashkin, A. V. (2021). Military law: formulating the problem and ways of solving it. *State and Law*, *(4)*, 7–34.
37. Semonyuk, A. M. (2022). Opportunities of modern hypnotherapy in correcting and rehabilitating mental health of law enforcement personnel. In *Current problems of psychological practice in law enforcement agencies: mental health and its preservation* (pp. 257–261). Nizhny Novgorod: National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky.
38. Sergeev, Yu. D., & Milushin, M. I. (2003). On theoretical foundations and concepts of national medical law. *Legal Education and Science*, *(4)*, 29–34.
39. Сергеев, Ю. Д., & Акимцева, Г. В. (2005). Изменения в законодательстве по лицензированию и некоторые процедурные вопросы организации работы органов, осуществляющих лицензирование медицинской деятельности. *Social and Pension Law*, *(2)*, 23–25.
40. Sogiaynen, A. A., Schepin, V. O., Telnova, E. A., & Chicherin, L. P. (2017). Current legal and organizational problems of licensing military medical examination. *Problemy sotsial'noy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*, *25*(5), 290–294. https://doi.org/10.18821/0869-866X-2017-25-5-290-294
41. Sogiaynen, A. A. (2017). Medical and psychological rehabilitation in the system of medical support for military personnel: methodological and organizational aspects. *Law in Armed Forces – Military Legal Review*, *(239)*, 23–29.
42. Syuris, N. A. (2022). Effectiveness of psychophysiological correction in medical and psychological rehabilitation of military personnel. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*, *99*(3-2), 184–185.
43. Fisun, A. Ya., Shchegolkov, A. M., Yudin, V. E., & Ponomarenko, T. N. (2014). Medical rehabilitation in the armed forces: origins, current state, and prospects. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, *335*(8), 4–15.
44. Holikov, I. V. (2018). Humanitarian role of Russian military medicine at international and national levels. *Puti k miru i bezopasnosti*, *(54)*, 197–206. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2018-1-197-206
45. Holikov, I. V. (2020). Spread of epidemics, pandemics, and mass diseases as a global challenge of modernity. *Puti k miru i bezopasnosti*, *(59)*, 27–40. https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40
46. Holikov, I. V., Milovanovitch, A., & Naumov, P. Yu. (2022). Dynamics of functioning of international law in the context of transformation of the modern world

order: post-non-classical approach. *Journal of Russian Law*, *26*(11), 132–148. https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122
47. Holikov, I. V., Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M., et al. (2022). Federal state control (supervision) over compliance with legislation in the field of ensuring safety of fuel-energy complex facilities: new stage of regulation and law enforcement. *Ugol*, *(1159)*, 66–71. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671
48. Holikov, I. V., Bolshakova, V. M., Naumov, P. Yu., & Zelepukin, R. V. (2022). Values and meanings of the main judicial act of the twentieth century: axiological concepts of the book by A.N. Savenkov "Nuremberg: Sentence in the Name of Peace" (Discussion Materials). *State and Law*, *(10)*, 51–62. https://doi.org/10.31857/S1026945200217887
49. Chermyanyin, S. V., Nazarov, S. S., & Kobryanova, I. V. (2020). Medical and psychological rehabilitation of naval sailors after prolonged maritime journey. *Izvestiya Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akademii*, *39*(S3-4), 290–293.
50. Churilov, Yu. K., Chapluk, A. L., Brovkin, S. G., & Vovkodav, V. S. (2018). History of military medical examination in Russia. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, *339*(4), 69–77.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Смирнов Денис Викторович, кандидат психологических наук, начальник кафедры общей и прикладной психологии
ФГКВОУ ВО «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Летчика Пилютова, 1, г. Санкт-Петербург, 198206, Российская Федерация
denis_smirnov@211.ru

Петр Юрьевич Наумов, кандидат педагогических наук, помощник начальника госпиталя по правовой работе – начальник отделения правового обеспечения
ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск национальной гвардии Российской Федерации»
Вишняковское шоссе, владение 101, мкр. Никольско-Архангельский, г. Балашиха, Московская область, 143914, Российская Федерация
petr.naumov.777@mail.ru

Землин Александр Игоревич, доктор юридических наук, кандидат философских наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, заведующий кафедрой прав человека

ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет»
ул. Вильгельма Пика, 4 стр. 1, г. Москва, 129226, Российская Федерация
zemlin.aldr@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Smirnov, Candidate of Psychological Sciences, Head of the Department of General and Applied Psychology
St. Petersburg Military Institute of the Order of Zhukov of the National Guard Troops of the Russian Federation
1, Pilyutova Str., St. Petersburg, 198206, Russian Federation
denis_smirnov@211.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-2520-4193
SPIN-code: 6584-5791

Petr Y. Naumov, Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Head of the Hospital for Legal Work – Head of the Legal Support Department
Main Military Clinical Hospital of the National Guard Troops of the Russian Federation
101, Vishnyakovskoye highway, Nikolsko-Arkhangelsky microdistrict, Balashikha, Moscow region, 143914, Russian Federation
petr.naumov.777@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2875-2322
SPIN-code: 2750-3053

Alexander I. Zemlin, Doctor of Law, Candidate of Philosophical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Head of the Department of Human Rights
Russian State Social University
4/1, Wilhelm Pieck Str., Moscow, 129226, Russian Federation
zemlin.aldr@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8988-8517
SPIN-code: 1741-0737
Scopus Author ID: 57208147055

Поступила 28.04.2024
После рецензирования 20.05.2024
Принята 27.05.2024

Received 28.04.2024
Revised 20.05.2024
Accepted 27.05.2024

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1044 **EDN: DJLXOS**
УДК 536.7:631.42

CC BY NC ND

Научная статья

ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ

Г.А. Рулев, А.С. Рулев, О.В. Рулева

Аннотация

Энтропия как процесс, изучаемый в природных явлениях, связана с термодинамикой. В частности, при изучении состояния почвы, наблюдается её изменение, проходящее через состояние равновесия. Равновесные состояния в окружающей среде связаны с максимумом полной энтропии.

Цель исследований – определение энергии, заключенной в почве, на различных уровнях в зависимости от фракционного состава частиц почвы на основе эмпирических и расчетных данных.

Новизна. Впервые для орошаемых светло-каштановых почв проведен энергоэнтропийный анализ, позволяющий определить остаточную энергию, запасенную в почве.

Материалы и методы. По полевым данным проведен анализ полного гранулометрического состава почвы с определением весового вклада каждой фракции. Для выделения минералогического состава почвы, использовали расчеты по результатам химического анализа. Наличие гумуса и растительных остатков определяли по общепринятой методике. Отбор образцов осуществлялся на территории п. Водный Волго-Донского междуречья.

Результаты исследований. В исследованиях представлены характеристики светло-каштановой тяжелосуглинистой почвы. Содержание физической глины в пахотном горизонте (2-25 см) – 45,2 %. Иллювиальные горизонты B_1 и B_2 по содержанию ила выражены четко. Преобладает илистая фракция 27,74 - 31,22 %. Термодинамические характеристики - энтальпия, энергия Гиббса и

энтропия не являются абсолютными величинами. Они представляют долю энергии, оставшейся в почве у конкретного минерала, или его свойство. Анализ термодинамических параметров показал, что в горизонте 2-25 см значения (ΔH, ΔG, ΔS) наибольшие в крупнопылеватой фракции, затем идет илистая фракция, мелко- , среднепылеватая и песок. На глубине 26-55 см по потенциально высоким термодинамическим параметрам по всем фракциям опережают крупно-пылеватая и илистая. На глубине 56-75 см сохраняется тенденция преобладания крупно-пылеватой и илистой фракции.

Заключение. Самые высокие показатели термодинамических потенциалов в горизонте 25-55см: ΔH, кДж/моль; 1415,6, ΔG, кДж/моль - 1328,22; ΔS, Дж /моль• град - 66,85. Данный горизонт характеризуется максимальными значениями потенциальной относительной остаточной энергии. Самый низкий потенциал глубже 75 см. Энтропия с глубиной уменьшается, в горизонте 25-55см она максимальна.

Ключевые слова: термодинамический потенциал; гранулометрический состав; энергоэнтропия; светло-каштановая почва; орошаемая агросистема

Для цитирования. Рулев, Г. А., Рулев, А. С., & Рулева, О. В. (2025). Энергоэнтропийный анализ светло-каштановых почв. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 461-474. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1044

Original article

ENERGY ENTROPY ANALYSIS OF LIGHT CHESTNUT SOILS

G.A. Rulev, A.S. Rulev, O.V. Ruleva

Abstract

Entropy as a process studied in natural phenomena is related to thermodynamics. In particular, when studying the state of the soil, its change is observed, passing through a state of equilibrium. Equilibrium states in the environment are associated with a maximum of total entropy.

The **purpose** of the research is to determine the energy contained in the soil at various levels depending on the fractional composition of soil particles based on empirical and calculated data.

Novelty. For the first time, an energy entropy analysis was performed for irrigated light chestnut soils, which makes it possible to determine the residual energy stored in the soil.

Materials and methods. According to field data, the analysis of the complete granulometric composition of the soil was carried out with the determination of the weight contribution of each fraction. Calculations based on the results of chemical analysis were used to isolate the mineralogical composition of the soil. The presence of humus and plant residues was determined by a generally accepted method. The sampling was carried out on the territory of the village. The waterway of the Volga-Don interfluve.

Research results. The research presents the characteristics of light chestnut heavy loamy soil. The content of physical clay in the arable horizon (2-25 cm) is 45.2%. The illuvial horizons B1 and B2 are clearly expressed in terms of silt content. The silty fraction of 27.74 - 31.22% prevails. Thermodynamic characteristics enthalpy, Gibbs energy and entropy are not absolute values. They represent the proportion of energy remaining in the soil of a particular mineral, or its property. The analysis of thermodynamic parameters showed that in the horizon of 2-25 cm the values (ΔH, ΔG, ΔS) are greatest in the coarse–powdered fraction, followed by the silty fraction, fine- , medium-powdered and sand. At a depth of 26-55 cm, coarse-dusty and silty are ahead of all fractions in terms of potentially high thermodynamic parameters. At a depth of 56-75 cm, the tendency of the predominance of coarse-dusty and silty fractions persists.

Conclusion. The highest indicators of thermodynamic potentials in the horizon of 25-55 cm - ΔH kJ/mol—1415,6, - ΔG kJ/mol—1328,22, ΔS J /mol grad - 66.85. This horizon is characterized by the maximum values of the potential relative residual energy. The lowest potential is deeper than 75 cm. Entropy decreases with depth, in the horizon of 25-55 cm it is maximum.

Keywords: thermodynamic potential; granulometric composition; energy entropy; light chestnut soil; irrigated agricultural system

For citation. Rulev, G. A., Rulev, A. S., & Ruleva, O. V. (2025). Energy entropy analysis of light chestnut soils. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 461–474. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1044

Предшественниками [1] применялся при изучении процессов познания в открытых неравновесных орошаемых геосистемах энергоэнтропийный метод создания термодинамических моделей. Известно ограниченное число моделей, построенных таким образом. Примером является работа Э.Г. Палагина, в которой на основе термодинамики необратимых процессов выведена модель взаимосвязанного переноса тепла и влаги при замерзании – оттаивании почв. Нами предлагается подход к моделированию процессов в орошаемых агросистемах, основанный на следующей концепции: учитывается агрофитоценоз, состояние приземного слоя атмосферы или

деятельного слоя и минералогический состав почвы. В данной статье мы более подробно рассмотрим состояние почвы.

Методологическое обоснование энергоэнтропийного анализа почв появилось благодаря фундаментальным работам Волобуева В.Р. [1], Ковды В.А. [3], Назарова А.Г. [4]. Актуальность данного направления исследований состоит в возможности использования представлений об энергии, заключенной в почве, о термодинамических свойствах почв и субъектов, свободной энергии Гиббса и энтропии для оценки биоэнергетического потенциала почв [6; 10; 11].

В термодинамике почв широко используются термодинамические составляющие: внутренняя энергия U; энтальпия (теплосодержание, тепловая функция) H; свободная энергия Гиббса G; энтропия S [6; 7].

Материалы и методы исследований

Методика термодинамических расчетов для почв включает бурение скважин для отбора почвенных образцов, определение гранулометрического состава в почвенно-аналитической лаборатории [1] и расчет термодинамических параметров. Мы использовали принятый в почвоведении Сибирцевым Н. М. и уточненный Качинским Н. А. метод определения почв по гранулометрическому составу, основанный на классификации по соотношению физической глины и физического песка.

Энергетические и термодинамические характеристики почв рассчитывались по формуле

$$Мк=Ро/Мо,$$

где Мк – молекулярное количество оксида, Мо – молекулярный вес оксида, Ро – содержание оксида в весовых процентах. Затем, умножаем мольную долю оксида на величину термодинамической константы. Значения термодинамических констант, встречающихся в почве, приведены в многочисленных химических и геохимических трудах и справочниках для стандартных условий Т= 298,15°К (25°С). Применение этих данных для характеристики минералов почвы следует из аддитивных термодинамических потенциалов, путем простого суммирования потенциалов. Получаем в итоге значение потенциалов сложных минеральных систем с учетом их молекулярного количества. Сумму величин свободной энергии Гиббса (-ΔG), энтальпии (-ΔH) и энтропии (S) каждой фракции частиц почв, выявивших оксид минералов, дает общую картину для почв.

Отбор образцов осуществлялся на территории п. Водный Волго-Донского междуречья в Советском районе г. Волгограда в течение 2018-2022 гг. Координаты объекта 48° 35′ 30″ с.ш., 44° 20′20″в.д.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены характеристики светло-каштановой почвы, полученные расчетным путем. Согласно данным по гранулометрическому составу, почва характеризуется как тяжелосуглинистая. Содержание физической глины в пахотном горизонте (2-25 см) – 45,2 %. Иллювиальные горизонты B_1 и B_2 по содержанию ила выражены четко. Преобладает илистая фракция 27,74 - 31,22 %, облегчение гран состава не наблюдается (табл.1).

Таблица 1.

Гранулометрический состав светло-каштановых слабосолонцеватых тяжелосуглинистых почв (разрез 1)

Горизонт, глубина, см	Гран состав, %, размер частиц, мм					
	<0,001	**0,001-0,005**	**0,01-0,005**	**0,01-0,05**	**0,05-0,25**	**0,25-1**
A_1 2-25	27,74	10,60	6,90	40,42	12,20	0,20
B_1 26-35	31,22	8,25	5,90	35,50	8,28	0,09
B_2 36-55	25,48	6,18	4,98	36,30	8,18	0,35
$C_1$56-75	24,80	5,79	4,96	37,21	8,71	0,05

По всем фракциям данной почвы показатели очень разнятся по своим максимумам и минимумам. Внутри фракций сами показатели не однородны. Можно выделить наиболее потенциальные запасы остаточной энергии.

В таблице 2 представлена характеристика термодинамических показателей по глубинам в профиле 2-75 см и по фракциям гранулометрического состава. Диапазон значений энтальпии (-ΔH) варьирует от -0,75 во фракции 0,25-1 мм до -590,6 – 0,01-0,05 мм. Значение свободной энергии Гиббса варьирует от 0,71 во фракции 0,25-1 мм до 554,03 во фракции 0,01-0,05 мм. Энтропия составляет 0,03- 0,25-1 мм минимум и максимум 28,12 во фракции 0,01-0,05 мм.

Таблица 2.

Термодинамическая характеристика светло-каштановых слабосолонцеватых тяжелелосуглинистых почв

Фракции размер частиц, мм	Горизонт, глубина, см	ΔH кДж/моль	ΔGкДж/мол	ΔSДж/моль град
<0,001	A_1 2-25	-383,91	-360,64	17,72
	B_1 26-35	-432,46	-406,33	19,87
	B_2 36-55	-353,56	-332,12	16,19
	C_1 56-75	-343,70	-322,80	15,75

0,001-0,005	A_1 2-25	-149,81	-140,51	7,15
	B_1 26-35	-117,82	-110,47	5,62
	B_2 36-55	-89,05	-83,50	4,25
	C_1 56-75	-83,51	-78,29	3,99
0,005-0,01	A_1 2-25	-101,39	-95,07	4,85
	B_1 26-35	-87,18	-81,75	4,16
	B_2 36-55	-72,53	-68,01	3,46
	C_1 56-75	-72,50	-68,00	3,44
0,01-0,05	A_1 2-25	-590,60	-554,03	28,12
	B_1 26-35	-520,05	-487,99	24,64
	B_2 36-55	-528,97	-496,50	24,72
	C_1 56-75	-548,61	-515,08	25,77
0,05-0,25	A_1 2-25	-182,66	-171,66	8,51
	B_1 26-35	-123,66	-116,22	5,75
	B_2 36-55	-122,09	-114,75	5,68
	C_1 56-75	-130,41	-122,57	6,06
0,25-1	A_1 2-25	-3,09	-2,91	0,14
	B_1 26-35	-1,36	-1,28	0,06
	B_2 36-55	-5,27	-4,96	0,24
	C_1 56-75	-0,75	-0,71	0,03

Анализ термодинамических параметров по фракциям светло-каштановой почвы показал, что в горизонте 2-25 см (табл.3,4,5) значения (ΔH, ΔG, ΔS) наибольшие во фракции 0,01-0,05 (крупнопылеватая), затем идет илистая фракция, мелко- и среднепылеватая фракция и песок.

Таблица 3.

Термодинамические параметры илистой фракции по горизонтам

Фракция	Горизонт, глубина, см	$\sum\Delta H$ кДж/моль	$\sum\Delta G$ кДж/моль	$\sum\Delta S$ Дж./моль град.
Илистая	A_1 2-25	-383,91	-360,64	17,72
	B_1 26-35	-432,46	-406,33	19,87
	B_2 36-55	-353,56	-332,12	16,19
	C_1 56-75	-343,70	-322,80	15,75
Сумма		**-1513,63**	**-1830,03**	**69,53**

Таблица 4.

Термодинамические параметры пылеватой фракции по горизонтам

Фракция	Горизонт, глубина, см	∑ΔH кДж/моль	∑ΔG кДж/моль	∑ΔS Дж./моль град.
Пылеватая	A_1 2-25	-841,80	-789,61	40,12
	B_1 26-35	-725,05	-680,21	34,43
	B_2 36-55	-690,55	-648,01	32,42
	C_1 56-75	-704,62	-661,37	33,20
Сумма		**-2962,02**	**-2779,20**	**140,16**

Таблица 5.

Термодинамические параметры фракции песок по горизонтам

Фракция	Горизонт, глубина, см	∑ΔH кДж/моль	∑ΔG кДж/моль	∑ΔS Дж./моль град.
Песок	A_1 2-25	-185,75	-174,57	8,65
	B_1 26-35	-125,02	-117,50	5,81
	B_2 36-55	-127,36	-119,70	5,92
	C_1 56-75	-131,17	-123,27	6,10
Сумма		**-569,30**	**-535,05**	**26,48**

На глубине 26-55 см по всем фракциям опережают крупно-пылеватая и илистая фракции по потенциально высоким термодинамическим параметрам.

На глубине 56-75 см сохраняется тенденция преобладания крупно-пылеватой и илистой фракции по термодинамическим параметрам.

Термодинамические характеристики энтальпии, энергии Гиббса и энтропии не являются абсолютными величинами. Они представляют долю энергии, оставшейся в почве у конкретного минерала или его свойство, оставшееся после преобразований, например, эрозия почвы, антропогенная нагрузка. Энтропия представляет связанную энергию тепла, необходимого для приведения системы из кристаллического состояния при абсолютном нуле. Отрицательный знак -ΔG у энергии Гиббса показывает энергетический «запас» энергии, аккумулированной в почве. В силу суммирования физических классов частиц (песчаных, пылеватых и физической глины) при расчете ΔH, ΔG, ΔS с учетом наиболее распространенных частиц они объединяются функцией относительной распространенности, представленных ниже [4; 12; 15]:

$$H=\sum(-H)>0.1+\sum(-H)\ 0.1\text{-}0.01+\sum(-H)<0.01$$

$$(-G)=\sum(-G)>0.1+\sum(-G)0.1\text{-}0.01\sum(-G)<0.01$$

$$S=\sum S>0.1+\sum S\ 0.1\text{-}.0.01+\sum S<0.01;$$

Рассчитанная выше сумма по трем фракциям частиц почвы, таблица (3,4,5), позволяет высчитать энтропийный ($П_s$) и энергетические показатели ($П_G$) ($П_H$), которые определяют термодинамическую устремленность к разрушению почвенного покрова, связанную с ирригационной эрозией, различными видами антропогенных воздействий или к синтезу новообразований.

Таблица 6.

Распределение сумм термодинамических показателей по фракциям на глубине 2-75 см горизонтов A_1C_1

Фракции	∑ΔH кДж/моль	∑ΔG кДж/моль	∑ΔS Дж./моль град.
Илистая	-1513,63	-1421,89	69,53
Пылеватая	-2962,02	-2779,20	140,16
Песок	-569,30	-535,05	26,48

$$(П_s) = \frac{\sum S>0.1}{\sum S<0.01};\ П_{G=}\frac{(-G)>0.1}{(-G)<0.01};\ (П_H) = \frac{(-H)>0.1}{(-H)<0.01}$$

Экстенсивные термодинамические показатели свойств почв, выражают относительный энергоэнтропийный вклад групп дисперсности фаз (илистая, пылеватая, песок) в общую энергоемкость орошаемой агросистемы.

Приведем наши показатели по термодинамической направленности светло-каштановых почв (таблица 6).

Показатель, определяющий термодинамическую направленность к деструкции или к синтезу новообразований:

Соотношение мелкодисперсной фракции к крупно дисперсной фракции.

$П_Δ$H	-569,30	/ -4475,65	-0,1272
$П_Δ$G	-535,05	/ -4201,09	-0,1273
$П_Δ$S	26,48	/ 209,69	- 0,1263

Энергетические и энтропийные свойства, определяющие термодинамическую устремленность к разрушению почвенного покрова и новообразованию, не выявили существенно резких изменений показателя деструкции или новообразований в данной почве. Энтропийный показатель ($П_s$) и энергетический ($П_G$) ($П_H$) равен 0,1.

Заключение

Рассчитаны суммы термодинамических потенциалов всех фракций. Самые высокие показатели в горизонте 25-55см ΔH кДж/моль-1415,6 ΔG кДж/мол-1328,22, ΔS Дж /моль град 66,85. Данный горизонт характеризуется наиболее лучшими и максимальными значениями потенциальной

относительной остаточной энергии. Самый низкий потенциал глубже 75см его показатели ниже всех. Энтропия с глубиной уменьшается. Только в горизонте 25-55см она максимальна.

Такая тенденция у энергии Гиббса и Энтальпии. В остальных горизонтах термодинамические величины плавно уменьшаются. В светло-каштановой солонцеватой почве по термодинамическим параметрам преобладает крупно-пылеватая фракция, далее следует илистая, а затем песок.

Энтропийный и энергетические показатели, определяющие термодинамическую деструкцию и новообразования, не выявили существенных резких изменений. Энтропийный показатель ($П_s$) и энергетический ($П_G$) ($П_H$) равен 0,1 единице.

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

Список литературы

1. Волобуев, В. Р., & Пономарев, Д. Г. (1977). Некоторые термодинамические характеристики минеральных ассоциаций почв. *Почвоведение*, *(1)*, 3–13.
2. Воронин, А. Д., & Максимова, А. С. (1972). Математический и химический состав фракций механических элементов почв темно-каштановой подзоны. *Почвоведение*, *(8)*, 112–120.
3. Ковда, А. В. (1973). *Основы учения о почвах. Общая теория общеобразовательного процесса.* Москва: Наука. С. 127–148.
4. Назаров, А. Г. (2004). Термодинамическая направленность почвообразования в истории развития экосистем. В книге: *Почвы, биогеохимические циклы и биосфера* (с. 70–102). Москва: Товарищество научных изданий КМК.
5. Палагин, Э. Г. (1981). *Математическое моделирование агрометеорологических условий перезимовки озимых культур.* Ленинград: Гидрометеоиздат. 191 с.
6. Яковенко, И. М. (2016). Пространственная структура туристско-рекреационного освоения Крыма: эволюция и перспективы. *Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология*, *2(68)*, *(3)*, 180–192.
7. Рулев, А. С., Рулев, Г. А., & Рулева, О. В. (2021). Геотопологическое обоснование создания куртинных насаждений. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(4), 131–143. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-131-143
8. Bai, B., Yang, G.-C., Li, T., & Yang, G.-S. (2019). A thermodynamic constitutive model with temperature effect based on particle rearrangement for geo-

materials. *Mechanics of Materials*, *139*(3), 103180. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103180

9. Ben-Noah, I., & Friedman, S. P. (2018). Review and evaluation of root respiration and of natural and agricultural processes of soil aeration. *Vadose Zone Journal*, *17*(1), 1–23. https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0119
10. Rulev, A. S., Ruleva, O. V., Rulev, G. A., & Tanyukevich, V. V. (2021). Landscape and forest reclamation approach to assessing the state of protective forest plantings. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(5), 321–335. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-321-325
11. Ruleva, O. V., Rulev, G. A., & Rulev, A. S. (2020). Woodlands as a tool for actively managing the microclimate of agrophytocoenoses. *International Journal of Pharmaceutical Research*, *12*(4), 3447–3453. https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.12.04.472
12. Smagin, A. V. (2018). About thermodynamic theory of water retention capacity and dispersity of soils. *European Soil Science*, *51*, 782–796. https://doi.org/10.1134/S1064229318070098
13. Smagin, A. V. (2016). Thermogravimetric determination of specific surface area for soil colloids. *Colloid Journal*, *78*, 391–396. https://doi.org/10.1134/S1061933X16030170
14. Wiesner, S., Starr, G., & Cherry, J. A. (2020). Forest structure and composition drive differences in metabolic energy and entropy dynamics during temperature extremes in longleaf pine savannas. *Agricultural and Forest Meteorology*, *297*, 108252. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108252
15. Wu, X., Wei, Y., Cai, C., Yuan, Z., Li, D., Liao, Y., & Deng, Y. (2021). Quantifying the contribution of phyllosilicate mineralogy to aggregate stability in the East Asian monsoon region. *Geoderma*, *393*(1), 115036. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115036
16. Yang, G., & Bai, B. (2019). Thermo-hydro-mechanical model for unsaturated clay soils based on granular solid hydrodynamics theory. *International Journal of Geomechanics*, *19*(10), 04019115. https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001498
17. Zarifi, M., Kvamme, B., & Kuznetsova, T. (2021). Modeling of heat transfer in hydrate-filled sediment systems using residual thermodynamics and classical nucleation theory. *Applied Sciences*, *11*(9), 4124. https://doi.org/10.3390/app11094124
18. Zhang, Z., & Cheng, X. (2017). A fully coupled THM model based on nonequilibrium. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *41*(4), 527–554. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32492-5_18

19. Duan, M. X., & Jin, M. X. (2019). Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, *6*(2), 144–161. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019258
20. Zhang, Z. (2017). A thermodynamic-based theory for thermo-poromechanical modeling of saturated clays. *International Journal of Plasticity*, *92*(1–2), 164–185. https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2017.03.007

References

1. Volobuev, V. R., & Ponomarev, D. G. (1977). Some thermodynamic characteristics of mineral associations of soils. *Soil Science*, *(1)*, 3–13.
2. Voronin, A. D., & Maksimova, A. S. (1972). Mathematical and chemical composition of mechanical fractions of soils in the dark chestnut subzone. *Soil Science*, *(8)*, 112–120.
3. Kovda, A. V. (1973). *Fundamentals of soil studies. General theory of the educational process.* Moscow: Nauka. Pp. 127–148.
4. Nazarov, A. G. (2004). Thermodynamic direction of soil formation in the history of ecosystem development. In *Soils, biogeochemical cycles and biosphere* (pp. 70–102). Moscow: Товарищество научных изданий КМК.
5. Palagin, E. G. (1981). *Mathematical modeling of agrometeorological conditions for winter survival of winter crops.* Leningrad: Gidrometeoizdat. 191 p.
6. Yakovenko, I. M. (2016). Spatial structure of tourist-recreational development of Crimea: evolution and prospects. *Scientific Notes of Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*, *2(68)*(3), 180–192.
7. Rulev, A. S., Rulev, G. A., & Ruleva, O. V. (2021). Geotopological justification for creation of curtained plantings. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(4), 131–143. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-131-143
8. Bai, B., Yang, G.-C., Li, T., & Yang, G.-S. (2019). A thermodynamic constitutive model with temperature effect based on particle rearrangement for geomaterials. *Mechanics of Materials*, *139*(3), 103180. https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2019.103180
9. Ben-Noah, I., & Friedman, S. P. (2018). Review and evaluation of root respiration and of natural and agricultural processes of soil aeration. *Vadose Zone Journal*, *17*(1), 1–23. https://doi.org/10.2136/vzj2017.06.0119
10. Rulev, A. S., Ruleva, O. V., Rulev, G. A., & Tanyukevich, V. V. (2021). Landscape and forest reclamation approach to assessing the state of protective forest plantings. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(5), 321–335. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-321-325

11. Ruleva, O. V., Rulev, G. A., & Rulev, A. S. (2020). Woodlands as a tool for actively managing the microclimate of agrophytocoenoses. *International Journal of Pharmaceutical Research*, *12*(4), 3447–3453. https://doi.org/10.31838/ijpr/2020.12.04.472
12. Smagin, A. V. (2018). About thermodynamic theory of water retention capacity and dispersity of soils. *European Soil Science*, *51*, 782–796. https://doi.org/10.1134/S1064229318070098
13. Smagin, A. V. (2016). Thermogravimetric determination of specific surface area for soil colloids. *Colloid Journal*, *78*, 391–396. https://doi.org/10.1134/S1061933X16030170
14. Wiesner, S., Starr, G., & Cherry, J. A. (2020). Forest structure and composition drive differences in metabolic energy and entropy dynamics during temperature extremes in longleaf pine savannas. *Agricultural and Forest Meteorology*, *297*, 108252. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108252
15. Wu, X., Wei, Y., Cai, C., Yuan, Z., Li, D., Liao, Y., & Deng, Y. (2021). Quantifying the contribution of phyllosilicate mineralogy to aggregate stability in the East Asian monsoon region. *Geoderma*, *393*(1), 115036. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115036
16. Yang, G., & Bai, B. (2019). Thermo-hydro-mechanical model for unsaturated clay soils based on granular solid hydrodynamics theory. *International Journal of Geomechanics*, *19*(10), 04019115. https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001498
17. Zarifi, M., Kvamme, B., & Kuznetsova, T. (2021). Modeling of heat transfer in hydrate-filled sediment systems using residual thermodynamics and classical nucleation theory. *Applied Sciences*, *11*(9), 4124. https://doi.org/10.3390/app11094124
18. Zhang, Z., & Cheng, X. (2017). A fully coupled THM model based on nonequilibrium. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *41*(4), 527–554. https://doi.org/10.1007/978-3-642-32492-5_18
19. Duan, M. X., & Jin, M. X. (2019). Modeling water and heat transfer in soil-plant-atmosphere continuum applied to maize growth under plastic film mulching. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, *6*(2), 144–161. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019258
20. Zhang, Z. (2017). A thermodynamic-based theory for thermo-poromechanical modeling of saturated clays. *International Journal of Plasticity*, *92*(1–2), 164–185. https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2017.03.007

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рулев Глеб Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела орошаемого земледелия и агроэкологии

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия - Филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»

ул. им. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация g.heroes@yandex.ru

Рулев Александр Сергеевич, академик РАН, Лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктор сельскохозяйственных наук главный научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия - Филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»

ул. им. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация AS_Rulev@vniioz.ru

Рулева Ольга Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, и.о. зав. лабораторией моделирования продукционных процессов

Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия - Филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»

ул. им. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация ov_ruleva@vniioz.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Gleb A. Rulev, Cand. Sc. (Agriculture), Researcher, Senior Researcher of the Department of Irrigated Agriculture and Agroecology

Federal State Budget Scientific Institution the All-Russian Research In-

stitute of Irrigated Agriculture
9, Timiryazev Str., Volgograd, 400062, Russian Federation
g.heroes@yandex.ru
SPIN-code: 4975-7230
ResearcherID: X-8997-2018
Scopus Author ID: 57222153846

Alexander S. Rulev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the Field of Science and Technology, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of the Department of Irrigated Agriculture and Agroecology
Federal State Budget Scientific Institution the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture
9, Timiryazev Str., Volgograd, 400062, Russian Federation
AS_Rulev@vniioz.ru
SPIN-code: 4975-7230
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6152-288X
ResearcherID: E-6770-2014
Scopus Author ID: 57190982345

Olga V. Ruleva, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Irrigation Land Reclamation Department, Acting Head of the Laboratory of Productive Processes Modeling
Federal State Budget Scientific Institution the All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture
9, Timiryazev Str., Volgograd, 400062, Russian Federation
ov_ruleva@vniioz.ru
SPIN-code: 4975-7230
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7343-4227
ResearcherID: B-5269-2017
Scopus Author ID: 57220645923

Поступила 15.05.2024
После рецензирования 05.07.2024
Принята 07.08.2024

Received 15.05.2024
Revised 05.07.2024
Accepted 07.08.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1061 **EDN: BEWNFL**
УДК 339

CC BY NC ND

Научная статья

АНАЛИЗ МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЁННЫХ НАЦИЙ

И.А. Аксенов, Г.А. Трунин, М.С. Фабриков, М.С. Лисятников, Е.С. Прусов, С.И. Рощина, М.А. Дубровин

Аннотация

Обоснование. В исследовании проводится аналитический обзор мирового производства картофеля в динамике с 1961 по 2022 годы по статистическим данным Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций.

Цель – выявление тенденций развития мирового рынка производства картофеля и понимание роли Российской Федерации на этом рынке.

Материалы и методы. Эмпирической основой исследования послужили статистические сведения Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединённых Наций. Теоретической основой исследования послужили труды известных российских и зарубежных ученых, непосредственно затрагивающие различные стороны мирового производства картофеля.

Методологическую основу исследования составили методы: сравнение, временной анализ, систематизация данных.

Результаты. Картина производства картофеля на мировой арене с 1961 по 2022 год очень сильно изменилась. На мировой рынок производства картофеля за последнее десятилетие вышли новые игроки, которые производят данную культуру. Страны, которые имеют огромный потенциал при производстве данной культуры – Китай и Индия.

Заключение. За последние 40 лет объемы производства картофеля выросли в несколько раз. Страны, которые занимали лидирующие позиции при производстве картофеля в 1961 году, таковыми на сегодняшний день не являются.

Ключевые слова: картофель; мировое производство; ключевые производители; сельское хозяйство; ФАО ООН

Для цитирования. Аксенов, И. А., Трунин, Г. А., Фабриков, М. С., Лисятников, М. С., Прусов, Е. С., Рощина, С. И., & Дубровин, М. А. (2025). Анализ мирового производства картофеля по статистическим данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 475-499. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1061

Original article

ANALYSIS OF WORLD POTATO PRODUCTION ACCORDING TO STATISTICS OF THE FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

I.A. Aksenov, G.A. Trunin, M.S. Fabrikov, M.S. Lisyatnikov, E.S. Prusov, S.I. Roshchina, M.A. Dubrovin

Abstract

Background. The study provides an analytical overview of global potato production over time from 1961 to 2022 according to statistics from the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

The **purpose** is to identify trends in the global potato production market and to understand the role of the Russian Federation in this market.

Materials and methods. The empirical basis of the study was statistical information from the Food and Agriculture Organization of the United Nations. The theoretical basis of the study was the works of famous Russian and foreign scientists, directly affecting various aspects of world potato production.

The methodological basis of the study was the following methods: comparison, time analysis, data systematization.

Results. The picture of potato production on the world stage has changed greatly from 1961 to 2022. Over the past decade, new players have entered the global potato production market and produce this crop. Countries that have enormous potential for the production of this crop are China and India.

Conclusion. Over the past 40 years, potato production volumes have increased several times. Countries that occupied leading positions in potato production in 1961 are not leaders today.

Keywords: potatoes; world production; key producers; agriculture; UN FAO

For citation. Aksenov, I. A., Trunin, G. A., Fabrikov, M. S., Lisyatnikov, M. S., Prusov, E. S., Roshchina, S. I., & Dubrovin, M. A. (2025). Analysis of world potato

production according to statistics of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 475–499. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1061

Введение

В рамках исследования нами был проведен анализ мирового производства картофеля по статистическим данным Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединённых Наций. Картофель является одним из самых популярных продуктов питания в мире. Он используется для приготовления различных блюд, а также в качестве сырья для производства крахмала, спирта и других продуктов. В рамках исследования ставилась задача понять тенденции развития мирового рынка производства картофеля, и понять роль Российской Федерации на этом рынке.

Цель исследования: выявление тенденций развития мирового рынка производства картофеля и понимание роли Российской Федерации на этом рынке.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования была использована база данных Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций. Для обращения к ней формировались запросы, написанные на языке программирования Python.

Также, теоретической основой исследования послужили труды российских и зарубежных ученых в области сельского хозяйства:

Б. В. Анисимов [2; 3], Д. Ю. Попов [9] в своих исследованиях проводят анализ общемировых тенденций мирового производства картофеля. Данные работы позволили понять общемировые тенденции в области производства картофеля.

И. А. Аксенов [1], А. В. Минаков [5], А. Г. Мякиньков [7], Ю. И. Агирбов [7], Р. Р. Мухаметзянов [7], Э. В. Бритик [7] в своих работах проводят анализ роли России на мировом рынке сельского хозяйства. Основные выводы этих исследований помогли понять роль Российской Федерации в мировом производстве картофеля.

А. А. Мушинский [6], А. Ж. Саудабаева [6], Э. И. Позубенкова [8], А. В. Носов [8], Е. В. Фудина [8], Е. В. Стельмашонок [10], В. Л. Стельмашонок [10], К. С. Терновых [11], Д. Ю. Попов [11], И. Н. Гаспарян [12], А. Г. Левшин [12], И. Г. Голубев [12], А. Папцов [15], В. Нечаев [15], П. Михайлушкин [15] в свих работах проводят анализ технологий, которые сегодня используются в сельском хозяйстве. Основные выводы этих ис-

следований помогли понять закономерности современного производства картофеля в мире.

С. А. Аржанцев [13], Л. В. Писарева [13], В. И. Нечаев [13, 14], Т. Г. Бондаренко [13], С. А. Аржанцев [14], Т. А. Скворцова [16], И. П. Денисова [16], Н. Г. Романенко [16], А. В. Суховенко [16, 17], А. А. Никитина [17], Т. А. Пасикова [17], А. В. Тагаев [17] в свих работах проводят анализ инноваций применяемых в сельском хозяйстве. Основные выводы этих исследований указывают на важность цифровизации и интеллектуализации в сельском хозяйстве.

Методы исследования, которые использовались в исследовании: сравнение, временной анализ, систематизация данных.

Результаты исследования

Для построения динамики мирового рынка производства картофеля в рамках исследования нами была выгружена статистическая база данных Продовольственной и Сельскохозяйственной Организации Объединённых Наций (ФАО ООН).

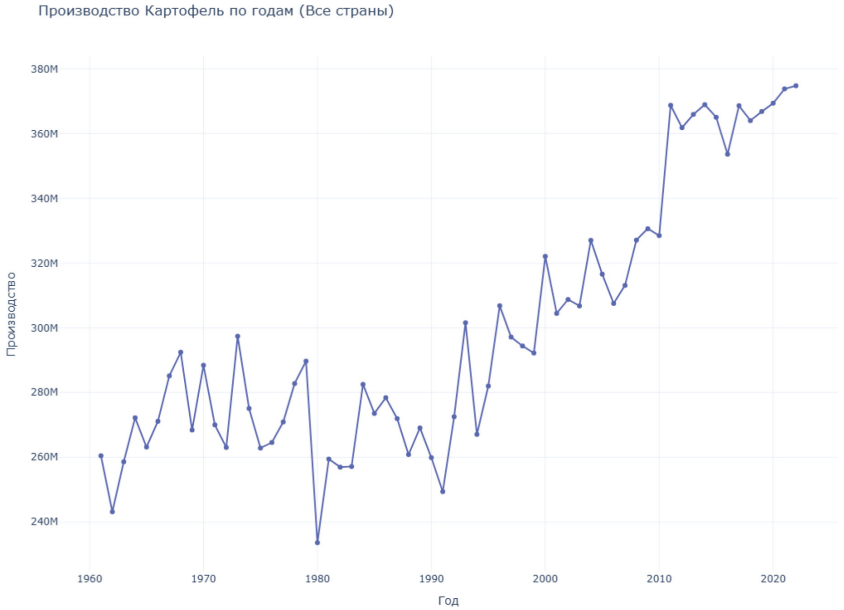


Рис. 1. Данные по мировому объему производства картофеля
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

Выгрузка необходимых сведений из базы данных ФАО ООН проводилась на основе запросов-обращений, написанных на Python.

По результату обращений к базе данных ФАО ООН мы получили следующие данные по мировому производству картофеля (Рисунок 1).

На основе рисунка 1, основанного на статистических данных ФАО ООН, мы видим, что мировые объемы картофеля с 1961 года до 2022 года увеличились. Из рисунка 1 видно, что начальный показатель (1961 г.) составляет – 260,43 млн. т.; конечный показатель (2022 г.) составляет - 374,78 млн. т. На рисунке 1 мы можем видеть несколько крупных «статистических скачков»: 1 – сокращение мировых объемов производства картофеля с 1979 по 1980 годы – на 56 млн. т.; 2 – увеличение мировых объемов производства картофеля с 1991 по 1993 годы – на 52 млн. т.; 3 – увеличение мировых объемов производства картофеля с 2010 по 2011 годы – на 40 млн. т.

Отрицательный «статистический скачок» 1979-1980 годов объясняется следующим: за этот период падение объемов производства картофеля наблюдается у СССР – 23,94 млн. т.; Польши – 23.18 млн. т.; Германии – 5.3 млн. т.; США – 1,74 млн. т.; Индии – 1,8 млн. т. Совокупное падение только вышеуказанных стран составило 55,96 млн. тонн. При этом 84% падения обусловлено снижением производства картофеля на рынке СССР и Польши. Польша переориентировалась на другие сельскохозяйственные культуры. На снижение объемов производства в этот период сказались совокупность факторов: низкоурожайный год в сельском хозяйстве и введение войск в Афганистан и последовавшее вслед за этим торговое эмбарго, что нарушило логистические цепочки поставок техники, минеральных удобрений и культур на мировых рынках.

Положительный «статистический скачок» 1991-1993 года на наш взгляд объясняется следующим: распад СССР как крупнейшего производителя картофеля в мире и последующий «развал» сельского хозяйства России освободили рыночные ниши для стран-лидеров по производству картофеля. Данный аспект стал основой для роста спроса на картофель, а в свою очередь постсоветское пространство является одним из крупнейшим потребителем картофеля.

В результате совокупное производство картофеля в 1993 году России, Украины и Республики Беларусь превысили 70,3 млн. т., что на 7,3 млн. т. больше значения 1990 года. Стоит отметить, что в 1993 году так же продолжается тенденция роста производства картофеля в Китае на 13,91 млн. т., Индии на 3,71 млн. т., США – на 1,28 млн. т., а остальной прирост стал обеспечиваться рынками небольших стран. Высокая популярность картофеля как культуры была обусловлена рядом важных факторов: это

основная культура в бедных и развивающихся странах. Картофель обеспечивает высокую урожайность на меньшей уборной площади по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами.

Положительный «статистический скачок» 2010-2011 годов сформировался за свет увеличения объемов производства почти всех стран, которые позиционируются на производстве данной культуры. Больше всего нарастили объем производства – Китай – 5 млн. т., Индия – 6 млн. т., Россия – 12 млн. т., Украина – 6 млн. т., Бангладеш – 2 млн. т. На наш взгляд данная тенденция объясняется технологическими изменениями и инновациями при производстве картофеля, так и увеличением посевных площадей стран-лидеров в производстве картофеля.

Также из рисунка 1 можно понять, что начиная с 1992 года образовался устойчивый тренд на увеличение мирового объема производства картофеля. Но стоит констатировать, что этот тренд не стабилен, и имеет множество спадов и подъемов. Это говорит о том, что несмотря на изменение технологий в производстве картофеля, климатические факторы, экономическая и геополитическая ситуация влияющие на его производство в мире остаются достаточно важными.

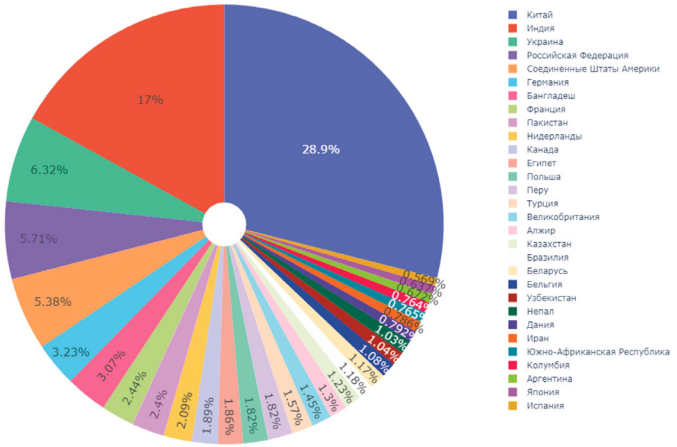


Рис. 2. Производство картофеля по странам, 2022 г.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

Далее в исследовании мы определили, за счет каких стран происходило мировое увеличение объемов. Для определения стран-лидеров по производству картофеля был составлен запрос-обращение в БД ФАО ООН на Python.

На основании данного запроса мы получили сведения по объемам производства каждой из стран (рис. 2-5).

Для того, что бы увидеть тенденцию по странам, лидирующим по объемам производства картофеля, были построены диаграммы за 1961, 1990, 2000, 2022 года.

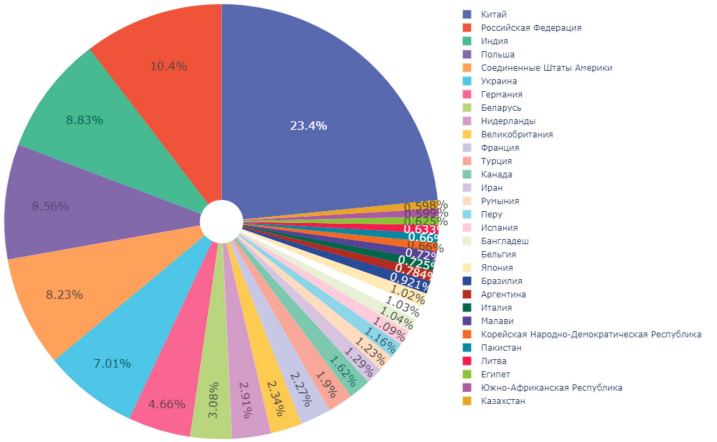


Рис. 3. Производство картофеля по странам, 2000 г.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

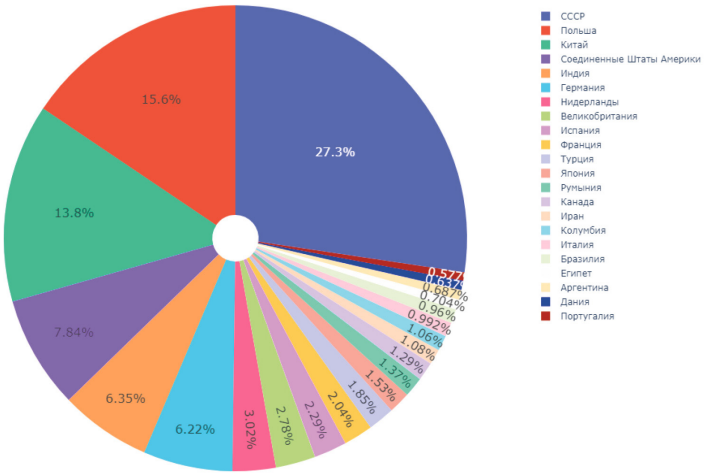


Рис. 4. Производство картофеля по странам, 1990 г.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

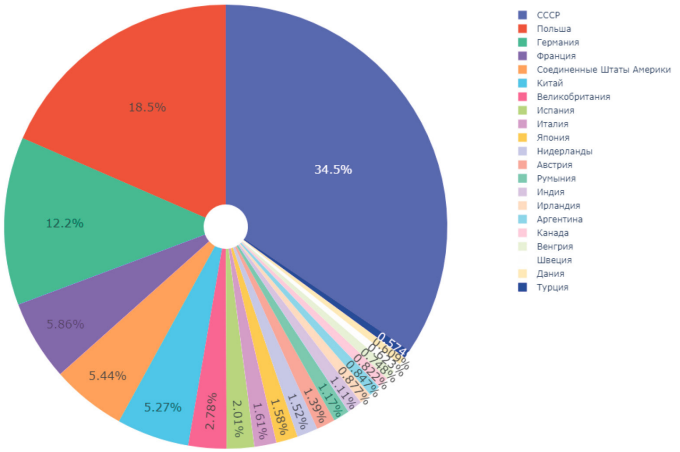


Рис. 5. Производство картофеля по странам, 1961 г.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

На основании рисунков 2-5 была построена таблица 1, которая отражает крупнейшие страны по объему производства картофеля и темпы прироста объемов производства. Крупнейшими странами по объему производства картофеля мы считаем первую десятку стран-лидеров за каждый период.

Таблица 1.

Страны-лидеры по объему производства картофеля 1961-2022 гг.

Основные страны	млн. тонн				темп роста, %		
	1961	1990	2000	2022	1990 г. к 1961 г.	2000 г. к 1990 г.	2022 г. к 2000 г.
Китай	12,9	32	56,1	95,6	148	75	70
Индия	2,7	14,8	22,5	56,2	448	52	150
Украина	Нет данных	Нет данных	12,7	20,9	Нет данных	Нет данных	64
РФ	Нет данных	Нет данных	28,0	18,9	Нет данных	Нет данных	-32
США	13,5	18,2	21,7	17,8	34	19	91
Германия*	29,9	14,5	11,6	10,7	-51	-20	-8
Бангладеш*	0,34	1	2,7	10,1	194	170	274
Франция	14,3	4	6,5	8,0	-72	63	23
Пакистан*	0,13	0,83	1,8	8,0	538	117	344

Нидерланды	3,7	7	8,3	7,0	89	19	-15
Канада	2,2	3	4,3	6,2	36	43	44
Польша	45,2	36,3	19,9	6,03	-19	-45	-70
Беларусь	Нет данных	Нет данных	8,7	3,86	Нет данных	Нет данных	-56

* В статистической БД ФАО ООН данные по Германии за 1961 год представлены, как данные по ФРГ. Данные по ГДР в базе данных ФАО ООН за 1961 отсутствуют. Сведения по Бангладеш в 1961 году представлены как части Пакистана. Данные для Пакистана в 1961 году представлены для Западного Пакистана.

Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

Понимая объемы производства каждой из страны, нами была высчитана доля каждой из крупных стран по объемам производства картоферя (Таблица 2).

Поскольку цель нашего исследования заключается в выявлении роли Российской Федерации на мировом рынке производства картофеля, то на наш взгляд, нагляднее будет строить таблицу долей стран в общемировом объеме производства картофеля начиная с 1990 года.

Таблица 3.

Доля страны в обшемировом объеме производства картофеля

Страна	Доля в мировом производстве картофеля, %			
	1990 год	2000 год	2010 год	2022 год
Китай	18,1	23,2	26,3	28,9
Индия	8,3	8,73	12,6	17
Украина	Нет данных	6,93	6,43	6,32
РФ	Нет данных	10,3	7,27	5,71
США	10,3	8,13	6,31	5,38
Германия	8,17	4,61	3,49	3,23
Бангладеш	<0,5	<0,5	2,73	3,07
Франция	2,68	2,54	2,28	2,44
Пакистан	<0,5	<0,5	0,85	2,4
Нидерланды	3,97	2,87	2,35	2,09
Канада	1,69	1,72	1,87	1,89
Польша	36.3%	8,46	2,9	1,82
Беларусь	Нет данных	3,04	2,69	1,04

Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

Для большей визуализации данных по объемам производства картофеля стран-лидеров, нами были выгружены сведения по тому, как менялась

динамика производства в период с 1991 года по 2022 гг. (рис. 6-18). Данный временной период динамики производства был выбран для большей визуализации роли Российской Федерации на мировом рынке призводства картофеля.

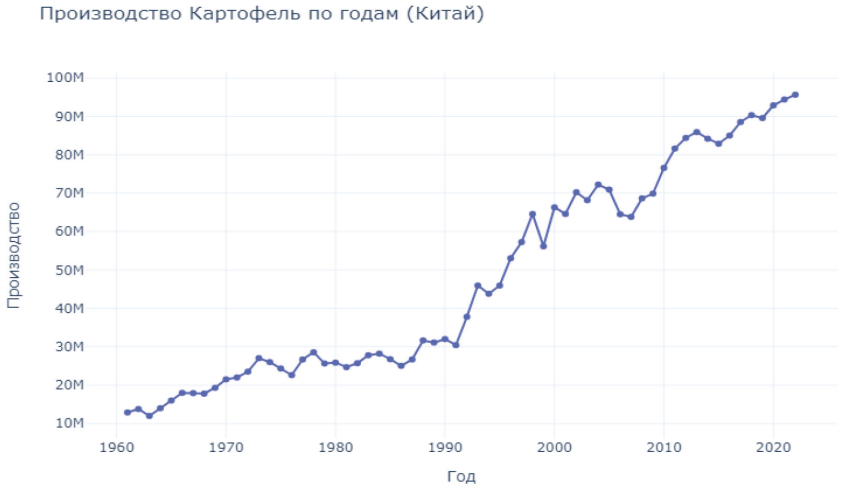


Рис. 6. Динамика производства картофеля Китаем за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 7. Динамика производства картофеля Индией за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 8. Динамика производства картофеля Украиной за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 9. Динамика производства картофеля Российской Федерацией
за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 10. Динамика производства картофеля США за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

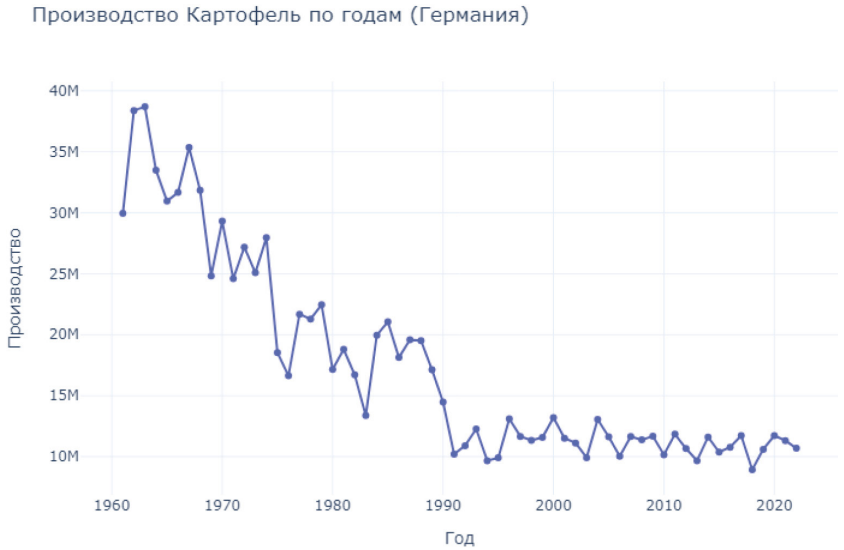


Рис. 11. Динамика производства картофеля Германией за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 12. Динамика производства картофеля Бангладеш за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

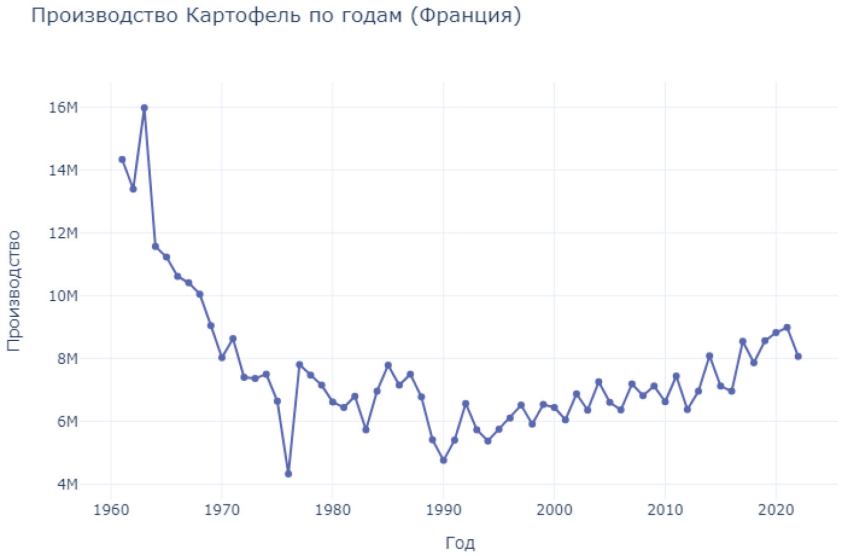


Рис. 13. Динамика производства картофеля Францией за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 14. Динамика производства картофеля Пакисаном за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]



Рис. 15. Динамика производства картофеля Голландией за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

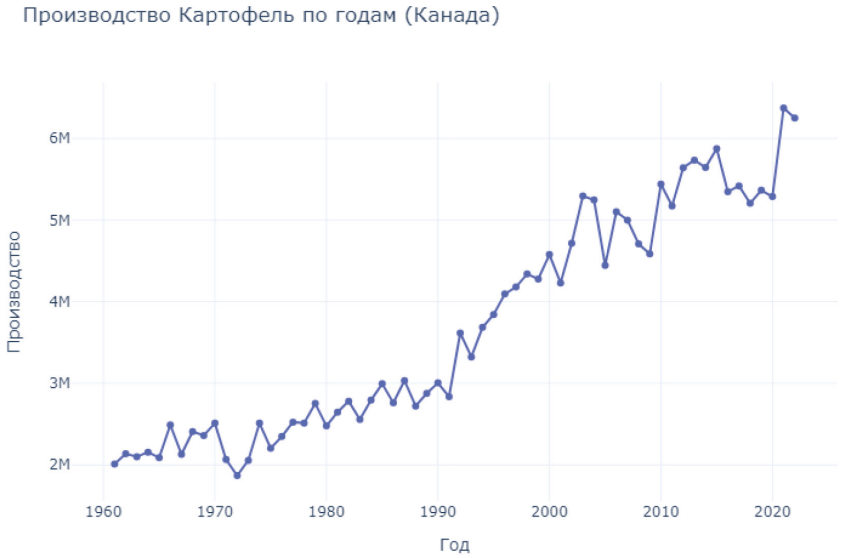


Рис. 16. Динамика производства картофеля Канадой за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

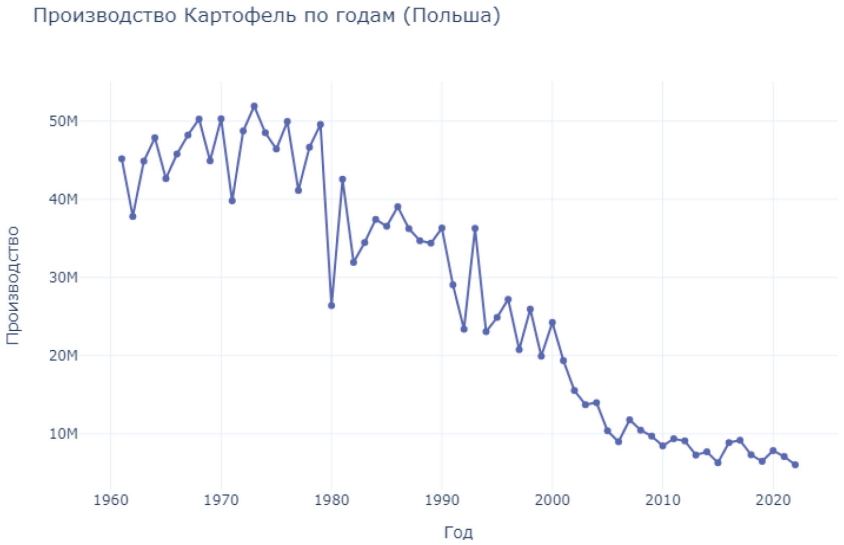


Рис. 17. Динамика производства картофеля Польшей за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

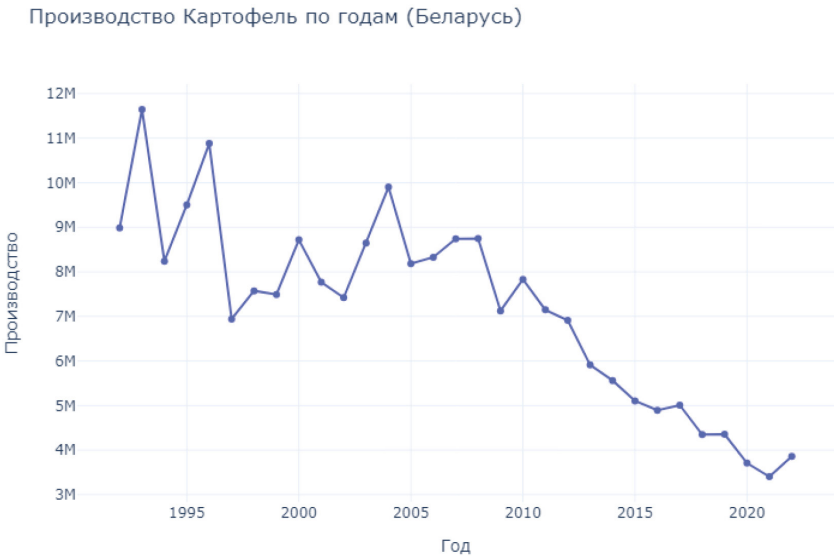


Рис. 18. Динамика производства картофеля Республикой Беларусь за период с 1991 по 2022 гг.
Источник: составлено авторами на основе статистических данных ФАО ООН [18]

На основе рисунков 6-18 можно сделать выводы, о том, что в период с 1961 по 2022 гг. поменялись ключевые страны-лидеры по производству картофеля (по данным ФАО ООН). В 1961 году ключевыми странами-лидерами по производству картофеля были – СССР, Польша, Германия, Франция, в 2022 году – Китай, Индия, Украина, Российская Федерация. На основании рисунков 6 –18 можно увидеть страны, которые имеют устойчивый тренд к наращиванию объемов производста картофеля – Китай, Индия, Бангладеш, Пакистан, Канада.

Обсуждение

Настоящее исследование посвящено анализу динамики мирового рынка картофеля по статистическим данным ФАО ООН. Оно может быть полезно для производителей, инвесторов и аналитиков, желающих понять тенденции в отрасли и принять соответствующие решения.

Однако исследование имеет некоторые ограничения. Оно основано на статистических данных ФАО ООН, которые могут не учитывать все аспекты производства картофеля в разных странах. Также в исследовании не рассма-

триваются в полной мере вопросы, которые влияют на производство картофеля, такие как климат, технологии, посевные площади, цены на ресурсы.

Данный материал является важным шагом в изучении мирового производства картофеля и может послужить отправной точкой для дальнейших исследований. На основе данного материала можно продолжить исследование мирового производства картофеля и учесть такие факторы как: климатические изменения и урожайность картофеля; анализ технологий выращивания [9] и изучение роли государственных программ поддержки сельского хозяйства в развитии отрасли [1; 4]. Эти направления могут помочь более глубоко понять процессы, происходящие в мировом производстве картофеля, и разработать рекомендации по его развитию.

Заключение

На основании исследования можно сделать следующие выводы:

- Мировое производство картофеля по данным ФАО ООН за период с 1961 года выросло и продолжает расти, что свидетельствует о его популярности и важности в качестве продукта питания.
- Основными производителями картофеля на мировом рынке сейчас является Китай, Индия, Украина, Россия, США.
- Урожайность картофеля за период с 1961 (объемы производства 260,43 млн. т.) по 2022 (374,78 млн. т.) годы также увеличивается, что говорит о внедрении новых технологий и методов выращивания.
- Увеличение производства картофеля возрастает, параллельно с увеличением численности населения земли (1961 год – 3,07 млрд. чел, 2022 год – 8 млрд. чел.). В 1961 году среднедушевое производство картофеля составляло приблизительно 86 кг. на человека, а в 2022 году составляло приблизительно 46 кг. на человека. Среднедушевое производство картофеля снизилось почти в 2 раза с 1961 по 2022 год. Несмотря на увеличение общего мирового производства картофеля, рост численности населения значительно опередил этот рост, что привело к снижению количества картофеля на душу населения.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета по государственному заданию (наименование темы научного исследования «Разработка и реализация стратегии развития внешнеэкономических свя-

зей сельского хозяйства и агропромышленного комплекса Российской Федерации с учетом санкционных ограничений и новых приоритетов экономического сотрудничества с зарубежными странами»; код научной темы, присвоенной учредителем, - FZUN-2024-0007).

Список литературы

1. Аксенов, И. А. (2021). Развитие государственной поддержки экспорта сельскохозяйственной продукции как элемент интеграционной политики Евразийского экономического союза. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(4), 273–296. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-273-296
2. Анисимов, Б. В. (2021). Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы (аналитический обзор). *Картофель и овощи*, *(10)*, 3–8. https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008
3. Анисимов, Б. В. (2021). Современные тенденции рынка, прогнозы и перспективы мирового производства картофеля (аналитический обзор). *Евразийское Научное Объединение*, *(78)*, 323–327.
4. Жиляков, Д. И. (2021). Роль государства в повышении эффективности деятельности сельскохозяйственных организаций. *Экономические науки*, *(194)*, 74–77. https://doi.org/10.14451/1.194.74
5. Минаков, А. В., Сафиуллин, И. Н., & Михайлова, Л. В. (2023). Развитие сельского хозяйства России и направления повышения его конкурентоспособности на международном рынке. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*, *18*(2), 191–198. https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-191-198
6. Мушинский, А. А., & Саудабаева, А. Ж. (2022). Изучение перспективных селекционных гибридов картофеля для степной зоны Южного Урала. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, *(100)*, 144–149. https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-144-149
7. Мякиньков, А. Г., Агирбов, Ю. И., Мухаметзянов, Р. Р., & Бритик, Э. В. (2020). Россия в мировом производстве и рынке картофеля и плодоовощной продукции. *Экономика с.-х. и перерабатывающих предприятий*, *(9)*, 74–83.
8. Позубенкова, Э. И., Носов, А. В., & Фудина, Е. В. (2021). Механизм внедрения генетических технологий в агропромышленное производство. *Нива Поволжья*, *(60)*, 17–21. https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.007
9. Попов, Д. Ю. (2021). Общемировые тенденции в развитии рынка картофеля. *International Agricultural Journal*, *64*(6). https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10436

10. Стельмашонок, Е. В., & Стельмашонок, В. Л. (2021). Цифровая трансформация агропромышленного комплекса: анализ перспектив. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(2), 336–365. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365. EDN: UUMMYD
11. Терновых, К. С., & Попов, Д. Ю. (2020). Современные тенденции в развитии картофелеводства. *Московский экономический журнал*, *(12)*, 39. https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871
12. Гаспарян, И. Н., Левшин, А. Г., & Голубев, И. Г. (2021). Технологии и машины для производства картофеля. *Картофель и овощи*, *(9)*, 3–8. https://doi.org/10.25630/PAV.2021.65.12.001
13. Аржанцев, С. А., Писарева, Л. В., Нечаев, В. И., & Бондаренко, Т. Г. (2019). Экспорт российского картофеля и продуктов его переработки. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*, *(57)*, 135–145. https://doi.org/10.33938/1912-135
14. Nechaev, V. I., & Arzhantsev, S. A. (2018). Concept of the development of the agricultural technological platform of the EAEU member states. *Econ Russ Agric*, *(8)*, 85–92.
15. Paptsov, A., Nechaev, V., & Mikhailushkin, P. (2019). Towards a Single Innovation Space in the Agrarian Sector of Member States of the Eurasian Economic Union: A Case Study. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, *7*(1), 637–648. https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(45)
16. Skvortsova, T. A., Denisova, I. P., Romanenko, N. G., & Sukhovenko, A. V. (2018). Innovations and Support for Quality in Agriculture: A Case Study. *European Research Studies Journal*, *21*(Special Issue 1), 423–431. https://doi.org/10.35808/ersj/1192
17. Skvortsova, T. A., Nikitina, A. A., Pasikova, T. A., & Tagaev, A. V. (2019). Concepts and Criteria for the Classification of Small and Medium Businesses in Russia. *International Journal of Economics and Business Administration*, *(7)*, 417–425. https://doi.org/10.35808/ijeba/287
18. FAO. (2022). *FAO Publications Catalogue 2022*. Rome.

References

1. Aksenov, I. A. (2021). Development of state support for export of agricultural products as an element of integration policy of the Eurasian Economic Union. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(4), 273–296. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-273-296
2. Anisimov, B. V. (2021). World potato production: market trends, forecasts, and prospects (analytical review). *Potato and Vegetables*, *(10)*, 3–8. https://doi.org/10.25630/PAV.2021.45.71.008

3. Anisimov, B. V. (2021). Current trends, forecasts, and prospects of world potato production (analytical review). *Eurasian Scientific Association*, *(78)*, 323–327.
4. Zhilyakov, D. I. (2021). Role of the state in improving the efficiency of agricultural enterprises. *Economic Sciences*, *(194)*, 74–77. https://doi.org/10.14451/1.194.74
5. Minakov, A. V., Safiullin, I. N., & Mikhailova, L. V. (2023). Development of agriculture in Russia and directions for enhancing its competitiveness in the international market. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*, *18*(2), 191–198. https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-191-198
6. Mushinsky, A. A., & Saudaabaeva, A. Zh. (2022). Studying promising breeding hybrids of potatoes for the steppe zone of the Southern Urals. *Proceedings of Kuban State Agrarian University*, *(100)*, 144–149. https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-144-149
7. Myakin'kov, A. G., Agirbov, Yu. I., Mukhametzyanov, R. R., & Britik, E. V. (2020). Russia in global potato and fruit-and-vegetable production and markets. *Economics of Agricultural Enterprises and Processing Industries*, *(9)*, 74–83.
8. Pozubenkova, E. I., Nosov, A. V., & Fudina, E. V. (2021). Implementation mechanism of genetic technologies in agro-industrial production. *Niva Povolzh'ya*, *(60)*, 17–21. https://doi.org/10.36461/NP.2021.60.3.007
9. Popov, D. Yu. (2021). Global trends in potato market development. *International Agricultural Journal*, *64*(6). https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10436
10. Stelmashonok, E. V., & Stelmashonok, V. L. (2021). Digital transformation of the agro-industrial complex: analysis of prospects. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(2), 336–365. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-336-365
11. Ternovykh, K. S., & Popov, D. Yu. (2020). Current trends in potato growing development. *Moscow Economic Journal*, *(12)*, 39. https://doi.org/10.24411/2413-046X-2020-10871
12. Gasparyan, I. N., Levshin, A. G., & Golubev, I. G. (2021). Technologies and machines for potato production. *Potato and Vegetables*, *(9)*, 3–8. https://doi.org/10.25630/PAV.2021.65.12.001
13. Arzhantsev, S. A., Pisareva, L. V., Nechaev, V. I., & Bondarenko, T. G. (2019). Export of Russian potatoes and processed products. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, *(57)*, 135–145. https://doi.org/10.33938/1912-135
14. Nechaev, V. I., & Arzhantsev, S. A. (2018). Concept of the development of the agricultural technological platform of the EAEU member states. *Econ Russ Agric*, *(8)*, 85–92.
15. Paptsov, A., Nechaev, V., & Mikhailushkin, P. (2019). Towards a Single Innovation Space in the Agrarian Sector of Member States of the Eurasian Eco-

nomic Union: A Case Study. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, *7*(1), 637–648. https://doi.org/10.9770/jesi.2019.7.1(45)
16. Skvortsova, T. A., Denisova, I. P., Romanenko, N. G., & Sukhovenko, A. V. (2018). Innovations and Support for Quality in Agriculture: A Case Study. *European Research Studies Journal*, *21*(Special Issue 1), 423–431. https://doi.org/10.35808/ersj/1192
17. Skvortsova, T. A., Nikitina, A. A., Pasikova, T. A., & Tagaev, A. V. (2019). Concepts and Criteria for the Classification of Small and Medium Businesses in Russia. *International Journal of Economics and Business Administration*, *(7)*, 417–425. https://doi.org/10.35808/ijeba/287
18. FAO. (2022). *FAO Publications Catalogue 2022*. Rome.

ВКЛАД АВТОРОВ

Аксенов И.А.: анализ показателей, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Трунин Г.А.: выявление тенденций, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Фабриков М.С.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Лисятников М.С.: визуализация показателей исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Прусов Е.С.: выгрузка показателей из БД ФАО ООН**,** интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Рощина С.И.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Дубровин М.А.: систематизация выводов, интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ilia A. Aksenov: analysis of indicators, interpretation of results, preparation of the text of the article.

Grigory A. Trunin: identifying trends, interpreting results, preparing the text of the article.

Maksim S. Fabrikov: general management of the research direction, interpretation of the results, preparation of the article text.

Mikhail S. Lisyatnikov: visualization of research indicators, interpretation of results, preparation of the article text.

Evgeny S. Prusov: uploading indicators from the UN FAO database, interpreting the results, preparing the text of the article.

Svetlana I. Roshchina: general management of the research direction, interpretation of the results, preparation of the article text.

Mikhail A. Dubrovin: systematization of conclusions, interpretation of results, preparation of the text of the article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Аксенов Илья Антонович, кандидат экономических наук, доцент кафедры государственное право и управление таможенной деятельностью
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького,87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
il_aks@mail.ru

Трунин Григорий Александрович, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Финансовое право и таможенная деятельность»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького,87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
trunin_gr@mail.ru

Фабриков Максим Сергеевич, кандидат педагогических наук, доцент, проректор по экономике и развитию инфраструктуры, заведующий кафедрой технологического и экономического образования
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
fabrikoff@mail.ru

Лисятников Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный

университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
mlisyatnikov@mail.ru

Прусов Евгений Сергеевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, доцент кафедры технологии функциональных и конструкционных материалов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
eprusov@mail.ru

Рощина Светлана Ивановна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительных конструкций
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького, 87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
rsi3@mail.ru

Дубровин Михаил Андреевич, старший преподаватель кафедры теории и истории государства и права
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
ул. Горького,87, г. Владимир, 600000, Российская Федерация
301507@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ilia A. Aksenov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of State Law and Management of Customs Activities
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

Il_aks@mail.ru
SPIN-code: 4145-4764
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0541-327X
ResearcherID: O-6110-2017
Scopus Author ID: 57216752275

Grigory A. **Trunin**, Ph.D., Associate Professor of the Department of Financial Law and Customs
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
trunin_gr@mail.ru
SPIN-code: 5224-4863
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0035-0903

Maksim S. Fabrikov, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Economics and Infrastructure Development, Head of the Department of Technological and Economic Education
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
fabrikoff@mail.ru
SPIN-code: 9291-8518
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7063-7529
Scopus Author ID: 57202913121

Mikhail S. Lisyatnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Construction
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
mlisyatnikov@mail.ru
SPIN-code: 4089-7216
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5262-6609
ResearcherID: V-6057-2018
Scopus Author ID: 56195815500

Evgeny S. Prusov, Doctor of Technical Sciences, Lead Researcher, Associate Professor of the Department of Structural and Functional Materials Technology
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation

eprusov@mail.ru
SPIN-code: 9271-9470
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4189-877X
ResearcherID: K-5461-2016
Scopus Author ID: 54416217300

Svetlana I. Roshchina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Construction
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
rsi3@mail.ru
SPIN-code: 4159-8639
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0356-1383
ResearcherID: A-7722-2019
Scopus Author ID: 57131029400

Mikhail A. **Dubrovin**, Senior Lecturer at the Department of Theory and History of State and Law
Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs
87, Gorky Str., Vladimir, 600000, Russian Federation
301507@bk.ru
SPIN-code: 6873-8735
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-6726-824X

Поступила 26.05.2024 Received 26.05.2024
После рецензирования 10.06.2024 Revised 10.06.2024
Принята 04.07.2024 Accepted 04.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1041 **EDN: EMYEPG**
УДК 612.017.1:616.33-02.27

CC BY NC ND

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВЕЖЕСТИ ПЛОДОВ ЗЕМЛЯНИКИ

Г.В. Нестеров, А.В. Гурылева, М.О. Шарикова, С.А. Суханова, А.С. Мачихин

Аннотация

Обоснование. Плоды земляники являются ценным и востребованным, но скоропортящимся, продуктом питания. Свежесть плодов зависит от времени, прошедшего от момента их сбора, и определяет срок сохранения ими питательной ценности, внешней привлекательности и безопасности для потребителя. Традиционные подходы к оценке состояния плодов отличаются субъективностью, трудоемкостью и низкой производительностью. Настоящая работа посвящена анализу возможности бесконтактной оценки свежести плодов земляники на основе её гиперспектрального анализа.

Материалы и методы. В ходе исследования оценивались спектральные свойства внешней поверхности и внутренней структуры плодов земляники сорта Ремонтантная Елизавета II в течение 26 дней после сбора плодов. Средством измерения служил акустооптический видеоспектрометр видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Цифровая обработка данных включала предварительное улучшение спектральных изображений, морфологическую обработку и определение количественной метрики отражательной способности в наиболее информативном спектральном диапазоне длин волн. Статистический анализ основывался на построении регрессионных моделей определения срока после сбора плодов. Модели оценивались по коэффициенту детерминации (R^2), относительной ошибке (RE) и среднеквадратическому отношению (RMSE).

Результаты. Предложен подход к бесконтактной оценке свежести плодов земляники на основе их оптического анализа. Получены математические модели определения срока после сбора плодов земляники Ремонтантная Елизавета II по гиперспектральным изображениям поверхности и внутренней структуры образцов. Показано, что анализ спектральных свойств внешней поверхности

плодов обеспечивает более высокую точность определения срока после сбора плодов и позволяет достичь $R^2 = 0.96$, RE = 22.78% и RMSE = 1.41. Проведена оценка точности регрессионных моделей с полиномами разных порядков, показавшая наибольшую эффективность кубического полинома. Определен набор наиболее информативных для решаемой задачи спектральных интервалов, на основе которого проведен множественный регрессионный анализ, показавший наиболее высокую точность.

Заключение. Предложенный подход к бесконтактному количественному анализу свежести плодов земляники отличается объективностью, производительностью и автоматизированностью. Проведенная оценка отдельных этапов пробоподготовки, съемки, цифровой обработки данных и статистического анализа будет полезна при разработке методов диагностики продуктов питания. Предложенный подход может стать дополнением традиционных методов контроля качества пищевой продукции и использоваться при формировании оптимальных стратегий транспортировки, обработки, хранения и реализации партий земляники.

Ключевые слова: неинвазивная диагностика; гиперспектральная съемка; видеоспектрометр; спектральные характеристики; свежесть; земляника

Для цитирования. Нестеров, Г. В., Гурылева, А. В., Шарикова, М. О., Суханова, С. А., & Мачихин, А. С. (2025). Исследование возможности применения гиперспектральной съемки для оценки свежести плодов земляники. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 500-517. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1041

Original article

STRAWBERRY FRESHNESS ASSESSMENT BY HYPERSPECTRAL IMAGING

G.V. Nesterov, A.V. Guryleva, M.O. Sharikova, S.A. Sukhanova, A.S. Machikhin

Abstract

Background. Strawberry is a highly valued and perishable food item. The freshness of these fruits plays a crucial role in their quality, as it determines their shelf life, nutritional content, visual appeal, and safety for human consumption. Traditional methods of assessing fruit freshness are subjective, labor-intensive, and have low productivity. This study aims to develop a methodology for quantitatively assessing

the freshness of strawberries using hyperspectral imaging, which can provide objective and accurate measurements of fruit quality.

Materials and method. During the research, we evaluated the spectral properties of the outer surface and internal structure of strawberries from "Remontant Elizabeth II" over a period of 26 days after harvesting. The measuring instrument used was an acousto-optical Vis-NIR imaging spectrometer. Digital data processing involved preprocessing spectral images, morphological analysis, and calculating a quantitative metric for spectral reflectance at the most informative wavelengths. Statistical analysis was based on constructing regression models to determine the post-harvest period for strawberries. Model evaluation was done using the coefficients of determination (R^2), relative error (RE), and root mean squared error (RMSE).

Results. The methodology for assessing the freshness of strawberries using hyperspectral imaging has been proposed. Mathematical models for determining the post-harvest period of "Remontant Elizaveta II" strawberries were obtained using hyperspectral images of the surface and internal structure of the samples. Analysis of the spectral properties of the external surface of fruits showed higher accuracy in determining the postharvest period, with $R^2 = 0.96$, RE = 22.78% and RMSE = 1.41. Regression models with different polynomial orders were assessed, and the cubic polynomial showed the greatest effectiveness. A set of the most informative wavelengths was determined, based on which multiple regression analysis was performed, demonstrating the highest accuracy.

Conclusion. The developed methodology for quantitative analysis of strawberry freshness stands out for its precision, objectivity, efficiency, and automation. Assessment of individual stages, including sample preparation, hyperspectral imaging, digital data processing, and statistical analysis will be beneficial to advance methods for spectral diagnostics of food products. Proposed approach could supplement traditional methods of food quality control. Research could be used to develop optimal strategies for transportation, processing, storage and marketing of strawberry batches.

Keywords: non-invasive diagnostics; hyperspectral imaging; imaging spectrometer; spectral characteristics; freshness; strawberry

For citation. Nesterov, G. V., Guryleva, A. V., Sharikova, M. O., Sukhanova, S. A., & Machikhin, A. S. (2025). Strawberry Freshness Assessment by Hyperspectral Imaging. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 500–517. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1041

Введение

Земляника садовая (*Fragaria ananassa*) является одной из самых распространенных выращиваемых во всем мире ягодных культур ввиду высоких

вкусовых качеств ее плодов и содержания в них питательных и полезных фитохимических веществ, в том числе антиоксидантных соединений: фенольных соединений, фолиевой кислоты, каротиноидов и витамина С [3; 10]. Основным недостатком плодов земляники является ее малая лежкость, то есть быстрое снижение качества плодов после сбора из-за ускорения процессов дозревания и деградации клеточных структур. При формировании оптимальных стратегий транспортировки, обработки, хранения и реализации партий земляники решающим параметром оказывается ее свежесть, влияющая на срок сохранения плодами питательной ценности, внешней привлекательности и безопасности для потребителя [6].

Контроль качества плодов, в том числе их свежести, произвольных партий земляники традиционно производится на основе визуальной оценки и исследования органолептических показателей [17], а также анализа физико-химических [11; 15; 16] и биохимических параметров [4; 20; 24]. При этом перечисленные методы весьма трудоемки, а в ряде случаев дают лишь качественный и субъективный результат или требуют специальных реактивов. Свободны от указанных недостатков оптические методы бесконтактной диагностики на основе анализа характеристик излучения, отраженного от объектов исследования [22].

Ряд исследований показал эффективность количественного анализа ключевых химических и физических параметров плодов с помощью спектральных приборов [7; 8; 19; 21]. Наиболее технологически простой реализацией такого подхода является регистрация спектра отражения некоторой площади, показавшая эффективность в некоторых задачах [18; 25]. Этот подход не позволяет получить пространственное распределение спектральных характеристик плода и определить размеры выявленных дефектов. Преодолеть эти ограничения позволяют видеоспектрометры, регистрирующие спектр отражения поверхности в каждой точке изображения и обеспечивающие анализ пространственно-спектральных свойств объектов. Использование таких приборов значительно повышает производительность исследования, что важно для контроля крупных партий продукции.

Известны работы, в которых видеоспектрометрия применялась для оценки спелости плодов земляники [9; 23]. При этом изменения пространственно-спектральных характеристик на различных этапах развития плодов сопоставлялись с изменениями в содержании пигментов, влаги, сахаров и прочих химических веществ и с помощью методов машинного обучения определялись модели, позволяющие судить о зрелости плодов. В настоящей работе предлагается оценить возможность применения видеоспектро-

метрии для оценки качества плодов земляники после их сбора, в частности, для определения периода времени, прошедшего с момента сбора.

Материалы и методы

Схема эксперимента

Общая схема проведенного экспериментального исследования представлена на рис. 1. Для оценки свежести плодов земляники по анализу изменений спектральных характеристик как внешней поверхности плодов, так и их внутренней структуры, были подготовлены два варианта образцов земляники. Спектральные характеристики всех образцов в течение 26 дней в рабочие дни регистрировались видеоспектрометром. Для устранения пространственно-спектральных искажений полученные спектральные изображения проходили цифровую обработку. С помощью регрессионого анализа метрик, рассчитанных по полученным спектральным данным, для различных дней была получена модель, описывающая изменение спектральных свойств с течением времени после сбора и предлагаемая в дальнейшем для оценки свежести произвольных партий клубники.

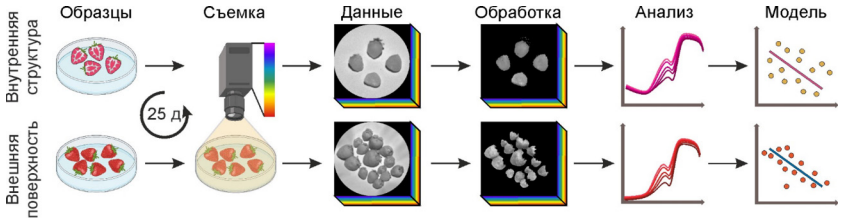


Рис. 1. Основные этапы проведения исследования.

Экспериментальные образцы

В качестве экспериментальных образцов использовались плоды земляники сорта Ремонтантная Елизавета II, выращенные в теплицах ООО «Ф.И. Топос Лаб» в Московской области. Для проведения исследования средняя проба массой 3 кг со 100 земляничных кустов была собрана и в течение 1 часа доставлена в лабораторию для дальнейшего хранения и регулярной съемки. Хранение плодов осуществлялось в холодильной камере при температуре 3,0-3,5°C и влажности воздуха 85-95%. Для эксперимента плоды вынимали из холодильной камеры и размещали в поле зрения видеоспектрометра.

Все плоды были разделены на две части, подготовленные по двум разным схемам в двух повторностях. Для оценки свежести по состоянию поверхности плода на две плоских белых подложки в первый день было выложено по

15 плодов в один слой. Плоды не смещались в течение всего эксперимента, в том числе в ходе регистрации изображений и хранения, для исключения повреждения плодов, а также устранения влияния на получаемые данные изменений их положения. В рамках второй схемы, предназначенной для исследования изменений спектральных свойств внутренней структуры с течением времени, каждый день перед съемкой произвольно отбирались и разрезались вдоль на две равные части четыре плода, а полученные половины размещались срезом вверх на белых подложках.

Экспериментальная установка

Видеоспектрометры позволяют регистрировать спектральные характеристики объектов в каждом элементе поля зрения, а результатом съемки является набор спектральных изображений. В настоящей работе они регистрировались с помощью разработанного в НТЦ УП РАН акустооптического видеоспектрометра [2]. Съемка проводилась в диапазоне длин волн от 460 до 820 нм с шагом 2 нм. Размер изображения составлял 500×500 пикселей. Помимо регистрации изображений экспериментальных образцов, проводилась съемка плоской белой равномерно отражающей пластины для последующей предобработки данных в тех же спектральных каналах. В качестве источника широкополосного излучения использовалась галогенная лампа (Dedolight DLH4, 150 Вт).

Обработка и анализ гиперспектральных данных

Полученные в рамках исследования спектральные изображения подвергались предобработке, включающей устранение вызванного оптической системой виньетирования, неравномерности освещенности образцов и учета спектра излучения источника, а также пространственно-спектральных искажений и шума. Виньетирование и неравномерность освещенности компенсировались за счет попиксельного деления регистрируемого спектрального изображения на изображение калибровочной пластины, которая снималась после каждой съемки в тех же условиях [13]. Вместе с этим устранялось влияние спектральных свойств источника излучения. Пространственно-спектральные артефакты, вызванные шумом, снижались за счет медианной фильтрации изображений, заключающейся в замене каждого пикселя в изображении на медианное значение интенсивности пикселей в его окрестности размером 3×3×3 пикселя, что позволяет одновременно устранить спектральную и пространственную неоднородность.

После предобработки изображений проводилось выделение области интереса, необходимой для последующего анализа. Область интереса выделялась путем создания бинарной маски на основе отношения коэффи-

циентов отражения в разных спектральных диапазонах. Так, с помощью деления спектральных изображений на длинах волн 800 нм и 600 нм производилось выделение пикселей кадра, относящихся к плодоножке и чашечке плода, для последующего их исключения из расчета спектральной характеристики плода. Определение областей изображения, соответствующих фону, осуществлялось на основе анализа величины отношения интенсивностей пикселей двух спектральных изображений на разных длинах волн, так как для пикселей белой подложки и теней от плодов характерны близкие к единице значения такого отношения.

Пиксели, не относящиеся к фону, теням, плодоножке и чашечке плода, считались областями изображения, соответствующими разросшемуся цветоложу земляники. В пределах таких областей производилось усреднение значений пикселей для каждого изображения, что позволило получить спектральную зависимость коэффициента отражения всех экспериментальных образцов. Для каждой повторности и двух схем за все дни были получены графики спектральной характеристики отражения по описанной выше схеме, то есть всего 36 кривых. Для проведения последующего статистического анализа по каждому графику была рассчитана количественная метрика, представляющая собой интегральную спектральную характеристику отражения образца в диапазоне длин волн от 600 нм до 650 нм. Такой диапазон выбран на основе данных исследования, показавшего, что наибольшее изменение спектрального отклика земляники сорта «Brilliance» после сбора наблюдается в указанном диапазоне длин волн [14].

Статистический анализ

Полученные интегральные значения отражения в диапазоне от 600 нм до 650 нм за 26 дней эксперимента оценивались с помощью регрессионного анализа. Ранее было показано, что изменение в спектральных свойствах плодов земляники происходит нелинейным образом [5,12], поэтому в настоящей работе рассматривались регрессионные модели 1, 2 и 3 порядка. Для оценки свежести по спектральным свойствам поверхности плода и внутренней структуры регрессионные модели строились отдельно. Достоверность моделей определялась с помощью коэффициента детерминации R^2 и среднеквадратичной RMSE и относительной RE ошибок.

В работе также использовался подход к анализу данных, заключавшийся в поиске наиболее информативных для решения рассматриваемой задачи длин волн и оценке изменения в ходе эксперимента величины коэффициента отражения только в соответствующих им спектральных каналах с помощью многомерной регрессии. Регистрация изображений прово-

дилась в 181 спектральном канале. Значение коэффициента отражения плодов в каждом из них рассматривалось как отдельный независимый признак. Среди таких признаков производился выбор наиболее информативных с помощью модифицированного алгоритма шаговой регрессии на основе распределения χ^2 [1]. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью общепринятых методов математической статистики с применением программного пакета MATLAB 2021b.

Результаты

В соответствии с описанной схемой эксперимента были получены спектральные коэффициенты отражения плодов земляники в течение 26 дней после сбора, представленные на рисунке 2. Наибольший разброс значений от первого до последнего дня исследования наблюдается в диапазоне длин волн от 600 до 650 нм, что согласуется с литературными данными [14].

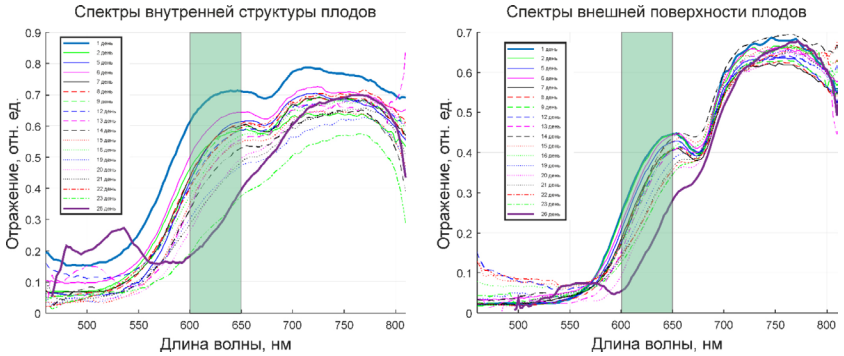


Рис. 2. Спектральные зависимости коэффициента отражения, полученные при съемке внутренней структуры (слева) и внешней (справа) поверхности плодов земляники. Утолщенными линиями отмечены графики, соответствующие первому (синяя линия) и последнему (фиолетовая линия) дню эксперимента. Зеленая область показывает диапазон длин волн, в пределах которого рассчитывалось интегральное значение спектральной характеристики, используемой при построении регрессионных моделей.

Значения спектрального коэффициента отражения в пределах диапазона длин волн, выделенного зеленым на рисунке 2, использовались для расчета интегрального значения спектральной характеристики. Изменение этого параметра за время исследования приведено на рисунке 3 (синие точки) и может служить количественной мерой для оценки деградации структуры плодов.

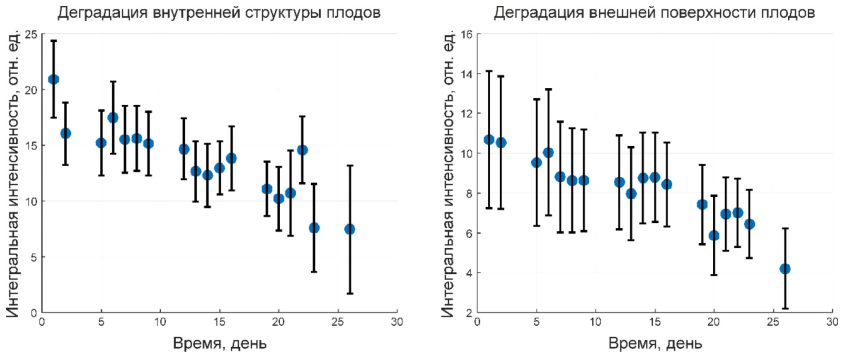


Рис. 3. Изменение среднего значения по кадру (синие точки) интегрального коэффициента отражения внутренней структуры (слева) и внешней поверхности (справа) цветоложе земляники в диапазоне длин волн 600-650 нм в ходе эксперимента. Разброс определялся значениями интегрального коэффициента отражения в отдельных пикселях, относящихся к цветоложу земляники.

По полученным значениям интегрального спектрального коэффициента отражения были построены регрессионные модели 1, 2 и 3 порядков (рис. 4). Регрессионные модели первого порядка, полученные по данным изменения спектральных свойств внутренней структуры и внешней поверхности плодов, позволили определить срок после сбора земляники с $R^2 = 0.76$, RE = 23.88 %, RMSE = 0.78 и $R^2 = 0.77$, RE = 22.93 %, RMSE = 1.63. При небольших различиях меньшую среднеквадратичную ошибку показала модель, связанная с внешней структурой. Параметры моделей первого и второго порядка имеют схожие значения. Наиболее достоверной моделью из представленных на рисунке 4 оказалась регрессия третьего порядка, полученная по данным съемки внешней поверхности плодов с показателями $R^2 = 0.83$, RE = 17.47%, RMSE = 0.67, что согласуется с литературными данными о нелинейности изменения в пигментации при деградации плодов земляники после сбора.

Для проведения регрессионного анализа по описанной схеме были выбраны 4 наиболее информативные длины волны (610 нм, 630 нм, 646 нм, 680 нм), коэффициенты отражения на которых далее использовались при построении многомерной линейной регрессии. Полученная модель обеспечила определение срока после сбора земляники с наиболее высокими оценочными показателями $R^2 = 0.96$, RE = 22.78% и RMSE = 1.41.

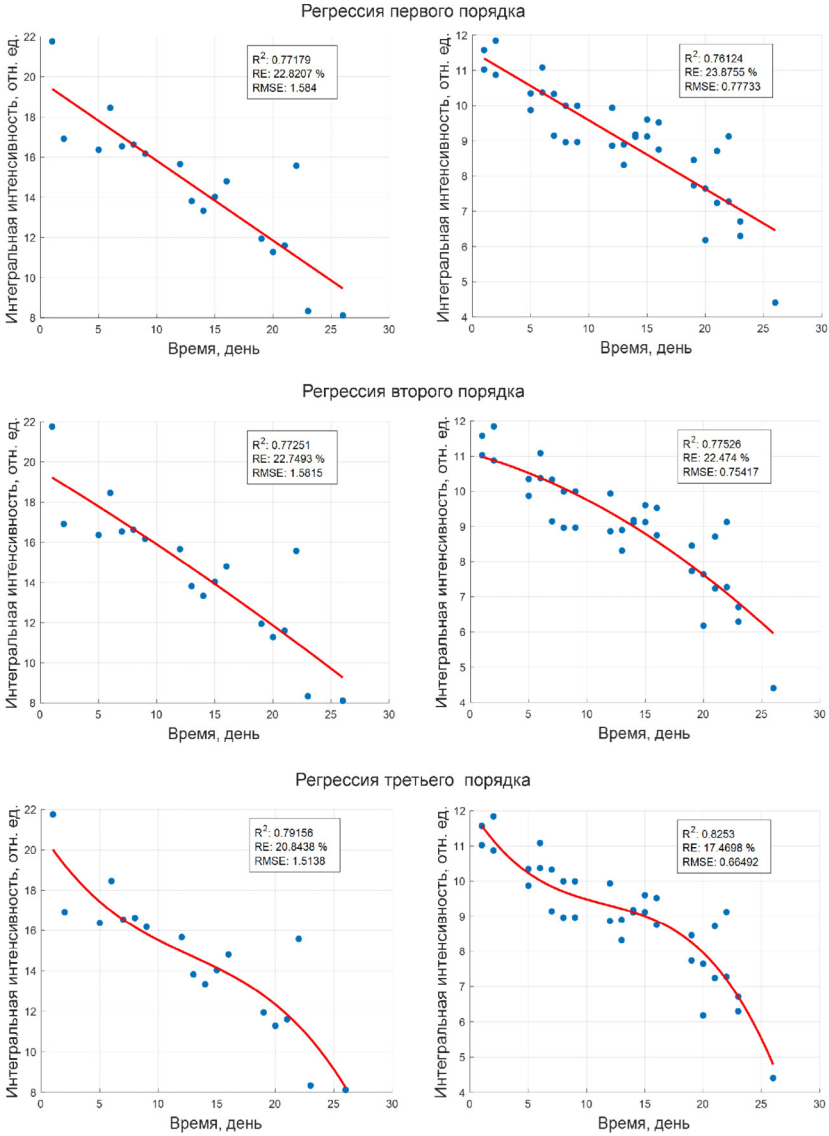


Рис. 5. Регрессионные модели разных порядков, построенные на основе данных об изменениях спектральных характеристик внутренней структуры (левый столбец) и внешней поверхности плодов (правый столбец).

Обсуждение

Работа посвящена исследованию возможности оценки свежести клубники с помощью гиперспектральной съемки. Ключевыми этапами предложенной методики являются подготовка образцов, регистрация спектральных изображений, их последующая обработка и анализ. В ходе экспериментальной апробации методики на плодах клубники сорта Ремонтантная Елизавета II были исследованы отдельные аспекты каждого из этапов и определены рекомендации к протоколу измерений, обеспечивающие наибольшую точность определения срока после сбора плодов.

Наиболее высокие значения оценочных показателей, а именно коэффициента детерминации, среднеквадратичной и относительной ошибки, были получены для моделей описания изменений спектральных характеристик плода во времени, построенных на основе данных гиперспектральной съемки внешней поверхности плодов. Такой результат, можно объяснить тем, что деградация тканей плода со временем в значительной степени связана с контактом кожицы плода с атмосферным воздухом, а внутренняя часть плода при этом дольше остается неизменной.

Конкретная реализация методики может зависеть от характеристик выбранного видеоспектрометра. Так, возможно упрощенное проведение измерений с помощью стандартной широкополосной монохромной камеры и оптического фильтра, выделяющего спектральный диапазон длин волн 600-650 нм. В этом случае для оценки имеется один признак и при анализе предпочтительным оказывается использование одномерной регрессионной модели третьего порядка, позволяющей учесть нелинейный характер изменений спектральный свойств плода, показанный в настоящей и других работах [5,12]. Использование видеоспектрометра или широкополосной камеры с узкополосными фильтрами с максимальным пропусканием на длинах волн 610 нм, 630 нм, 646 нм и 680 нм обеспечит возможность применения многомерного регрессионного анализа, показавшего наибольшую точность в оценке свежести земляники. Следует отметить, что значения определенных в настоящей работе наиболее информативных длин волн могут потребовать уточнения при работе с другими сортами земляники и видами плодовых растений. Преимуществом акустооптического видеоспектрометра является возможность произвольного выбора канала, обеспечивающего одновременно высокую производительность измерений и пригодность для работы с различными сортами и культурами.

Заключение

Исследована возможность количественного анализа свежести клубники на основе гиперспектральной съемки. Этот метод выгодно отличают точность, объективность, производительность и автоматизированность оценки. Экспериментальная апробация методики позволила подтвердить ее эффективность, а также выработать рекомендации по оптимальной реализации основных этапов, которые будут полезны для развития методов спектральной диагностики продуктов питания. Предложенный подход к оценке состояния плодов может стать дополнением традиционных методов контроля качества пищевой продукции и использоваться при формировании оптимальных методик транспортировки, обработки, хранения и реализации партий земляники.

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

Информация о спонсорстве. Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания НТЦ УП РАН (проект FFNS-2022-0010).

Благодарности. Результаты работы получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования Научно-технологического центра уникального приборостроения РАН (НТЦ УП РАН) [http://ckp.ntcup.ru].

Список литературы

1. Леонтьева, Л. Н. (2012). Последовательный выбор признаков при восстановлении регрессии. *Машинное обучение и анализ данных*, *1*(3), 335–346.
2. Pozhar, V. E., et al. (2019). Hyperspectrometer based on an acousto-optic tunable filter for unmanned aerial vehicles. *Light & Engineering*, *27*(3), 99–104. https://doi.org/10.33383/2018-029
3. Azzini, E., et al. (2010). Bioavailability of strawberry antioxidants in human subjects. *British Journal of Nutrition*, *104*(8), 1165–1173. https://doi.org/10.1017/S000711451000187X
4. Bae, H., et al. (2014). Assessment of organic acids and sugars in apricots, plums, plumcots, and peaches during fruit maturation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *87*, 24–29. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.004
5. Bevacqua, D., Quilot-Turion, B., & Bolzoni, L. (2018). A model for temporal dynamics of brown rot propagation in fruit orchards. *Phytopathology*, *108*(5), 595–601. https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-17-0250-R
6. Choi, J. Y., et al. (2021). Application of convolutional neural networks to assess the external quality of strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, *102*, 86–94. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104071

7. Devassy, B. M., & George, S. (2021). Comparison of Regression Models for Estimating Strawberry Firmness Using Hyperspectral Imaging: Spectral Preprocessing to Compensate for Packaging Film. *Journal of Spectral Imaging*, *10*, 55–69. https://doi.org/10.1255/jsi.2021.a3
8. ElMasry, G., et al. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberries. *Journal of Food Engineering*, *81*(1), 98–107. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.016
9. Gao, Z., et al. (2020). Real-time hyperspectral imaging for estimating strawberry ripeness in the field using deep learning. *Artificial Intelligence in Agriculture*, *4*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.003
10. Giampieri, F., et al. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, *28*(1), 9–19. https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009
11. Hu, X. F., et al. (2016). Nondestructive hardness assessment of kiwifruit using near-infrared spectroscopy. *Proceedings - 2016 6th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2016*, pp. 69–72. https://doi.org/10.1109/IMCCC.2016.109
12. Jha, S. K., et al. (2010). Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage. *Journal of Food Engineering*, *97*(2), 208–212. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.011
13. Katrašnik, J., Pernuš, F., & Likar, B. (2013). Radiometric calibration and noise estimation of acousto-optic tunable filter hyperspectral imaging systems. *Applied Optics*, *52*(15), 3526–3537. https://doi.org/10.1364/AO.52.003526
14. Ktenioudaki, A., et al. (2022). Decision support tool for determining shelf-life of strawberries using hyperspectral imaging technology. *Biosystems Engineering*, *221*, 105–117. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.013
15. Lu, R., & Peng, Y. (2006). Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Engineering*, *93*(2), 161–171. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.11.004
16. Mendoza, F., et al. (2011). Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, *62*(2), 149–160. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.009
17. Nunes, C. N., & Emond, J.-P. (2007). Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, *120*, 235–245.
18. Omar, A. F. (2013). Spectroscopic profiling of soluble solids content and acidity of intact grapes, limes, and starfruit. *Sensor Review*, *33*(3), 238–245. https://doi.org/10.1108/02602281311324690

19. Sánchez, M. T., et al. (2012). Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data. *Journal of Food Engineering*, *110*(1), 102–108. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.003
20. Seki, H., et al. (2023). Visualization of sugar content distribution in white strawberries using near-infrared hyperspectral imaging. *Foods*, *12*(5), 122–136. https://doi.org/10.3390/foods12050931
21. Shao, Y., & He, Y. (2008). Nondestructive measurement of acidity of strawberries using visible and near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, *11*(1), 102–111. https://doi.org/10.1080/10942910701257057
22. Wang, H., et al. (2015). Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review. *Sensors (Switzerland)*, *15*(5), 11889–11927. https://doi.org/10.3390/s150511889
23. Zhang, C., et al. (2016). Hyperspectral imaging analysis for ripeness evaluation of strawberries using support vector machine. *Journal of Food Engineering*, *179*, 11–18. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.002
24. Zhang, D., et al. (2018). Rapid prediction of sugar content in Dangshan pear (*Pyrus spp.*) using hyperspectral imagery data. *Food Analytical Methods*, *11*(8), 2336–2345. https://doi.org/10.1007/s12161-018-1212-3
25. Zhang, Y., et al. (2015). Predicting apple sugar content based on spectral characteristics of apple tree leaves in different phenological stages. *Computers and Electronics in Agriculture*, *112*, 20–27. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.006

References

1. Leonteva, L. N. (2012). Sequential feature selection in regression recovery. *Journal of Machine Learning and Data Analysis*, *1*(3), 335–346.
2. Pozhar, V. E., et al. (2019). Hyperspectrometer based on an acousto-optic tunable filter for unmanned aerial vehicles. *Light & Engineering*, *27*(3), 99–104. https://doi.org/10.33383/2018-029
3. Azzini, E., et al. (2010). Bioavailability of strawberry antioxidants in human subjects. *British Journal of Nutrition*, *104*(8), 1165–1173. https://doi.org/10.1017/S000711451000187X
4. Bae, H., et al. (2014). Assessment of organic acids and sugars in apricots, plums, plumcots, and peaches during fruit maturation. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *87*, 24–29. https://doi.org/10.5073/JABFQ.2014.087.004
5. Bevacqua, D., Quilot-Turion, B., & Bolzoni, L. (2018). A model for temporal dynamics of brown rot propagation in fruit orchards. *Phytopathology*, *108*(5), 595–601. https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-17-0250-R

6. Choi, J. Y., et al. (2021). Application of convolutional neural networks to assess the external quality of strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, *102*, 86–94. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104071
7. Devassy, B. M., & George, S. (2021). Comparison of Regression Models for Estimating Strawberry Firmness Using Hyperspectral Imaging: Spectral Preprocessing to Compensate for Packaging Film. *Journal of Spectral Imaging*, *10*, 55–69. https://doi.org/10.1255/jsi.2021.a3
8. ElMasry, G., et al. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberries. *Journal of Food Engineering*, *81*(1), 98–107. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.016
9. Gao, Z., et al. (2020). Real-time hyperspectral imaging for estimating strawberry ripeness in the field using deep learning. *Artificial Intelligence in Agriculture*, *4*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.04.003
10. Giampieri, F., et al. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, *28*(1), 9–19. https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.08.009
11. Hu, X. F., et al. (2016). Nondestructive hardness assessment of kiwifruit using near-infrared spectroscopy. *Proceedings - 2016 6th International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control, IMCCC 2016*, pp. 69–72. https://doi.org/10.1109/IMCCC.2016.109
12. Jha, S. K., et al. (2010). Firmness characteristics of mango hybrids under ambient storage. *Journal of Food Engineering*, *97*(2), 208–212. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.011
13. Katrašnik, J., Pernuš, F., & Likar, B. (2013). Radiometric calibration and noise estimation of acousto-optic tunable filter hyperspectral imaging systems. *Applied Optics*, *52*(15), 3526–3537. https://doi.org/10.1364/AO.52.003526
14. Ktenioudaki, A., et al. (2022). Decision support tool for determining shelf-life of strawberries using hyperspectral imaging technology. *Biosystems Engineering*, *221*, 105–117. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.013
15. Lu, R., & Peng, Y. (2006). Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Engineering*, *93*(2), 161–171. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.11.004
16. Mendoza, F., et al. (2011). Integrated spectral and image analysis of hyperspectral scattering data for prediction of apple fruit firmness and soluble solids content. *Postharvest Biology and Technology*, *62*(2), 149–160. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.009
17. Nunes, C. N., & Emond, J.-P. (2007). Relationship between weight loss and visual quality of fruits and vegetables. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, *120*, 235–245.

18. Omar, A. F. (2013). Spectroscopic profiling of soluble solids content and acidity of intact grapes, limes, and starfruit. *Sensor Review*, *33*(3), 238–245. https://doi.org/10.1108/02602281311324690
19. Sánchez, M. T., et al. (2012). Non-destructive characterization and quality control of intact strawberries based on NIR spectral data. *Journal of Food Engineering*, *110*(1), 102–108. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.003
20. Seki, H., et al. (2023). Visualization of sugar content distribution in white strawberries using near-infrared hyperspectral imaging. *Foods*, *12*(5), 122–136. https://doi.org/10.3390/foods12050931
21. Shao, Y., & He, Y. (2008). Nondestructive measurement of acidity of strawberries using visible and near infrared spectroscopy. *International Journal of Food Properties*, *11*(1), 102–111. https://doi.org/10.1080/10942910701257057
22. Wang, H., et al. (2015). Fruit quality evaluation using spectroscopy technology: A review. *Sensors (Switzerland)*, *15*(5), 11889–11927. https://doi.org/10.3390/s150511889
23. Zhang, C., et al. (2016). Hyperspectral imaging analysis for ripeness evaluation of strawberries using support vector machine. *Journal of Food Engineering*, *179*, 11–18. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.002
24. Zhang, D., et al. (2018). Rapid prediction of sugar content in Dangshan pear (*Pyrus spp.*) using hyperspectral imagery data. *Food Analytical Methods*, *11*(8), 2336–2345. https://doi.org/10.1007/s12161-018-1212-3
25. Zhang, Y., et al. (2015). Predicting apple sugar content based on spectral characteristics of apple tree leaves in different phenological stages. *Computers and Electronics in Agriculture*, *112*, 20–27. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.01.006

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Нестеров Георгий Владимирович, инженер-исследователь лаборатории акустооптической спектроскопии
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
ул. Бутлерова, 15, г. Москва, 117342, Российская Федерация
NesterovGeorgiyV@yandex.ru

Гурылева Анастасия Валентиновна, научный сотрудник лаборатории акустооптической спектроскопии
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
ул. Бутлерова, 15, г. Москва, 117342, Российская Федерация
guryleva.av@ntcup.ru

Шарикова Милана Олеговна, младший научный сотрудник лаборатории акустооптической спектроскопии
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
ул. Бутлерова, 15, г. Москва, 117342, Российская Федерация
sharikova.mo@ntcup.ru

Суханова Светлана Александровна, генеральный директор
Общество с ограниченной ответственностью «ФОТИНИЯ. И. ТОПОС ЛАБОРАТОРИЯ»
ул. Калинина, 107а, ст-ца Динская, Динской р-н, Краснодарский край, 353204, Российская Федерация
f.i.toposlab@mail.ru

Мачихин Александр Сергеевич, заведующий лабораторией акустооптической спектроскопии
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН
ул. Бутлерова, 15, г. Москва, 117342, Российская Федерация
machikhin@ntcup.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Georgiy V. Nesterov, Research Engineer at the Laboratory of Acousto-optic Spectroscopy
Scientific and Technological Center of Unique Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences
15, Butlerova Str., Moscow, 117342, Russian Federation
NesterovGeorgiyV@yandex.ru
SPIN-code: 7418-5381
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2239-3725

Anastasia V. Guryleva, Researcher at the Laboratory of Acousto-optic Spectroscopy
Scientific and Technological Center of Unique Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences

15, Butlerova Str., Moscow, 117342, Russian Federation
guryleva.av@ntcup.ru
SPIN-code: 2873-8095
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2239-3725
ResearcherID: ABA-3399-2021
Scopus Author ID: 57212027073

Milana O. Sharikova, Junior Researcher at the Laboratory of Acousto-optic Spectroscopy
Scientific and Technological Center of Unique Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences
15, Butlerova Str., Moscow, 117342, Russian Federation
sharikova.mo@ntcup.ru
SPIN-code: 5269-2077
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5593-6170
ResearcherID: GQY-7045-2022
Scopus Author ID: 57218281289

Svetlana A. Sukhanova, General Director
'FOTINIA. I. TOPOS LABORATORY' Limited Liability Company
107a, Kalinina Str., Dinskaya, Dinskoy District, Krasnodar Krai, 353204, Russian Federation
f.i.toposlab@mail.ru

Alexander S. Machikhin, Head of the Laboratory of Acousto-optic Spectroscopy
Scientific and Technological Center of Unique Instrument Engineering of the Russian Academy of Sciences
15, Butlerova Str., Moscow, 117342, Russian Federation
machikhin@ntcup.ru
SPIN-code: 4060-7193
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2864-3214
ResearcherID: L-4381-2016
Scopus Author ID: 23012533400

Поступила 15.05.2024
После рецензирования 28.05.2024
Принята 05.06.2024

Received 15.05.2024
Revised 28.05.2024
Accepted 05.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084 **EDN: ZPRLTT**
УДК 664.68

CC BY NC ND

Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ ПШЕНИЧНО-ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Р.Х. Кандроков, С.А. Катин, А.О. Сивцев, Д.Н. Верьемьев, Е.В. Пестова

Аннотация

Обоснование. В Российской Федерации хлебопекарная и мукомольная отрасли являются опорными для всей пищевой промышленности. Продукция этих отраслей входит в ежедневный рацион питания практически каждого человека в нашей стране. Сегодняшние тенденции на здоровое питание в рамках здорового образа жизни заставляют производителей экспериментировать с различными добавками или заменять стандартное сырье для выпечки хлебобулочных изделий на нетрадиционное с аналогичными хлебопекарными достоинствами, но при этом более сбалансированных и обогащенных, например, белковой или витаминной составляющей.

Целью работы является разработка технологических решений использования цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения при производстве хлебобулочных изделий.

Методы. С помощью общепринятых физико-химических и органолептических методов анализировали объекты исследования – образцы цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения и хлебобулочные изделия из них.

Результаты. Разработана технология получения цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки и рецептура формового пшенично-тритикалевого хлеба из нее. Установлено, что с увеличением количества зерна тритикале в помольной пшенично–тритикалевой зерновой смеси происходит снижение выхода пшенично–тритикалевой муки. Наибольший выход цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки получается при добавлении 20 % зерна тритикале и составляет 97,0 %.

Заключение. Установлено, что наибольшее влияние добавление зерна тритикале в помольную смесь оказала на показатели объемного выхода хлеба и его формоустойчивость. При этом объемный выход хлеба снизился на 28,1 %, а формоустойчивость на 35 % по сравнению с хлебом из контрольной пшеничной муки 1-го сорта. Выявлено, что добавление зерна тритикале в пшеницу не оказывало существенного влияния на массу, пористость, влажность и кислотность хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки. Наилучшие показатели выявлены у образца из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в соотношении 60/40 %, при этом сохраняется типичный вкус ржаного хлеба и добавляется приятный тритикалевый привкус, который можно охарактеризовать как отрубянистый с легкой горчинкой.

Ключевые слова: цельносмолотая пшенично-тритикалевая мука; хлебобулочные изделия; показатели качества; зерновая смесь

Для цитирования. Кандроков, Р. Х., Катин, С. А., Сивцев, А. О., Верьемьев, Д. Н., & Пестова, Е. В. (2025). Использование цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки для производства хлебобулочных изделий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 518-543. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084

Original article

USE OF WHOLE GRIND WHEAT-TRITICAL FLOUR FOR PRODUCTION BAKERY PRODUCTS

R.H. Kandrokov, S.A. Katin, A.O. Sivtsev, D.N. Veremyev, E.V. Pestova

Abstract

Background. In the Russian Federation, the baking and flour-grinding industries are the backbone of the entire food industry. The products of these industries are included in the daily diet of almost every person in our country. Today's trends towards healthy eating as part of a healthy lifestyle force manufacturers to experiment with various additives or replace standard raw materials for baking baked goods with non-traditional ones with similar baking advantages, but at the same time more balanced and enriched, for example, with a protein or vitamin component.

The **purpose** of the work is to develop technological solutions for the use of whole-ground wheat-triticale flour of various ratios in the production of bakery products.

Methods. Using generally accepted physicochemical and organoleptic methods, we analyzed the objects of study - samples of whole-ground wheat-triticale flour of various ratios and bakery products made from them.

Results. A technology has been developed for producing whole-milled wheat-triticale flour and a recipe for molded wheat-triticale bread from it. It has been established that with an increase in the amount of triticale grain in the milling wheat-triticale grain mixture, the yield of wheat-triticale flour decreases. The highest yield of whole-ground wheat-triticale flour is obtained by adding 20% triticale grain and is 97.0 %.

Conclusion. It was found that the addition of triticale grain to the grinding mixture had the greatest impact on the volumetric yield of bread and its dimensional stability. At the same time, the volumetric yield of bread decreased by 28.1 %, and dimensional stability by 35 % compared to bread made from control 1st grade wheat flour. It was revealed that the addition of triticale grain to wheat did not have a significant effect on the weight, porosity, moisture and acidity of bread made from whole-milled wheat-triticale flour. The best performance was found for a sample made from whole-ground wheat-triticale flour in a ratio of 60/40 %, while maintaining the typical taste of rye bread and adding a pleasant triticale flavor, which can be described as bran with a slight bitterness.

Keywords: whole-milled wheat-triticale flour; bakery products; quality indicators; grain mixture

For citation. Kandrokov, R. H., Katin, S. A., Sivtsev, A. O., Veremyev, D. N., & Pestova, E. V. (2025). Use of whole grain wheat-triticale flour for production bakery products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 518–543. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1084

Введение

В Российской Федерации хлебопекарная и мукомольная отрасли являются опорными для всей пищевой промышленности. Продукция этих отраслей входит в ежедневный рацион питания практически каждого человека в нашей стране. Сегодняшние тенденции на здоровое питание в рамках здорового образа жизни заставляют производителей экспериментировать с различными добавками или заменять стандартное сырье для выпечки хлебобулочных изделий на нетрадиционное с аналогичными хлебопекарными достоинствами, но при этом более сбалансированных и обогащенных, например, белковой или витаминной составляющей [1].

Популяризация правильного питания в современном мире имеет под собой определенные причины. По данным Всемирной Организации

Здравоохранения на сегодняшний день большинство заболеваний не инфекционной природы вызвано или стимулируется неправильной и несбалансированной моделью питания – результатом несоблюдение распорядка дня, режимов труда и отдыха, обилием разнообразного фастфуда и перекусов на ходу. Проблемы чрезмерного потребления быстрых углеродов заставляет производителей хлебобулочных и мучных кондитерских изделий обратить внимание на использование новых злаковых культур и способов их переработки как источников сырья для производства различных продуктов питания массового спроса [2].

С этой точки зрения, проводятся многочисленные исследования использования перспективной культуры зерна тритикале, как межродового гибрида пшеницы и ржи, сочетающей в себе питательную ценность первого родителя, и неприхотливость и экологическую пластичность второго. Кроме этого, на сегодняшний момент выведены сорта тритикале с повышенным содержанием белка до 17 % и стекловидной структурой зерна, что также положительно влияет на его мукомольные и хлебопекарные достоинства [2; 3; 11; 15].

Тритикале (Triticale) – сельскохозяйственная культура, выведенная селекционерами еще в конце позапрошлого столетия в результате межродовой гибридизации пшеницы (Triticum) с рожью (Secale) [4]. С 1970-х годов прошлого века неприхотливость зерна тритикале к условиям выращивания, экологическая пластичность и потенциал культуры, как в кормовой, так и в пищевой промышленности, привлекло внимание многих ученых, биологов, агрономов, сельскохозяйственных производителей по всему миру, и продолжает привлекать и по сей день [5].

Зерно тритикале имеет стекловидную структуру при содержании белка от 10 до 17 %, из которых 27-28 % водорастворимые (альбумины), 25-26% спирторастворимые (проламины) и 8 % солерастворимые (глобулины). С точки зрения биохимических компонентов зерна тритикале также выделяют высокое содержание углеводов - 68,8 %, среди которых около 3 % клетчатки; 1,5 % жира и 2 % минеральных веществ - золы. Крахмал зерна тритикале в основном состоит из амилопектина – около 76 %, тогда как на амилозу приходиться всего 24 % [6; 7].

Сорта тритикале, в зависимости от их биологических свойств, делят на три группы: зерновые, кормовые и зерно-кормовые. Зерно ярового и озимого тритикале, может использоваться для производства муки и выпечки мучных кондитерских изделий, однако основное его использование на сегодняшний день – это как зерновой компонент при производстве

комбикормов [8; 9]. Проанализировав данные ФГБУ «ГосСортКомиссия» - Государственного реестра селекционных достижений, можно сделать вывод о повышенном спросе производителей тритикале на селекцию именно озимых видов. По данным ФГБУ «Россельхозцентр» за период с 2021 по 2023 год в пятерку наиболее востребованных на территории РФ озимых сортов тритикале стали Торнадо (2007), Тихон (2019), Башкирская короткостебельная (2007), Немчиновский-56 (2006) и Алмаз (2012). Из них к кормовым сортам относится только Немчиновский-56 и Торнадо, а все остальные сорта являются пищевыми. Соотношение по объемам высева равно 2,5 тыс. га/3,3 тыс. га, соответственно [10; 11].

Это доказывает большую заинтересованность в тритикале как в сырье для производства продуктов питания, в частности, как муки для хлебопекарной и кондитерской промышленности. Многочисленные исследования в этой области позволили установить следующие оптимальные показатели для зерна при производстве муки: натура – 750-770 г/л, для озимого тритикале допустимо 712-740 г/л; масса 1000 зерен – 30-40 г; стекловидность зерна – более 50 %; содержание белка в зерне – 14-16 % [12-14; 16].

В ходе исследований также были сформулированы требования к тритикалевой муке. Ее количество клейковины должно быть от 28 % и выше; качество клейковины – 45-75 ед. пр. ИДК; число падения на амилотесте – от 200 секунд. При работе с тестом из тритикалевой муки его деформация должна соответствовать пределам от 280 до 400 ус. ед. при валориметрической оценке в 85 ус. ед. Однако, следует отметить, что сорта тритикале с таким повышенным содержанием клейковины встречаются крайне редко, что обусловлено его химическим составом и сортовыми особенностями [15].

Действующий ГОСТ 34142–2017 на тритикалевую муку, разработанный «ВНИИЗ» - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, подразделяет ее на следующие сорта: Т-60, Т-70, Т-80, Т-120, Т-220 в зависимости от органолептических и физико-химических показателей качества [17]. Несмотря на положительные свойства, использование только тритикалевой муки в хлебопечении значительно усложняется тем, что хлебопекарные свойства этой культуры, по результатам анализа большого количества исследований, во многом уступают хлебопекарным свойствам пшеничной муки в т.ч. по содержанию клейковины и ее качеству. При этом наличие активной α-амилазы и высокомолекулярных слизей, доставшихся от зерна ржи, представляют трудности в работе

с тестом из тритикалевой муки. В целях улучшения качества клейковины муки, рекомендуется к зерну тритикале добавлять зерно пшеницы при составлении помольных смесей [18-21].

Существуют также способы обогатить основное сырье хлебопекарной промышленности – пшеничную хлебопекарную муку высшего сорта, изменив способы и параметры помола зерна пшеницы. Мука пшеничная высшего сорта считается наименее полезной с точки зрения пищевой ценности, так как почти полностью состоит из центральной части зерна, которая, в свою очередь, содержит в себе в основном крахмалистые углеводы. Самой же ценной является мука обойная или цельносмолотая, в процессе производства которой в конечном продукте сохраняется вся польза культуры, ее основные макро- и микроэлементы, сосредоточенные, по большей части, в зародыше и алейроновом слое зерна [22-27].

Целью работы является разработка технологических решений использования цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения при производстве хлебобулочных изделий. Для реализации поставленной цели работы необходимо выполнить следующие задачи:

- исследовать возможность применения в хлебопечении муки цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения и выявление наиболее оптимального соотношения этих культур, при котором происходит положительное влияние на ее хлебопекарные достоинства и позволит повысить пищевую ценность готового изделия;
- произвести лабораторный обойный помол пшенично-тритикалевой зерновой смеси в соотношениях компонентов пшеницы и тритикале: 80 % на 20 %, 70 % на 30 %, 60 % на 40 % и 50 % на 50 %;
- исследовать физико-химические и хлебопекарные свойства полученных образцов цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки, проведение пробных лабораторных выпечек и анализ готовых хлебобулочных изделий;
- провести органолептическую оценку полученных хлебобулочных изделий с помощью дегустационной комиссии.

Научная новизна работы заключается в разработке новой технологии совместного помола зерна пшеницы и тритикале в цельносмолотую пшенично-тритикалевую муку, а также использования ее в качестве замены пшеничной хлебопекарной муки первого сорта при приготовлении хлебобулочных изделий с целью расширения ассортимента.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования применяли зерно яровой пшеницы сортов «Радмира» и «Юбилейная», а также зерно озимой пшеницы сортов «Немчиновская 85» и «Немчиновская 24» урожая 2022 года, из которых составлена помольная смесь в равном долевом соотношении 25:25:25:25. Показатели качества зерна пшеницы различных сортов – компонентов помольной смеси представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели качества исходного зерна пшеницы - компонентов пшенично-тритикалевой помольной смеси

Показатели качества зерна	яровая пшеница Радмира	яровая пшеница Юбилейная	озимая пшеница Немчиновская 85	озимая пшеница Немчиновская 24
Масса 1000 зерен, г	28,86	35,92	31,04	48,46
Натура, г/л	722,8	718,2	599,7	738,4
Влажность, %	13,3	12,1	14,2	14,9
Кислотность, град	2,8	2,8	3,4	2,4
Зольность, %	1,89	1,68	1,73	1,79
Число падения, с	426	353	352	361
Содержание клейковины, %	14,91	19,95	23,21	22,93
Качество клейковины, ед. прибора ИДК	83,2	81,0	74,4	75,5

Кроме зерна пшеницы, объектами наших исследований служили зерно озимого тритикале сортов «Консул», «Слон», «Нина» и «Немчиновский 56» урожая 2022 года, из которых составлена помольная смесь в равном долевом соотношении 25:25:25:25. Показатели качества зерна тритикале различных сортов – компонентов помольной смеси представлены в таблице 2.

В качестве основного сырья использовали: мука цельнозерновая пшенично-тритикалевая в соотношении компонентов 50/50; мука цельнозерновая пшенично-тритикалевая в соотношении компонентов 60/40; мука цельнозерновая пшенично-тритикалевая в соотношении компонентов 70/30; мука цельнозерновая пшенично тритикалевая в соотношении компонентов 80/20; мука пшеничная хлебопекарная первого сорта «СИТНО» от компании АО «Магнитогорский комбинат хлебопродуктов – СИТНО».

Помимо смолотой на базе лаборатории кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» РОСБИОТЕХ цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки, характеристики которой представлены ниже в

таблице 4, к основному сырью, используемой в данной работе, относятся также дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс Экстра» от компании ООО «САФ-НЕВА» и соль пищевая «Экстра» от комбината ООО «Руссоль». Дополнительным сырьем послужили следующие компоненты: сахар белый «Русский» от компании АО «Сахарный комбинат «Отрадинский»; маргарин сливочный «Хозяюшка» и «Нижегородский» 60 % от компании АО «НМЖК».

Таблица 2.

Показатели качества исходного зерна тритикале - компонентов пшенично-тритикалевой помольной смеси

Показатели качества зерна	Тритикале озимый Консул	Тритикале озимый Слон	Тритикале озимый Нина	Тритикале озимый Немчиновский 56
Масса 1000 зерен, г	42,76	47,06	35,48	39,88
Натура, г/л	687,8	685,3	597,5	757,3
Влажность, %	13,3	13,5	14,0	13,9
Кислотность, град	4,0	3,2	4,4	3,2
Зольность, %	1,75	1,69	1,73	1,81
Число падения, с	106	226	102	112
Содержание клейковины, %	5,61	21,85	4,52	20,1
Качество клейковины, ед. прибора ИДК	-	79,3	-	105,2

Пшенично-тритикалевая мука анализировалась по показателям влажности, кислотности, автолитической активности ферментов, а также количественным и качественным показателям клейковины в соответствии с действующей нормативной документацией. Показатель массовой доли влаги муки определяли по ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности». Показатель кислотности определяли титрованием мучной болтушки щелочью по ГОСТ 27493-87. Автолитическую активность или число падения (ЧП) определяли на приборе – амилотест, по суспензии, навеска образца для которой бралась соответственно полученной влажности муки. Количество клейковины определяли отмыванием вручную и взвешиванием сырой клейковины по ГОСТ 31699-2012, а качество на приборе ИДК в соответствии с требованиями ГОСТ 27839-2013. Все анализы проводили также в двух повторностях с высчитыванием средней величины. Статическая обработка полученных экспериментальных данных проводилась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе исследований были проведены лабораторные помолы зерна пшеницы и тритикале различного соотношения в цельносмолотую муку. Для этого составили помольных зерновые смеси в следующих процентных соотношениях зерна пшеницы и тритикале: 50/50 и 60/40, 70/30 и 80/20. После составления помольных смесей проводили гидротермическую обработку образцов методом холодного кондиционирования с расчетным увлажнением до зерна до влажности 14-14,5 % и отволаживанием в течение 16 часов.

Составление помольных партий на этапе подготовки заключалось в смешивании зерна пшеницы четырех различных сортов: ярового Радмира, ярового Юбилейная, озимого Немчиновской-85 и Немчиновской-24, в равных долях по 25 % от общей массы зерна. Как и пшеничный компонент, зерно тритикале смешивали в идентичных пропорциях – по 25 % каждого сорта (озимых Консул, Слон, Нина и Немчиновский 56) к общей массе тритикалевой составляющей.

Технологическая схема помола зерновых смесей состояла всего из двух размольных систем и производился на лабораторной ножевой мельнице «Kitchen, Dining & Bar». Просеивание полученной осуществляли на лабораторном рассеве с частотой вращения 200 оборотов в минуту с использованием полиамидного сита для высеивания цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения с размером отверстия ячеек 220 мкм в течение 8 минут.

Полученные экспериментальные данные по выходу цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки, отрубей и промежуточных продуктов измельчения представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Материальный баланс помола пшенично-тритикалевой зерновой смеси

Выхода продуктов	Соотношение зерна пшеницы и тритикале, %			
	50/50	60/40	70/30	80/20
	Количество полученных продуктов, %			
Мука с 1-ой размольной системы, %	78,0	79,0	77,0	79,0
Промежуточные продукты измельчения после 1-ой размольной системы, %	22,0	21,0	23,0	21,0
Мука со 2-ой размольной системы, %	17,0	17,0	19,0	18,0
Всего цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки, %	95,0	96,0	96,0	97,0
Отруби после 2-ой размольной системы, %	5,0	4,0	4,0	3,0

На следующем этапе исследований определили физико-химические показатели качества полученных образцов цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в различных соотношениях. Физико-химические показатели качества цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в различных соотношениях представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Физико-химические показатели качества цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в различных соотношениях

Соотношение цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки	Влажность, %	Кислотность, град.	Зольность, %	Число падения, ЧП	Клейковина	
					Количество, %	Качество, ед. ИДК
50/50	14,2	8,8	1,89	63	18,56	75,5
60/40	14,4	7,5	1,82	67	20,24	67,9
70/30	14,1	7,0	1,78	66	22,36	68,4
80/20	14,3	6,7	1,74	111	24,40	72,1

Влияние соотношения пшеницы и тртикале на качество полученных образцов цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки представлены на рисунках 1, 2, 3 и 4.

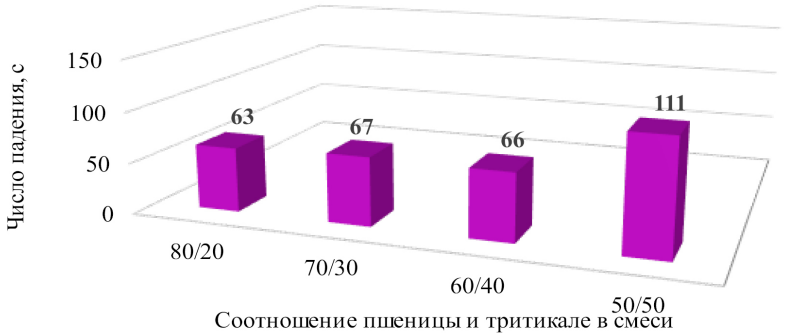


Рис. 1. Влияние соотношения пшкницы и тритикале на число падения цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки

Из графиков можно отметить, что с увеличением количества тритикалевого компонента в помольной смеси происходит повышение влажности и кислотности цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки. Особенно хорошо это заметно на примере скачка показателя при сравнении 60/40 и 50/50 процентного содержания в смеси пшеницы к тритикале на 0,8 % и 1,3 град.,

соответсвенно. Можно отметить уменьшение количества клейковины с добавлением тритикалевого компонента, при этом, однако, заметно резкое улучшение качества клейковины с наибольшим содержанием тритикале в смеси.

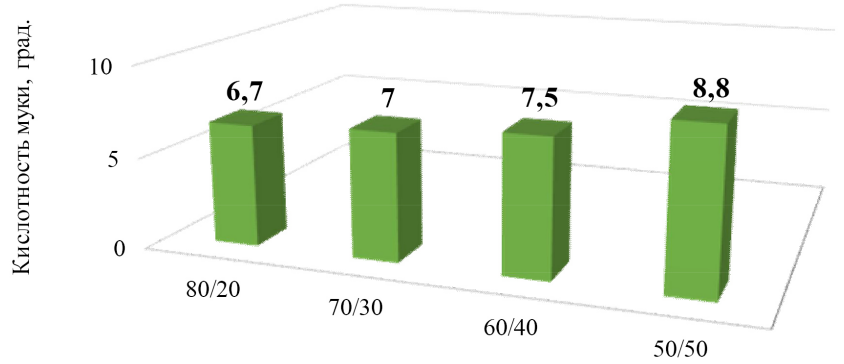


Рис. 2. Кислотность цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения

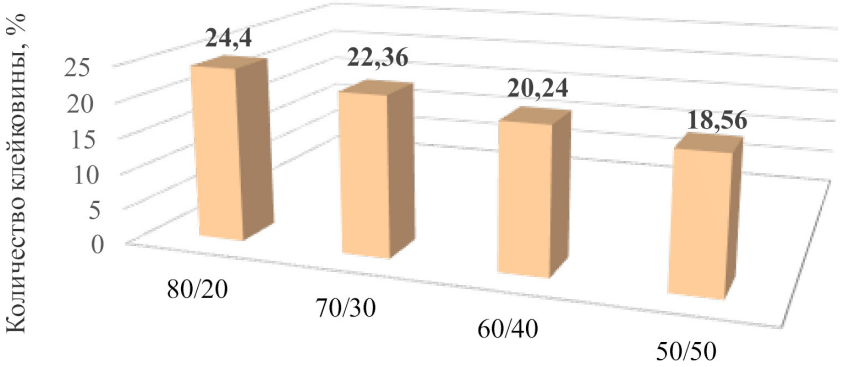


Рис. 3. Содержание клейковины в цельносмолотой пшенично-тритикалевой муке различного соотношения

На следующем этапе исследований были проведены пробные лабораторные выпечки пшенично-тритикалевого хлеба из полученных образцов цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения. Рецептура пшенично-тритикалевого хлеба была разработана на примере

рецептуры формового хлеба из пшеничной муки 1-го сорта из сборника рецептур на хлеб и хлебобулочные изделия [14]. При расчете рецептуры учитывалось как основное, так и вспомогательное сырье, и потому были изменены процентные содержания некоторых компонентов, таких как дрожжи прессованные хлебопекарные, маргарин и сахар. Таким образом, пшенично-тритикалевый хлеб и контрольный образец из пшеничной муки 1-го сорта выпекали по рецептурам, приведенным в таблицах 5 и 6.

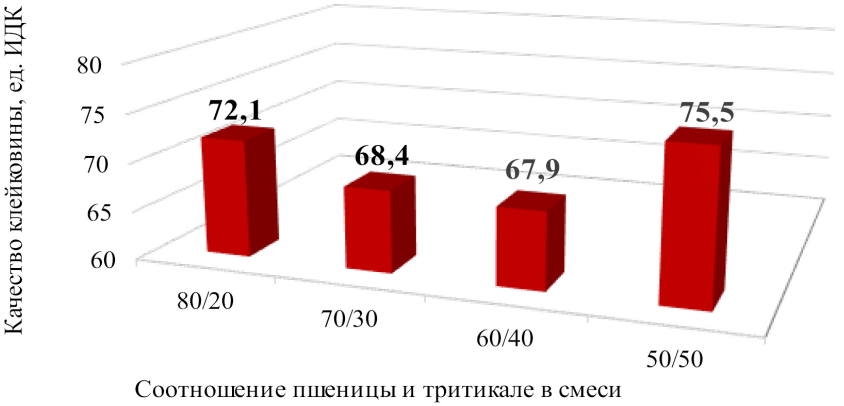


Рис. 4. Качество клейковины цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения

Таблица 5.

Рецептура пшенично-тритикалевого хлеба для пробной выпечки из цельносмолотой муки различного соотношении

Рецептурные компоненты пшенично-тритикалевого хлеба	Количество сырья для приготовления теста по вариантам, %				
	К	80/20	70/30	60/40	50/50
Мука пшеничная (1 сорт)	0,400	-	-	-	-
Мука пшенично-тритикалевая (80/20)	-	0,400	-	-	-
Мука пшенично-тритикалевая (70/30)	-	-	0,400	-	-
Мука пшенично-тритикалевая (60/40)	-	-	-	0,400	-
Мука пшенично-тритикалевая (50/50)	-	-	-	-	0,400
Соль пищевая	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Дрожжи прессованные хлебопекарные	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Сахар белый	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Маргарин	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Вода	0,228	0,228	0,238	0,248	0,248

Все сырье взвешивалось на лабораторных весах GP 3100 Sartorius. Дрожжи предварительно растворяли в 1/3 воды и вносили в виде дрожжевой суспензии при замесе теста. Замес теста производили на тестомесильной машине «KENWOOD» в течение 5 минут в два этапа – тихоходный (1-ый скоростной режим – 3 минут) и интенсивный замес (2-ой скоростной режим – 2 минут). При замесе использовали специальную насадку - крюк для теста. Время брожения теста составило в целом 2 часа, при этом после первого часа брожения совершалась обминка теста. Брожение осуществлялось при температуре 35 °С.

После брожения осуществлялось формование на подовый (200 г теста) и формовой (400 г теста) хлеб. Под и стенки формы предварительно смазывались подсолнечным маслом. Далее тестовые заготовки отправлялись на окончательную расстойку при температуре 40 °С. Примерное время расстойки составило 40 мин и дольше. Выпечка тестовых заготовок осуществлялась в печи при 220 °С на поде - 20 мин, а в форме – 25 мин. Внешний вид пшенично-тритикалевого хлеба из цельносмолотой муки различного соотношения сразу после выпечки представлен на рисунке 5.

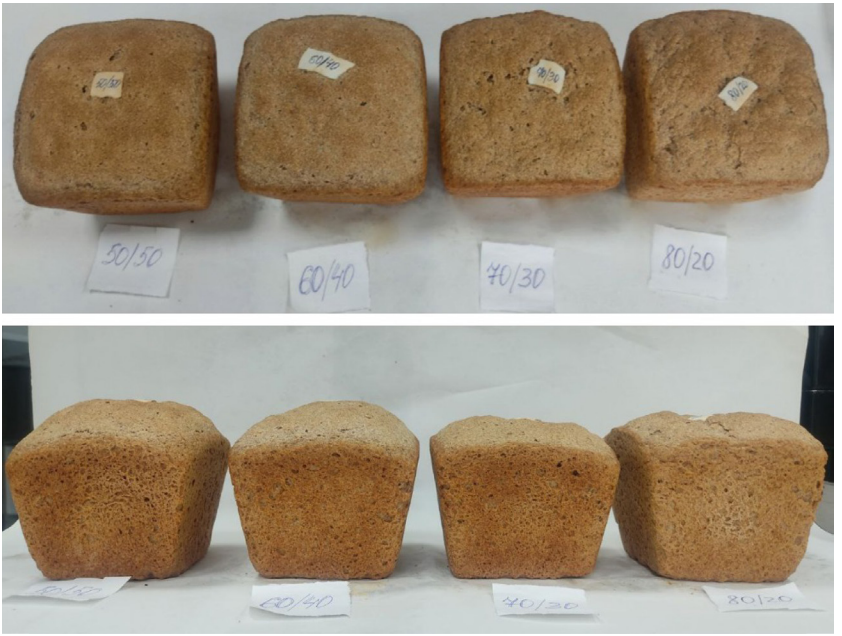


Рис. 5. Внешний вид хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения

На следующем этапе исследований определили физико-химические показатели хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения. Физико-химические анализы полученных образцов хлеба проводили на базе исследовательской лаборатории кафедры «Зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий» ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» в соответствии с требованиями ГОСТ на следующие сутки после выпечки.

Хлеб взвешивали на лабораторных весах по методике из ГОСТ 5667-65; объем полученных изделий измеряли с помощью прибора для измерения объема хлеба ОХЛ-2 и мерного цилиндра. Формоустойчивость (H/D) определяли у подовых образцов на специальной линейке с миллиметровыми делениями как отношение высоты к диаметру. Определение упругих свойств мякиша и его деформации производилось на структурометре «Структурометр СТ-1» путем измерения 10 точек автоматическим надавливанием поршня в мякиш куска анализируемого хлеба и вычислением средних арифметических показателей общей деформации, а также упругой и пластической деформаций мякиша (в таблице 7 - ΔНобщ, ΔНупр и ΔНпл, соответственно).

Определение пористости мякиша проводили по требованиям ГОСТ 5669-96. Из кусков хлеба, отобранных для измерения упругости и пластичности мякиша, при помощи цилиндра из прибора Журавлева сделали 3 пробы, обрезали и одновременно взвешивали [8].

Результаты физических и физико-химических анализов образцов хлеба из контрольной пшеничной хлебопекарной муки 1-го сорта и из цельносмолотой тритикалево-пшеничной муки в различных соотношениях 50/50, 60/40, 70/30 и 80/20 после пробной лабораторной выпечки, представлены в таблице 7.

Как видно из таблицы 7, наибольшее влияние добавление зерна тритикале в помольную смесь оказала на показатели объемного выхода хлеба и его формоустойчивость. При этом объемный выход хлеба снизился на 28,1%, а формоустойчивость на 35 % по сравнению с хлебом из контрольной пшеничной муки 1-го сорта. Выявлено, что добавление зерна тритикале в пшеницу не оказывало существенного влияния на массу, пористость, влажность и кислотность хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки.

Органолептическая оценка полученных изделий проводилась специальной комиссией в составе 8 человек, основываясь на показателях ГОСТ Р 58233-2018 «Хлеб из пшеничной муки. Технические условия». При этом оценивались внешний вид, мякиш, вкус и запах пшенично-тритикалевого хлеба из контрольной муки 1-го сорта и цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения [15].

Таблица 7.

Физические и физико-химические показатели формового хлеба из контрольной муки 1-го сорта и цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения

Продукт, соотношение	Физико-химические показатели								
	Масса, кг	Объем, л	Формоустойчивость, H/D	Свойства мякиша, ед. прибора			Пористость, %	Влажность, %	Кислотность, град.
				ΔНобщ	ΔНпл	ΔНупр			
Контроль	0,363	0,96	0,43	22,56	13,04	9,52	70	44,0	3,10
50/50	0,358	0,69	0,28	13,72	8,27	5,45	72	43,3	4,00
60/40	0,362	0,77	0,31	13,89	8,30	5,59	69	43,7	4,30
70/30	0,361	0,82	0,31	16,81	9,96	6,85	67	44,2	4,75
80/20	0,357	0,84	0,38	18,72	10,86	7,86	68	44,3	5,30

Органолептические показатели контрольного образца хлеба полностью соответствуют показателям ГОСТ Р 58233-2018: форма правильная, соответствующая форме, в которой производили выпечку, изделие с выпуклой поверхностью, без подрывов и трещин, светло-желтого цвета, равномерного по всей корке, слегка подрумяненное сверху и представлены в таблице 8. Мякиш пропеченный, на ощупь не влажный, эластичный, с равномерной хорошо развитой пористостью; следов непромеса и комочков замечено не было. Вкус и запах соответствуют данному виду изделия, без посторонних привкусов и запахов [12].

Таблица 8.

Органолептические показатели качества пшенично-тритикалевого хлеба из контрольной муки 1-го сорта и цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения

Органолептические показатели	Соотношение пшеницы и тритикале 80/20	Соотношение пшеницы и тритикале 70/30	Соотношение пшеницы и тритикале 60/40	Соотношение пшеницы и тритикале 50/50
Внешний вид				
Форма	Соответствующая форме, в которых выпекался хлеб, с выпуклой верхней корки, без боковых выплывов			
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов			
Цвет	Серо-коричневый			Более интенсивный в сравнении с другими образцами

Мякиш				
Пропеченность	Мякиш хлеба пропеченный, эластичный. По мере увеличения процентного содержания тритикале влажность мякиша на ощупь увеличивается			
Промесс	Следы непромеса и комочки отсутствуют			
Пористость	Развитая, равномерная, без пустот и уплотнений			Неравномерная, толстостенная
Запах	Свойственный данному виду изделия, без посторонних ароматов. С увеличением пропорции тритикале появляется сладость в запахе			
Вкус	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса	Во вкусе ощущается небольшая кислинка, вкус хлеба более насыщенный	В послевкусии ощущается легкая приятная горчинка	Вкус хлеба более кислый, в сравнении с остальными образцами, присутствует вкус отрубей

Как видно из таблицы, влажность мякиша на ощупь пшенично-тритикалевого хлеба из цельносмолотой муки увеличивается прямо пропорционально процентному соотношению тритикалевого компонента, что, очевидно, является результатом его способности связывать большее количество воды, в сравнении с пшеничным компонентом. Исходя из общепринятых требований при оценке органолептических характеристик качества хлеба, также особое внимание уделяют разжевываемости мякиша, хотя этот показатель не регламентируется действующим стандартом. При проведении дегустации полученных образцов пшенично-тритикалевого хлеба было отмечено увеличение комкуемости, влажности и клейкости мякиша с увеличением содержания тритикале в композитной мучной смеси, из которой изготавливался хлеб. Кроме того, выявлено, что при увеличении количества тритикалевого компонента в смеси отмечается повышение неоднородности текстуры мякиша хлеба. На рисунках 6 и 7 представлены изображения полученного формового и подового попарно, а также вид в разрезе выпеченных образцов хлеба после остывания в течение суток.

На заключительном этапе исследований группе дегустаторов из 8 человек было предложено по 10 бальной системе оценить полученные хлебобулочные изделия из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки по различным сенсорным показателям: форме изделий, поверхности, виду в изломе, вкусу, цвету и запаху. На основе полученных данных была составлена диаграмма-многоугольник органолептических показателей для пшенично-тритикалевого хлеба из полученных образцов цельносмолотой

пшенично-тритикалевой муки различного соотношения, представленная на рисунке 8.



Рис. 6. Пшенично-тритикалевый хлеб после отлежки в 24 часа в подовом и формовом виде в соотношениях 80/20, 70/30, 60/40 и 50/50



Рис. 7. Пшенично-тритикалевый хлеб: вид в разрезе (слева-направо: 80/20, 70/30, 60/40, 50/50)

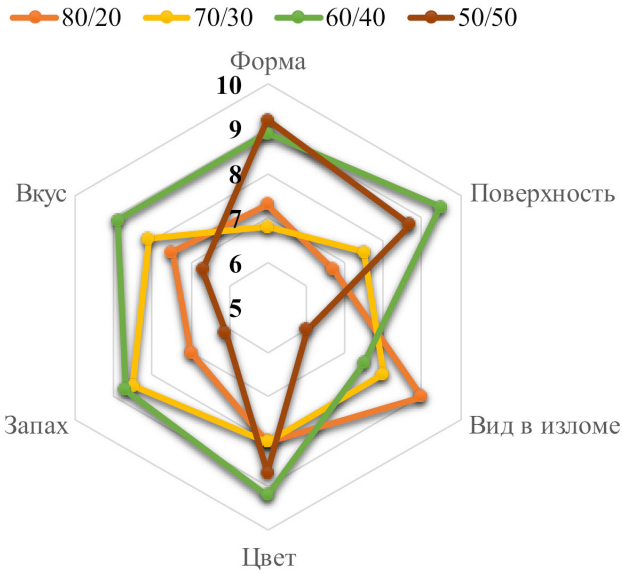


Рис. 8. Многоугольник органолептических показателей хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки различного соотношения (по 10 бальной системе)

Как видно из рисунка, наилучшими органолептическими показателями обладает хлеб, полученный из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в соотношении 60/40.

Выводы

1. По результатам проведенных исследований разработана технология получения цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки и рецептура формового пшенично-тритикалевого хлеба из нее. Установлено, что с увеличением количества зерна тритикале в помольной пшенично–тритикалевой зерновой смеси происходит снижение выхода пшенично–тритикалевой муки. Наибольший выход цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки получается при добавлении 20 % зерна тритикале и составляет 97,0 %.

2. Установлено, что наибольшее влияние добавление зерна тритикале в помольную смесь оказала на показатели объемного выхода хлеба и его формоустойчивость. При этом объемный выход хлеба снизился на 28,1 %, а формоустойчивость на 35 % по сравнению с хлебом из контрольной пшеничной муки 1-го сорта. Выявлено, что добавление зерна тритикале в пшеницу не

оказывало существенного влияния на массу, пористость, влажность и кислотность хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки.

3. По результатам анализов физико-химических и органолептических показателей хлеба наилучшие показатели выявлены у образца из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в соотношении 60/40 %, при этом сохраняется типичный вкус ржаного хлеба и добавляется приятный тритикалевый привкус, который можно охарактеризовать как отрубянистый с легкой горчинкой.

4. Установлено, что наиболее интересным и привлекательным по мнению дегустаторов является образец формового хлеба из цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки в соотношении компонентов 60/40. Это дает основания для дальнейших исследований данного продукта, как наиболее привлекательного из предложенных образцов для потенциального потребителя.

5. На разработанную технологию способа получения цельносмолотой пшенично-льняной муки получен патент РФ № 2809709 на изобретение «Способ получения цельносмолотой пшенично-тритикалевой муки», что свидетельствует не только о научной, но и о практической значимости полученных результатов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Критерии авторства. Кандроков Р.Х. руководил проектом, остальные авторы выполняли исследовательские работы.

Список литературы

1. Богатырева, Т. Г., Белявская, И. Г., & Алексеев, М. И. (2021). Биоконверсия пшенично-тритикалевой муки для обогащения хлеба. *Хлебопродукты*, *(8)*, 44–45. https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-8-44-45
2. Кандроков, Р. Х., Юдина, Т. А., Рубан, Н. В., & Катин, С. А. (2021). Влияние соотношения зерновой смеси пшеницы и тритикале на технологические свойства пшенично-тритикалевой муки. *Российская сельскохозяйственная наука*, *(1)*, 63–66. https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2021-1-63-66
3. Kalnina, S., Rakcejeva, T., Kunkulberga, D., & Galoburda, R. (2015). Rheological properties of whole wheat and whole triticale flour blends for pasta production. *Agronomy Research*, *13*(4), 948–955.
4. Meng, X., Li, T., Zhao, J., Fan, M., Qian, H., Li, Y., & Wang, L. (2023). Effects of Different Bran Pretreatments on Rheological and Functional Properties of

Triticale Whole-Wheat Flour. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(3), 576–588. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02959-1

5. Peirce, E. S., Cockrell, D. M., Ode, P. J., Peairs, F. B., & Nachappa, P. (2022). Triticale as a Potential Trap Crop for the Wheat Stem Sawfly (Hymenoptera: Cephidae) in Winter Wheat. *Frontiers in Agronomy*, *4*, Article 779013. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.779013
6. Mühleisen, J., Piepho, H., Maurer, H. P., Longin, C. F. H., & Reif, J. Ch. (2014). Yield Stability of Hybrids Versus Lines in Wheat, Barley, and Triticale. *Theoretical and Applied Genetics*, *127*(2), 309–316. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2219-1
7. Betz, J., Naumova, N., Burmistrova, O., Burmistrov, E., Rodionova, I., & Naumova, O. (2020). The Use of Multi-Grain Raw Materials in the Formulation of Pasta from Wheat Baking Flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *26*(6), 1315–1322.
8. Mirosavljević, M., Momčilović, V., Čanak, P., Trkulja, D., Mikić, S., Jocković, B., & Pržulj, N. (2018). Grain Filling Variation in Winter Wheat, Barley and Triticale in Pannonian Environments. *Cereal Research Communications*, *46*(4), 697–706. https://doi.org/10.1556/0806.46.2018.036
9. Kharrazi, M. A., & Bobojonov, V. (2012). Identification and Sequence Analysis of Grain Softness Protein in Selected Wheat, Rye and Triticale. *Genetics and Molecular Research*, *11*(3), 2578–2584. https://doi.org/10.4238/2012.July.19.1
10. Кандроков, Р. Х. (2019). Технологические свойства пшенично-тритикалевой муки. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии»*, *7*(3), 13–22.
11. Кандроков, Р. Х., Бекшокова, П. А., & Ерина, Ю. С. (2022). Влияние исходной влажности пшенично-тритикалевой зерновой смеси в соотношении 50/50 % на выход целой пшенично-тритикалевой крупы. *Вестник АПК Верхневолжья*, *(3)*, 74–81. https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.010
12. Горянина, Т. А., & Медведев, А. М. (2020). Хлебобулочные качества зерна озимой тритикале, пшеницы и ржи. *Зерновое хозяйство России*, *(67)*, 28–32. https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-28-32
13. Silva, A. D. N., Ramos, M. L. G., de Alencar, E. R., da Silva, P. C., de Lima, C. A., Vinson, C. C., Ribeiro, W. Q., & Silva, M. A. V. (2020). Water stress alters physical and chemical quality in grains of common bean, triticale and wheat. *Agricultural Water Management*, *231*, 106023. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106023
14. Марадудин, М. С., Симакова, И. В., & Марадудин, А. М. (2021). Влияние муки фасоли белой на реологические свойства композитных смесей на основе муки пшеницы и тритикале. *Технологии пищевой и перерабатыва-*

ющей промышленности АПК – продукты здорового питания, *(3)*, 35–42. https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-35-42

15. Meng, X., Li, T., Zhao, J., Fan, M., Qian, H., Li, Y., & Wang, L. (2023). Effects of different bran pretreatments on rheological and functional properties of triticale whole-wheat flour. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(3), 576–588. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02959-1
16. Zhang, X. Q., Wang, X. P., Jing, J. K., Hu, H., Ross, K., & Gustafson, J. P. (1998). Characterization of wheat-triticale doubled haploid lines by cytological and biochemical markers. *Plant Breeding*, *117*(16), 7–12. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1998.tb01439.x
17. Кандроков, Р. Х., Маар, М. Э., & Ахтанин, С. Н. (2022). Формирование потоков сортовой хлебопекарной тритикалевой муки с учетом кумулятивных кривых зольности. *Ползуновский вестник*, *1*(4), 39–47. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.005
18. Лаптева, Н. К., & Митькиных, Л. В. (2013). Оптимальное соотношение пшеничной, ржаной и тритикале муки в производстве сдобного печенья. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, *39*(34), 35–38.
19. Касынкина, О. М., Орлова, Н. С., & Каневская, И. Ю. (2015). Качество пшеничного хлеба, выпеченного с добавлением муки из тритикале. *Аграрный научный журнал*, *(12)*, 18–20.
20. Adonina, I. G., Shcherban, A. B., Zorina, M. V., Timonova, E. M., Salina, E. A., & Mehdiyeva, S. P. (2022). Genetic features of triticale–wheat hybrids with vaviloid-type spike branching. *Plants*, *11*, 58. https://doi.org/10.3390/plants11010058
21. Asif, M., Eudes, F., Goyal, A., Amundsen, E., Randhawa, H., & Spaner, D. (2013). Organelle antioxidants improve microspore embryogenesis in wheat and triticale. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, *49*(5), 489–497. https://doi.org/10.1007/s11627-013-9514-z
22. Барыльник, К. Г., Кузнецова, Л. И., Лаврентьева, Н. С., Чикида, Н. Н., Бекиш, Л. П., & Комаров, Н. М. (2018). Оценка хлебопекарных свойств муки из тритикале стандартными и альтернативными методами. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, *179*(1), 54–62. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-1-54-62
23. Кандроков, Р. Х., Бегеулов, М. Ш., Ткач, А. Н., Игонин, В. Н., & Поречная, Е. С. (2021). Сравнительная характеристика мукомольных свойств новых сортов пшеницы, тритикале и полбы. *Вестник МГТУ*, *24*(3), 299–305. https://doi.org/10.21603/1560-9278-2021-24-3-299-305
24. Юдина, Т. А., Зиякаева, А. С., & Кандроков, Р. Х. (2021). Влияние ферментных препаратов на качество формового хлеба, приготовленного из

пшенично-тритикалевой муки в соотношении 50:50%. *Международный научно-исследовательский журнал*, *109*(7-1), 111–117. https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.018

25. Kandrokov, R. K. (2023). Effects of triticale flour on the quality of honey cookies. *Foods and Raw Materials*, *7*(2), 216–223. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-568
26. Воронов, С. И., Кузьмич, М. А., Медведев, А. М., Соболева, Е. В., & Кузьмич, Л. С. (2023). Мукомольные и хлебопекарные достоинства зерна тритикале селекции ВИЦ «Немчиновка». *Аграрная Россия*, *(4)*, 9–14. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-4-9-14

References

1. Bogatyreva, T. G., Belyavskaya, I. G., & Alekseev, M. I. (2021). Biotransformation of Wheat-Triticale Flour for Enriching Bread. *Khlebobulochnye Produkty*, *(8)*, 44–45. https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-8-44-45
2. Kandrokov, R. Kh., Yudina, T. A., Ruban, N. V., & Katin, S. A. (2021). Influence of Wheat and Triticale Grain Mix Ratio on Technological Properties of Wheat-Triticale Flour. *Russian Agricultural Science*, *(1)*, 63–66. https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2021-1-63-66
3. Kalnina, S., Rakcejeva, T., Kunkulberga, D., & Galoburda, R. (2015). Rheological properties of whole wheat and whole triticale flour blends for pasta production. *Agronomy Research*, *13*(4), 948–955.
4. Meng, X., Li, T., Zhao, J., Fan, M., Qian, H., Li, Y., & Wang, L. (2023). Effects of Different Bran Pretreatments on Rheological and Functional Properties of Triticale Whole-Wheat Flour. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(3), 576–588. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02959-1
5. Peirce, E. S., Cockrell, D. M., Ode, P. J., Peairs, F. B., & Nachappa, P. (2022). Triticale as a Potential Trap Crop for the Wheat Stem Sawfly (Hymenoptera: Cephidae) in Winter Wheat. *Frontiers in Agronomy*, *4*, Article 779013. https://doi.org/10.3389/fagro.2022.779013
6. Mühleisen, J., Piepho, H., Maurer, H. P., Longin, C. F. H., & Reif, J. Ch. (2014). Yield Stability of Hybrids Versus Lines in Wheat, Barley, and Triticale. *Theoretical and Applied Genetics*, *127*(2), 309–316. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2219-1
7. Betz, J., Naumova, N., Burmistrova, O., Burmistrov, E., Rodionova, I., & Naumova, O. (2020). The Use of Multi-Grain Raw Materials in the Formulation of Pasta from Wheat Baking Flour. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *26*(6), 1315–1322.

8. Mirosavljević, M., Momčilović, V., Čanak, P., Trkulja, D., Mikić, S., Jocković, B., & Pržulj, N. (2018). Grain Filling Variation in Winter Wheat, Barley and Triticale in Pannonian Environments. *Cereal Research Communications*, *46*(4), 697–706. https://doi.org/10.1556/0806.46.2018.036
9. Kharrazi, M. A., & Bobojonov, V. (2012). Identification and Sequence Analysis of Grain Softness Protein in Selected Wheat, Rye and Triticale. *Genetics and Molecular Research*, *11*(3), 2578–2584. https://doi.org/10.4238/2012.July.19.1
10. Kandrokov, R. Kh. (2019). Technological properties of wheat-triticale flour. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnologies*, *7*(3), 13–22.
11. Kandrokov, R. Kh., Bekshokova, P. A., & Yerina, Yu. S. (2022). Effect of initial moisture content of wheat-triticale grain mixture (50/50%) on yield of whole wheat-triticale groats. *Bulletin of APK Upper Volga Region*, *(3)*, 74–81. https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.010
12. Goryanina, T. A., & Medvedev, A. M. (2020). Baking qualities of winter triticale, wheat, and rye grains. *Grain Farming of Russia*, *(67)*, 28–32. https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-67-1-28-32
13. Silva, A. D. N., Ramos, M. L. G., de Alencar, E. R., da Silva, P. C., de Lima, C. A., Vinson, C. C., Ribeiro, W. Q., & Silva, M. A. V. (2020). Water stress alters physical and chemical quality in grains of common bean, triticale and wheat. *Agricultural Water Management*, *231*, 106023. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106023
14. Maradudin, M. S., Simonova, I. V., & Maradudin, A. M. (2021). Effect of white bean flour on rheological properties of composite mixtures based on wheat and triticale flours. *Technologies of Food and Processing Industry Complex – Products of Healthy Nutrition*, *(3)*, 35–42. https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-35-42
15. Meng, X., Li, T., Zhao, J., Fan, M., Qian, H., Li, Y., & Wang, L. (2023). Effects of different bran pretreatments on rheological and functional properties of triticale whole-wheat flour. *Food and Bioprocess Technology*, *16*(3), 576–588. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02959-1
16. Zhang, X. Q., Wang, X. P., Jing, J. K., Hu, H., Ross, K., & Gustafson, J. P. (1998). Characterization of wheat-triticale doubled haploid lines by cytological and biochemical markers. *Plant Breeding*, *117*(16), 7–12. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1998.tb01439.x
17. Kandrokov, R. Kh., Maar, M. E., & Akhtanin, S. N. (2022). Formation of flows of grade bread-making triticale flour considering cumulative ash curves. *Polzunovskii Vestnik*, *1*(4)*, 39–47. https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8831.2022.04.005
18. Lapteva, N. K., & Mitkinykh, L. V. (2013). Optimal ratio of wheat, rye and triticale flours in shortbread cookie production. *Agra Science Euro-North-East*, *39*(34), 35–38.

19. Kasinkina, O. M., Orlova, N. S., & Kanevskaya, I. Yu. (2015). Quality of wheat bread baked with addition of triticale flour. *Agrarian Scientific Journal*, *(12)*, 18–20.
20. Adonina, I. G., Shcherban, A. B., Zorina, M. V., Timonova, E. M., Salina, E. A., & Mehdiyeva, S. P. (2022). Genetic features of triticale–wheat hybrids with vaviloid-type spike branching. *Plants*, *11*, 58. https://doi.org/10.3390/plants11010058
21. Asif, M., Eudes, F., Goyal, A., Amundsen, E., Randhawa, H., & Spaner, D. (2013). Organelle antioxidants improve microspore embryogenesis in wheat and triticale. *In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, *49*(5), 489–497. https://doi.org/10.1007/s11627-013-9514-z
22. Barylnik, K. G., Kuznetsova, L. I., Lavrent'eva, N. S., Chikida, N. N., Bekish, L. P., & Komarov, N. M. (2018). Evaluation of baking properties of triticale flour by standard and alternative methods. *Transactions on Applied Botany, Genetics and Selection*, *179*(1), 54–62. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-1-54-62
23. Kandrokov, R. Kh., Begeulov, M. Sh., Tkach, A. N., Igonin, V. N., & Porichnaya, E. S. (2021). Comparative characteristic of milling properties of new varieties of wheat, triticale and emmer. *Vestnik MGTA*, *24*(3), 299–305. https://doi.org/10.21603/1560-9278-2021-24-3-299-305
24. Yudina, T. A., Ziyakaeva, A. S., & Kandrokov, R. Kh. (2021). Effect of enzyme preparations on the quality of loaf bread made from wheat-triticale flour in a 50:50 ratio. *International Research Journal*, *109*(7-1), 111–117. https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.018
25. Kandrokov, R. K. (2023). Effects of triticale flour on the quality of honey cookies. *Foods and Raw Materials*, *7*(2), 216–223. https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-568
26. Voronov, S. I., Kuz'mich, M. A., Medvedev, A. M., Soboleva, E. V., & Kuz'mich, L. S. (2023). Millling and baking advantages of Nemchinovka VIC bred triticale grain. *Agrarian Russia*, *(4)*, 9–14. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2023-4-9-14

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кандроков Роман Хажсетович, к.т.н., доцент, доцент кафедры зерновых, хлебопекарных и кондитерских технологий
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
nart132007@mail.ru

Катин Сергей Анатольевич, старший преподаватель кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
katin.sergant@mail.ru

Сивцев Алексей Олегович, аспирант кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
Sivtsevao@mgupp.ru

Веремьев Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры прикладной механики и инжиниринга технических систем
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
dmitry.veremov@gmail.com

Пестова Екатерина Владиславовна, магистрант кафедры зерновых, хлебопекарных и кондитерских технологий
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
pestova.kate29@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman Kh. Kandrokov, Associate Professor of the Department of Grains, Bakery and Confectionery Technologies
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
nart132007@mail.ru

SPIN-code: 7081-1209
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2003-2918
Researcher ID: AAX-2106-2020
Scopus Author ID: 57200383950

Sergey A. Katin, Senior Lecturer of the Department of Applied Mechanics and Engineering of Technical Systems
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
katin.sergant@mail.ru
SPIN-code: 6114-8550
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9299-6236

Aleksey O. Sivtsev, Postgraduate Student of the Department of Applied Mechanics and Engineering of Technical Systems
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
Sivtsevao@mgupp.ru
SPIN-code: 2409-6690
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9492-0139

Dmitry N. Veremyev, Graduate Student of the Department of Applied Mechanics and Engineering of Technical Systems
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
dmitry.veremov@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8881-4237

Ekaterina V. Pestova, Master's student of the Department of Grain, Baking and Confectionery Technologies
Russian Biotechnological University "ROSBIOTECH"
11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation
pestova.kate29@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-4624-5026

Поступила 04.07.2024
После рецензирования 01.08.2024
Принята 07.08.2024

Received 04.07.2024
Revised 01.08.2024
Accepted 07.08.2024

ОПЫТ РЕГИОНОВ

EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1367 **EDN: FOULPV**
UDC 595.421

CC BY NC ND

Original article

IXODES TICKS AND CASES OF BRUCELLOSIS IN TAVUSH PROVINCE OF ARMENIA: SUSTAINABLE AGRICULTURE

V.V. Grigoryan, H.S. Tspnetsyan, L.H. Grigoryan, V.V. Abrahamyan, G.M. Petrosyan, S.V. Yeribekyan, A.Z. Pepoyan

Abstract

Background. Ticks are known to cause tick-borne zoonotic diseases (meta-zoonosis). On the other hand, several factors, such as animal gender and animal replacement, pet dogs/their owner associations as well as soil composition, have been reported to be potential risk factors for brucellosis at the animal level. Currently, scientific data is also being accumulated that proves the association between *Ixodes* ticks and brucellosis cases.

Purpose. The current study in the range of "The role of *Ixodes* ticks in the transmission of brucellosis" aims to study the prevalence of *Ixodes* ticks in Tavush Province of Armenia in association with the loci of outbreaks of brucellosis in Tavush.

Materials and methods. Fieldwork was conducted from January to December 2023 in the Berd Region of the Tavush Distinct. Ticks were gathered/quantified/prepared for analysis according to standard methodological guidelines. Flagging was conducted at intervals of 50–60 steps, yielding approximately 30 samples per geographic zone.

For the database creation on animal brucellosis cases during 1950-2020, archival data from relevant organizations and internet sources were studied.

Results. Through a comprehensive study, the occurrence of six tick species in the Berd region with diverse ecosystems, including plains, forests, subalpine, and alpine zones – *Rhipicephalus annulatus, Rhipicephalus bursa, Ixodes ricinus,*

Dermacentor marginatus, Hyalomma marginatum and *Hyalomma scupense* – was documented.

Conclusion. The results of the present studies do not exclude the role of *Ixodes* ticks in the outbreaks of brucellosis cases in the region. The results are important for the development of strategies for zoonosis control as well as for the determination of pastures for livestock.

Keywords: livestock; geographical zones; Tavush province; Ixodes; brucellosis

For citation. Grigoryan, V. V., Tspnetsyan, H. S., Grigoryan, L. H., Abrahamyan, V. V., Petrosyan, G. M., Yeribekyan, S. V., & Pepoyan, A. Z. (2025). Ixodes ticks and cases of brucellosis in Tavush Province of Armenia: sustainable agriculture. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 544–563. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1367

Научная статья

ИКСОДОВЫЕ КЛЕЩИ И СЛУЧАИ БРУЦЕЛЛЕЗА В ТАВУШСКОЙ ОБЛАСТИ АРМЕНИИ: УСТОЙЧИВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

В.В. Григорян, Г.С. Цпнецян, Л.Г. Григорян, В.В. Абрамян, Г.М. Петросян, С.В. Ерибекян, А.З. Пепоян

Аннотация

Обоснование. Известно, что клещи вызывают клещевые заболевания животных (метазоонозы). С другой стороны, возможными факторами риска распространения бруцеллеза на уровне животных являются пол животных и перемещения животных, взаимоотношения собака-хозяин, а также состав почвы. В настоящее время также имеются научные данные, позволяющие предположить связь между иксодовыми клещами и вспышками бруцеллеза.

Цель. Целью исследования было изучение распространенности иксодовых клещей в очагах вспышек бруцеллеза в Тавушской области Армении.

Материалы и методы. Полевые работы проводились в январе-декабре 2023 года в Тавушской области в районе Берд. Клещей собирали/определяли количественно и анализировали в соответствии со стандартными методическими указаниями. Отметки ставились с интервалом 50–60 шагов, для каждой географической зоны примерно 30 образцов.

Для создания базы данных по бруцеллезу животных с 1950 по 2020 год были изучены архивные данные профильных организаций и интернет-источников.

Результаты. В результате комплексного изучения равнинной, лесной, субальпийской и альпийской зон района Берд обнаружено шесть видов клещей: *Rhipicephalus annulatus, Rhipicephalus bursa, Ixodes ricinus, Dermacentor marginatus, Hyalomma marginatum и Hyalomma scupense.*

Заключение. Результаты проведенных исследований не исключают роли иксодовых клещей в вспышках бруцеллеза в регионе. Результаты важны для разработки стратегии борьбы с зоонозами, а также для определения пастбищ для скота.

Ключевые слова: животноводство; географические зоны; Тавушская область; иксодовые клещи; бруцеллез

Для цитирования. Григорян, В. В., Цпнецян, Г. С., Григорян, Л. Г., Абрамян, В. В., Петросян, Г. М., Ерибекян, С. В., & Пепоян, А. З. (2025). Иксодовые клещи и случаи бруцеллеза в Тавушской области Армении: устойчивое сельское хозяйство. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 544-563. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1367

Introduction

Ticks and tick-borne diseases represent a substantial threat to both human and animal health, inflicting significant economic losses on the agricultural sector annually, partly due to the absence of preventative measures [33]. *Ixodes* ticks are temporary external parasites on vertebrates, predominantly mammals, and to a lesser degree, birds and reptiles [36]. The severity of tick infestations in animals can vary widely, with some animals hosting anywhere from a few to several thousand ticks. *Ixodes* ticks are also vectors for the pathogens of piroplasmid diseases, capable of transmitting these pathogens across all tick life stages. Both nymphal and adult stages of ticks can transmit pathogens through their eggs, via transovarial and transtadial pathways [4].

Ticks can transmit viruses transgenerationally, meaning they can carry pathogens throughout their entire lifespan [17]. *Rhipicephalus bursa* (*R. bursa*), a common tick parasite of ungulates, is prevalent across various geographical zones, particularly in warm, temperate subtropical regions. From an epidemiological perspective, it is considered to have a “mild” impact on the transmission of bacterial diseases [35]. *Hyalomma marginatum* (*H. marginatum*) may act as a vector for certain tick-borne diseases affecting humans and animals [27]. *Rhipicephalus annulatus* (*R. annulatus*) primarily targets cattle, though horses and goats can also be susceptible to infestation by this tick species [21].

Hyalomma scupense (*H. scupense)*, found in parts of North Africa, Asia, and Southern Europe, may serve as a natural vector for tropical bovine theileriosis [30]. The ticks *Ixodes ricinus* (*I. ricinus*) and *Dermacentor reticulatus* (*D. reticulatus*) play significant roles as carriers and vectors of various pathogens.

The quantitative distribution of ticks is influenced by environmental conditions and is crucial for understanding the dynamics of tick populations. The density of ticks in a given area can vary depending on the quality of the habitat and the availability of blood meals from hosts. Ticks exhibit considerable resilience to adverse environmental conditions [26].

Scientific data is also accumulating that proves a possible link between spreading ticks and other zoonotic diseases, such as brucellosis [34; 38]. From a biosecurity point of view, it requires not only a separate characterization of the distribution of ticks in ecosystems but also a discussion of that distribution depending on the foci of zoonotic diseases different from tick-borne zoonotic diseases.

The Berd Region in Tavush Province, located in the northeastern part of the Republic of Armenia, features region vertical geographical zones, including plains, forests, subalpine, and alpine zones. This region is noted for its rich and unique biodiversity and forested landscapes. The highest point in the region is Miapor, reaching an elevation of 2993 meters, while the lowest point is the Varagajur River valley at 530 meters. The climate varies from mild subtropical dry conditions in the river valleys and lowlands to cooler temperatures and increased precipitation with elevation. This climatic diversity, coupled with rich forests and vegetation, provides favorable conditions for the proliferation and development of a wide range of fauna, particularly pasture ticks [14].

Current investigations in the range of "The role of *Ixodes* ticks in the transmission of brucellosis" aim to study the prevalence of *Ixodes* ticks in Tavush distinct of Armenia in association with the loci of brucellosis outbreaks in Tavush.

Purpose. The current study in the range of "The role of *Ixodes* ticks in the transmission of brucellosis" aims to study the prevalence of *Ixodes* ticks in Tavush.

Materials and methods

This research received approval from the Ethics Committee of the Armenian National Agrarian University on December 17, 2023.

Fieldwork was conducted from January to December 2023 in the Berd Region of the Tavush distinct. Ticks were gathered, quantified, and prepared for

analysis following established methodological guidelines using a 60 x 100 cm flag of thin cotton fabric [28]. Flagging was conducted at intervals of 50–60 steps, yielding approximately 30 samples per geographic zone. Adult tick species were identified using determinants by Pomarantsev, Serdyukova, and Filippova [16; 39], with observations made through a magnifying glass and an MBS-1 microscope. Statistical analyses were executed using the BioStat-2009 software.

For the database creation on animal brucellosis during 1950-2020, the following sources were used: National Archives of Armenia, Archive of the RA Ministry of Health, Archive of the RA Ministry of Agriculture, Sanitary and Epidemiological Station of the Armenian SR, Republican Anti-Plague Station, Yerevan Institute of Epidemiology and Hygiene Research Institute of Epidemiology, Microbiology, Parasitology, and internet resources.

Results

The quantitative distribution of pasture ticks across different geographic zones within the Berd region

Table 1 outlines the quantitative distribution of pasture ticks across different geographic zones within the Berd region for each season. Findings indicate a decline in tick populations with increasing altitude. Notably, no pasture ticks were identified across any of the four zones during January and February. The distribution of ticks was as follows: 52.1 % in the plain zone, 37.5 % in the forest zone, 8.4% in the subalpine zone, and a mere 2.0 % in the alpine zone. Furthermore, no ticks were found in the alpine and sub-alpine zones during March, April, and December, nor in the alpine zone in May and November, likely due to the low temperatures unfavorable for tick development.

The monthly average tick counts from the environment were: March - 41.75, April - 59.5, May - 146, June - 105.5, July - 105.5, August - 134.75, September - 142.25, October - 64.25, November - 31.75, and December - 10.5 (Table 1). These data align with prior research findings [3]. Among the species researched – *R. annulatus, I. ricinus, R. bursa, D. marginatus, H. scupense*, and *H. marginatum* – the *R. annulatus* species was the most prevalent, and *I. ricinus* the least common (accordingly 84.5 ± 13.69 and 161.2 ± 15.2 vs. 4.1 ± 0.62 and 2.2 ± 0.17; $P_1 < 0.05$). *D. marginatus* ticks predominantly inhabited subalpine and alpine zones, constituting 40.0 % and 59.7 % of the tick population in those areas, respectively. *R. annulatus* and *R. bursa* species were absent in the alpine zone, as were *H. scupense* ticks in the subalpine zone.

Table 1.

Quantitative prevalence of pasture ticks in geographical zones of the Berd Region, Tavush Province, (number, %*)

Observation time months, 2023	SUM	Plain Zone	Forest Zone	Subalpine zone	Alpine zone
January	-	-	-	-	-
February	-	-	-	-	-
March	167	116 (69.5)	51 (30.9)	-	-
April	238	169 (71.0)	69 (28.7)	-	-
May	584	347 (59.4)	223 (40.1)	14 (2.4)	-
June	465	206 (44.3)	200 (43.0)	49 (10.5)	10 (2.2)
July	422	184 (43.7)	149 (34.9)	68 (16.3)	21 (5.1)
August	539	289 (53.6)	169 (31.3)	61 (11.3)	20 (3.8)
September	569	322 (56.5)	182 (32.4)	48 (4.3)	17 (2.8)
October	257	92 (35.8)	135 (51.7)	30 (11.7)	-
November	127	40 (31.5)	75 (59.1)	12 (9.4)	-
December	42	14 (33.2)	28 (65.8)	-	-

In these months, ticks were not found in any geographical area
*- In parentheses is the partial share of ticks in percentages.

Species-specific seasonal prevalence of pasture ticks.

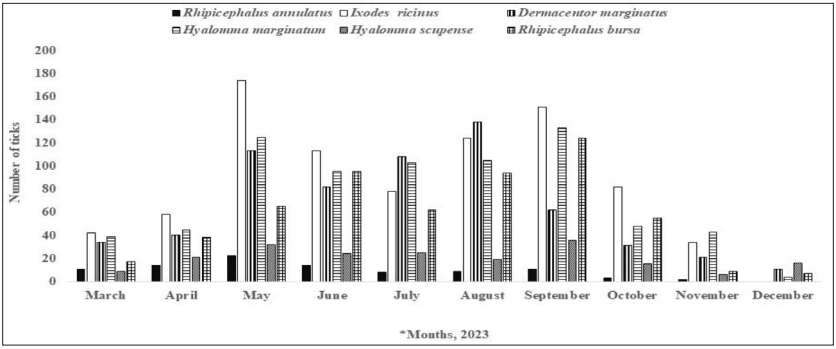


Figure 1. Quantitative distribution and species composition of ticks collected in the Berd locality of the Tavush Province from March to December 2023.
* No ticks were detected during the January-February observations.

Figure 1 shows the species-specific prevalence of pasture ticks collected from March to December 2023 in the Berd Region. As anticipated, tick numbers peaked from May to September, demonstrating a clear relationship between tick distribution and species type (Figure 1).

Brucellosis animal cases

According to current investigations, cases of brucellosis have been observed in the studied area since the 1950s. Interestingly, the foci of ignition are often new, but with small deviations from the old foci.

The rapid growth of population, particularly in areas with weak health systems, urbanization, globalization and inequalities within cities, climate change, and the changing nature of pathogen transmission between human and animal populations are an important cause of zoonoses [22]. Brucellosis is an endemic zoonotic disease leading to vast losses to the livestock industry and small-scale livestock holders [31]. The species of *Brucella melitensis, B. abortus*, and *B. suis* are the widespread causative agents of zoonosis inducing severe illness in humans [20, 41]. Zhang et al. 2019). The new species of *Brucella*: *B. microti, B. inopinata* and isolates from Australian rodents and amphibians, have also been described during the last decade [23]. *Brucella* spp. can survive for long periods for more than 2 years [29]. There are no vaccines for humans; on the other hand, conventional brucellosis vaccines for livestock do not show comprehensive protection [40]. Several risk factors such as animal sex and stock replacement were reported to be potential risk factors for brucellosis at the animal level [24]. Another association on brucellosis between the pet dogs and their owners was also found [32]. Soil was reported as a reservoir for the *Brucella* strain (*B. microti)* with high metabolic activity [37]. Interestingly, if distance near to water irrigation source, distance near to animal market, and animal density per village as well as manganese, lead, zinc, silt, clay, organic matter, and soluble salts were significantly associated with the prevalence of soil-borne *Brucella* spp., the distance from the main road and the soil pH, sand, moisture, nitrogen, phosphorus, nickel, cadmium, copper, chromium, iron, calcium, magnesium, sodium, and potassium were less associated with the pathogen [24].

Brucellosis has been registered on the territory of the Republic of Armenia since 1930 of the last century, but the mass spread of this infection began after the decentralization of collective and Soviet livestock farms with the redistribution of animals in private farmsteads and uncontrolled movement of livestock from one administrative-territorial unit to another. Over five years from 2008 to 2012, 10 out of 15 districts, subjected to epizootological examination, were

struck by brucellosis in cattle and small ruminants. At the same time, the share of this infection in comparison with other infectious diseases was 26.28%. According to the study, since 2010 the epizootic situation in brucellosis of cattle has sharply deteriorated. The number of animals, reacting to brucellosis, has increased. Nidus of infection of brucellosis of cattle, sheep, and horses in communities of Armavir and Aragatsotn areas of the Republic is open. In 2010 it was allocated 0.61, in 2011 – 0.22, and 2012 – 0.81% of animals responding to brucellosis. The infection rate for the same period increased by 32.8 times. Because of mass seromonitoring, carried out in the farms of the Kotaik region in 2015, 30% of the total number of examined cattle were revealed and subjected to forced slaughter. A high prevalence of brucellosis was also noted in sheep farms of the Republic. Only for the first 2008 year of the study, the incidence rate of sheep brucellosis exceeded that of cattle for all the years of the study to 0.93 %. The dynamic of incidence of sheep brucellosis increased about three times in 2009 compared with 2008. The most cases of the disease in Armenia were described for the regions of Ararat (53), followed by Kotayk (49), Armavir (38), Aragatsotn (36), Yerevan (28), Gegharkunik (26), Vayots Dzor (24), Syunik (8), and Lori (3) in the range of the "One Health Surveillance of *Brucellosis* in Armenia" initiated in 2016 (Asoyan et al. 2017). According to the authors, at the highest risk for brucellosis were males who worked with livestock, about 71% of patients had acute brucellosis with fever, arthralgia, and night sweating and 29 % suffered chronic brucellosis [2, 15]. About the Berd region of Tavush; as shown by current research data, outbreak foci are often new, but with small deviations from old foci of brucellosis. This, along with other encounters affecting the incidence of brucellosis, may also be due to the presence of pasture ticks. This hypothesis, although requiring in-depth molecular biology studies to prove the spread of the bacteria through ticks, suggests that there is a possibility of brucellosis outbreaks through ticks. These findings have significant implications for the development of zoonotic disease control strategies and the optimization of pasture allocation for livestock.

Conclusions

The microbiota of humans [7; 10-12; 18-19] animals [5-6; 8-9], and plants [10; 20] plays a crucial role for both the host organisms and their environment. Research into the bacteriome of the *R. microplus* cattle tick revealed geographical variations in bacterial accumulation within their microbiota [25]. Similar distinctions were observed among the tick species *R. annulatus*, *R. bursa, I. ricinus, D. marginatus, H. marginatum*, and *H. mcupense* prevalent in the Ta-

vush distinct, underscoring the importance of further microbiological analysis of tick microbiota from a biosecurity perspective.

In the Berd region, distinct ecological zones including Plains, Forest, Subalpine, and Alpine areas have been identified. The Plains zone spans elevations from 530 to 850 meters above sea level, the Forest zone ranges from 850 to 2000 meters, the Subalpine zone covers 2000 to 2200 meters, and the Alpine zone extends from 2200 to 2900 meters. These natural habitats offer conducive conditions for the proliferation of arthropods, particularly ticks in the wild. Research indicates that the prevalence and intensity of tick populations decrease with increased elevation. Notably, the degree of tick infestation varies significantly, ranging from a single tick to several hundred ticks on a single animal. The findings from this study are crucial for developing tick management strategies and for optimizing the allocation of grazing areas for livestock. Future research will focus on exploring the prevalence dynamics and genetic diversity of microorganisms within different tick species across these varied geographical zones.

Sponsorship information. This work was supported by the State Committee of Science, Armenia (project 21AG-4D065).

References

1. Harutyunyan, N., Kushugulova, A., Hovhannisyan, N., & Pepoyan, A. (2022). One Health probiotics as biocontrol agents: One Health tomato probiotics. *Plants*, *11*(10), 1334. https://doi.org/10.3390/plants11101334
2. Asoyan, V., Hovhannisyan, A., Mkrtchyan, A., Davidyants, M., Apresyan, H., Atoyan, L., & Niazyan, L. (2018). Evaluating the burden of brucellosis in hospitalized patients in Armenia, 2016. *Online Journal of Public Health Informatics*, *10*(1), e62231. https://doi.org/10.5210/ojphi.v10i1.8891
3. Grigoryan, V. V., Abrahamyan, V. V., Kazaryan, A. S., Yeribekyan, S. V., & Grigoryan, L. H. (2023). Species composition of watch pastures in special geographical regions of Tavush Province. *Biological Journal of Armenia*, *75*, 188–192. https://doi.org/10.54503/0366-5119-2023.75.2-3-188
4. Kerbabayev, E. B., & Tsuba, T. R. (2011). Ixodofauna of the Republic of Abkhazia and adjacent territories. *Russian Parasitological Journal*, *(1)*, 18–26.
5. Manvelyan, A., Balayan, M., Miralimova, S., Chistyakov, V., & Pepoyan, A. (2023). Biofilm formation and autoaggregation abilities of novel targeted aqua-probiotics. *Functional Foods in Health and Disease*, *13*(4), 179–190. https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i4.1093
6. Mirzabekyan, S., Harutyunyan, N., Manvelyan, A., Malkhasyan, L., Balayan, M., Chistyakov, V., & Pepoyan, A. (2023). Fish probiotics: cell surface proper-

ties of fish intestinal lactobacilli and Escherichia coli. *Microorganisms*, *11*(3), 595. https://doi.org/10.3390/microorganisms11030595

7. Pepoyan, A. Z., Tsaturyan, V. V., Badalyan, M., Weeks, R., Kamiya, S., & Chikindas, M. L. (2020). Blood protein polymorphisms and gut bacteria: impact of probiotic Lactobacillus acidophilus strain Narine on salmonella carriage in sheep. *Beneficial Microbes*, *11*(2), 183–190. https://doi.org/10.3920/BM2019.0138
8. Pepoyan, A. Z., Balayan, M. H., Malkhasyan, L., Manvelyan, A., Bajanyan, T., Paronyan, R., & Tikomirov, N. (2019). Effects of probiotic Lactobacillus acidophilus strain INMIA 9602 Er 317/402 and putative probiotic lactobacilli on DNA damage in the small intestine of Wistar rats in vivo. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *11*(3), 905–909. https://doi.org/10.1007/s12602-018-9491-y
9. Pepoyan, A. Z., & Chikindas, M. L. (2019). Plant-associated and soil microbiota composition as a novel criterion for the environmental risk assessment of genetically modified plants. *GM Crops & Food*, *11*(1), 47–53. https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1703447
10. Pepoyan, A. Z., Manvelyan, A. M., Balayan, M. H., Harutyunyan, N. A., Tsaturyan, V. V., Batikyan, H., Bren, A. B., Chistyakov, V., Weeks, R., & Chikindas, M. L. (2023). Tetracycline resistance of Escherichia coli isolated from water, human stool, and fish gills from the Lake Sevan basin. *Letters in Applied Microbiology*, *76*(2), ovad021. https://doi.org/10.1093/lambio/ovad021
11. Pepoyan, A. Z., Pepoyan, E. S., Galstyan, L., et al. (2021). The effect of immunobiotic/psychobiotic Lactobacillus acidophilus strain INMIA 9602 Er 317/402 Narine on gut Prevotella in familial Mediterranean fever: gender-associated effects. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *13*(5), 1306–1315. https://doi.org/10.1007/s12602-021-09779-3
12. Pepoyan, E., Marotta, F., Manvelyan, A., Galstyan, A., Stepanyan, L., Grigoryan, H., Grigoryan, L., Mikayelyan, M., Balayan, M., Harutyunyan, N., Mirzabekyan, S., Tsaturyan, V., Torok, T., & Pepoyan, A. (2024). Placebo-resistant gut bacteria: Akkermansia muciniphila spp. and familial Mediterranean fever disease. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *14*, 1336752. https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1336752
13. Pepoyan, A. Z., Manvelyan, A. M., Balayan, M. H., et al. (2020). The effectiveness of potential probiotics Lactobacillus rhamnosus Vahe and Lactobacillus delbrueckii IAHAHI in irradiated rats depends on the nutritional stage of the host. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *12*, 1439–1450. https://doi.org/10.1007/s12602-020-09662-7
14. Ruxyan, M., & Ohanyan, R. (2023). Effect of abiotic transformations on ixodid tick activity in mountain-forest landscapes of Armenia. *Humanitarian Space.*

International Almanac, *12*(5), 492–500. https://doi.org/10.24412/2226-0773-2023-12-5-492-500

15. Sargsyan, L., Davtyan, K., Hann, K., Gasparyan, S., Davidyants, V., Shekoyan, V., et al. (2019). Acute and chronic brucellosis eleven-year audit from a tertiary hospital in Armenia. *The Journal of Infection in Developing Countries*, *13*(5.1), 42–50. https://doi.org/10.3855/jidc.10934
16. Serdyukov, G. V. (1956). Ixodid ticks fauna of the USSR: reference guide. Moscow: Academy of Sciences of the USSR. p. 121.
17. Christinovskiy, P. I. (2009). Recommendations for identifying natural foci of animal babesiosis. *Russian Parasitological Journal*, *(1)*, 109–115.
18. Tsaturyan, V., Manvelyan, A., Balayan, M., Harutyunyan, N., Pepoyan, E., Torok, T., & Chikindas, M. (2023). Host genetics and gut microbiota composition: baseline gut microbiota composition as a possible prognostic factor for severity of COVID-19 in patients with familial Mediterranean fever disease. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1107485. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1107485
19. Tsaturyan, V., Poghosyan, A., Toczylowski, M., & Pepoyan, A. (2022). Evaluation of malondialdehyde levels, oxidative stress and host-bacteria interactions: Escherichia coli and Salmonella Derby. *Cells*, *11*(19), 2989. https://doi.org/10.3390/cells11192989
20. Shevtsova, E., Vergnaud, G., Shevtsov, A., Shustov, A., Berdimuratova, K., Mukanov, K., et al. (2019). Genetic diversity of Brucella melitensis in Kazakhstan in relation to worldwide diversity. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 1897. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01897
21. Abdel-Shafy, S. (2018). Is the cattle tick *Rhipicephalus annulatus* Say, 1821 reared on the rabbit? *Journal of Parasitic Diseases*, *42*, 297–302. https://doi.org/10.1007/s12639-018-1000-4
22. Ahmed, S., Dávila, J. D., Allen, A., Haklay, M. M., Tacoli, C., & Fèvre, E. M. (2019). Does urbanization make emergence of zoonosis more likely? Evidence, myths and gaps. *Environment and Urbanization*, *31*(2), 443–460. https://doi.org/10.1177/0956247819866124
23. Al Dahouk, S., Köhler, S., Occhialini, A., Jiménez de Bagüés, M. P., Hammerl, J. A., Eisenberg, T., et al. (2017). *Brucella* spp. of amphibians comprise genomically diverse motile strains competent for replication in macrophages and survival in mammalian hosts. *Scientific Reports*, *7*, 44420. https://doi.org/10.1038/srep44420
24. Ali, S., Akhter, S., Neubauer, H., Melzer, F., Khan, I., Abatih, E. N., et al. (2017). Seroprevalence and risk factors associated with bovine brucellosis in the Potohar Plateau, Pakistan. *BMC Research Notes*, *10*(1), 73. https://doi.org/10.1186/s13104-017-2394-2

25. Andreotti, R., Pérez de León, A. A., Dowd, S. E., Guerrero, F. D., Bendele, K. G., & Scoles, G. A. (2011). Assessment of bacterial diversity in the cattle tick *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* through tag-encoded pyrosequencing. *BMC Microbiology*, *11*, 6. https://doi.org/10.1186/1471-2180-11-6
26. Dantas-Torres, F., Latrofa, M. S., Annoscia, G., Giannelli, A., Parisi, A., & Otranto, D. (2013). Morphological and genetic diversity of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato from the New and Old Worlds. *Parasites & Vectors*, *6*, 213. https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-213
27. Elhachimi, L., Valcárcel, F., Olmeda, A. S., Elasatey, S., Khattat, S. E., & Daminet, S., et al. (2021). Rearing of *Hyalomma marginatum* (Acarina: Ixodidae) under laboratory conditions in Morocco. *Experimental and Applied Acarology*, *84*(4), 785–794. https://doi.org/10.1007/s10493-021-00641-3
28. Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. Collection, registration, and preparation for laboratory research of blood-sucking arthropods in natural foci of dangerous infectious diseases: Guidelines. Moscow, 2011, 55 p.
29. González-Espinoza, G., Arce-Gorvel, V., Mémet, S., & Gorvel, J. P. (2021). *Brucella*: reservoirs and niches in animals and humans. *Pathogens*, *10*(2), 186. https://doi.org/10.3390/pathogens10020186
30. Grech-Angelini, S., Stachurski, F., Lancelot, R., Boissier, J., Allienne, J. F., Gharbi, M., & Uilenberg, G. (2016). First report of the tick *Hyalomma scupense* (natural vector of bovine tropical theileriosis) on the French Mediterranean island of Corsica. *Veterinary Parasitology*, *216*, 33–37. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.11.015
31. Huy, T. X., Reyes, A. W., Hop, H. T., Arayan, L. T., Min, W., & Lee, H. J., et al. (2017). Intracellular trafficking modulation by ginsenoside Rg3 inhibits *Brucella abortus* uptake and intracellular survival within RAW 264.7 cells. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *27*(3), 616–623. https://doi.org/10.4014/jmb.1609.09060
32. Jamil, T., Melzer, F., Khan, I., Iqbal, M., Saqib, M., Hammad Hussain, M., et al. (2019). Serological and molecular investigation of *Brucella* species in dogs in Pakistan. *Pathogens*, *8*(4), 294. https://doi.org/10.3390/pathogens8040294
33. Kapo, N., Zuber Bogdanović, I., Gagović, E., Žekić, M., & Veinović, G. (2024). Ixodid ticks and zoonotic tick-borne pathogens of the Western Balkans. *Parasites & Vectors*, *17*(1), 45. https://doi.org/10.1186/s13071-023-06116-1
34. Ma, R., Li, C., Gao, A., et al. (2024). Evidence-practice gap analysis in the role of ticks in brucellosis transmission: a scoping review. *Infectious Diseases of Poverty*, *13*, 3. https://doi.org/10.1186/s40249-023-01170-4

35. Matei, I. A., Ionică, A. M., Corduneanu, A., Domşa, C., & Sándor, A. D. (2021). The presence of *Ehrlichia canis* in *Rhipicephalus bursa* ticks collected from ungulates in Continental Eastern Europe. *Journal of Veterinary Research*, *65*, 271–275. https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0044
36. Mendoza-Roldan, J. A., Mendoza-Roldan, M. A., & Otranto, D. (2021). Reptile vector-borne diseases of zoonotic concern. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, *15*, 132–142. https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2021.04.007
37. Scholz, H., Hubalek, Z., Nesvadbova, J., Tomaso, H., Vergnaud, G., Le Flèche, et al. (2008). Isolation of *Brucella microti* from soil. *Emerging Infectious Diseases*, *14*(8), 1316–1317. https://doi.org/10.3201/eid1408.080286
38. Springer, A., Glass, A., Topp, A. K., & Strube, C. (2020). Zoonotic tick-borne pathogens in temperate and cold regions of Europe—a review on the prevalence in domestic animals. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 604910. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.604910
39. Statistical Committee of the Republic of Armenia. (2022). Social-demographic sector. Retrieved from https://armstat.am/file/article/sv_04_22r_590.pdf
40. Wang, H., Hoffman, C., Yang, X., Clapp, B., & Pascual, D. W. (2020). Targeting resident memory T-cell immunity culminates in pulmonary and systemic protection against *Brucella* infection. *PLoS Pathogens*, *16*(1), e1008176. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008176
41. Zhang, F., Li, Z., Jia, B., Zhu, Y., Pang, P., Zhang, C., & Ding, J. (2019). The immunogenicity of OMP31 peptides and its protection against *Brucella melitensis* infection in mice. *Scientific Reports*, *9*(1), 3512. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40084-w

Список литературы

1. Harutyunyan, N., Kushugulova, A., Hovhannisyan, N., & Pepoyan, A. (2022). One Health Probiotics as Biocontrol Agents: One Health Tomato Probiotics. *Plants*, *11*(10), 1334. https://doi.org/10.3390/plants11101334
2. Asoyan, V., Hovhannisyan, A., Mkrtchyan, A., Davidyants, M., Apresyan, H., Atoyan, L., & Niazyan, L. (2018). Evaluating the Burden of Brucellosis in Hospitalized Patients in Armenia, 2016. *Online Journal of Public Health Informatics*, *10*(1), e62231. https://doi.org/10.5210/ojphi.v10i1.8891
3. Григорян, В. В., Абраамян, В. В., Казарян, А. С., Ерибекян, С. В., & Григорян, Л. Х. (2023). Видовой состав вахтовых пастбищ в особых географических регионах Тавушской области. *Биологический журнал Армении*, *75*, 188–192. https://doi.org/10.54503/0366-5119-2023.75.2-3-188

4. Кербабаев, Э. Б., & Цуба, Т. Р. (2011). Иксодофауна Республики Абхазия и сопредельных территорий. *Российский паразитологический журнал*, *(1)*, 18–26.
5. Manvelyan, A., Balayan, M., Miralimova, S., Chistyakov, V., & Pepoyan, A. (2023). Biofilm Formation and Auto-Aggregation Abilities of Novel Targeted Aqua-Probiotics. *Functional Foods in Health and Disease*, *13*(4), 179–190. https://doi.org/10.31989/ffhd.v13i4.1093
6. Mirzabekyan, S., Harutyunyan, N., Manvelyan, A., Malkhasyan, L., Balayan, M., Chistyakov, V., & Pepoyan, A. (2023). Fish Probiotics: Cell Surface Properties of Fish Intestinal Lactobacilli and Escherichia coli. *Microorganisms*, *11*(3), 595. https://doi.org/10.3390/microorganisms11030595
7. Pepoyan, A. Z., Tsaturyan, V. V., Badalyan, M., Weeks, R., Kamiya, S., & Chikindas, M. L. (2020). Blood Protein Polymorphisms and the Gut Bacteria: Impact of Probiotic Lactobacillus acidophilus Narine on Salmonella Carriage in Sheep. *Beneficial Microbes*, *11*(2), 183–190. https://doi.org/10.3920/BM2019.0138
8. Pepoyan, A. Z., Balayan, M. H., Malkhasyan, L., Manvelyan, A., Bajanyan, T., Paronyan, R., & Tikomirov, N. (2019). Effects of Probiotic Lactobacillus acidophilus Strain INMIA 9602 Er 317/402 and Putative Probiotic Lactobacilli on DNA Damage in the Small Intestine of Wistar Rats In Vivo. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *11*(3), 905–909. https://doi.org/10.1007/s12602-018-9491-y
9. Pepoyan, A. Z., & Chikindas, M. L. (2019). Plant-Associated and Soil Microbiota Composition as a Novel Criterion for the Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Plants. *GM Crops & Food*, *11*(1), 47–53. https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1703447
10. Pepoyan, A. Z., Manvelyan, A. M., Balayan, M. H., Harutyunyan, N. A., Tsaturyan, V. V., Batikyan, H., Bren, A. B., Chistyakov, V., Weeks, R., & Chikindas, M. L. (2023). Tetracycline Resistance of Escherichia Coli Isolated From Water, Human Stool, and Fish Gills From the Lake Sevan Basin. *Letters in Applied Microbiology*, *76*(2), ovad021. https://doi.org/10.1093/lambio/ovad021
11. Pepoyan, A. Z., Pepoyan, E. S., Galstyan, L., et al. (2021). The Effect of Immunobiotic/Psychobiotic Lactobacillus Acidophilus Strain INMIA 9602 Er 317/402 Narine on Gut Prevotella in Familial Mediterranean Fever: Gender-Associated Effects. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *13*(5), 1306–1315. https://doi.org/10.1007/s12602-021-09779-3
12. Pepoyan, E., Marotta, F., Manvelyan, A., Galstyan, A., Stepanyan, L., Grigoryan, H., Grigoryan, L., Mikayelyan, M., Balayan, M., Harutyunyan, N., Mirzabekyan, S., Tsaturyan, V., Torok, T., & Pepoyan, A. (2024). Placebo-Resistant Gut Bacteria: Akkermansia muciniphila spp. and Familial Mediterranean Fever

Disease. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *14*, 1336752. https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1336752

13. Pepoyan, A. Z., Manvelyan, A. M., Balayan, M. H., et al. (2020). The Effectiveness of Potential Probiotics Lactobacillus Rhamnosus Vahe and Lactobacillus Delbrueckii IAHAHI in Irradiated Rats Depends on the Nutritional Stage of the Host. *Probiotics & Antimicrobial Proteins*, *12*, 1439–1450. https://doi.org/10.1007/s12602-020-09662-7
14. Рухян, М., & Оганесян, Р. (2023). Влияние абиотических преобразований на активность иксодовых клещей в горно-лесных ландшафтах Армении. *Гуманитарное пространство. Международный альманах*, *12*(5), 492–500. https://doi.org/10.24412/2226-0773-2023-12-5-492-500
15. Sargsyan, L., Davtyan, K., Hann, K., Gasparyan, S., Davidyants, V., Shekoyan, V., et al. (2019). Acute and Chronic Brucellosis Eleven-Year Audit from a Tertiary Hospital in Armenia. *The Journal of Infection in Developing Countries*, *13*(5.1), 42–50. https://doi.org/10.3855/jidc.10934
16. Сердюков, Г. В. (1956). *Иксодовые клещи фауны СССР: справочник*. Москва: Академия наук СССР. С. 121.
17. Христиновский, П. И. (2009). Рекомендации по выявлению природных очагов пироплазмоза животных. *Российский паразитологический журнал*, *(1)*, 109–115.
18. Tsaturyan, V., Manvelyan, A., Balayan, M., Harutyunyan, N., Pepoyan, E., Torok, T., & Chikindas, M. (2023). Host Genetics and Gut Microbiota Composition: Baseline Gut Microbiota Composition as a Possible Prognostic Factor for the Severity of COVID-19 in Patients With Familial Mediterranean Fever Disease. *Frontiers in Microbiology*, *14*, 1107485. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1107485
19. Tsaturyan, V., Poghosyan, A., Toczylowski, M., & Pepoyan, A. (2022). Evaluation of Malondialdehyde Levels, Oxidative Stress and Host-Bacteria Interactions: Escherichia coli and Salmonella Derby. *Cells*, *11*(19), 2989. https://doi.org/10.3390/cells11192989
20. Shevtsova, E., Vergnaud, G., Shevtsov, A., Shustov, A., Berdimuratova, K., Mukanov, K., et al. (2019). Genetic Diversity of Brucella Melitensis in Kazakhstan in Relation to Worldwide Diversity. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 1897. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01897
21. Abdel-Shafy, S. (2018). Is the cattle tick *Rhipicephalus annulatus* Say, 1821 reared on the rabbit? *Journal of Parasitic Diseases*, *42*, 297–302. https://doi.org/10.1007/s12639-018-1000-4
22. Ahmed, S., Dávila, J. D., Allen, A., Haklay, M. M., Tacoli, C., & Fèvre, E. M. (2019). Does urbanization make emergence of zoonosis more likely? Evidence,

myths and gaps. *Environment and Urbanization*, *31*(2), 443–460. https://doi.org/10.1177/0956247819866124

23. Al Dahouk, S., Köhler, S., Occhialini, A., Jiménez de Bagüés, M. P., Hammerl, J. A., Eisenberg, T., et al. (2017). *Brucella* spp. of amphibians comprise genomically diverse motile strains competent for replication in macrophages and survival in mammalian hosts. *Scientific Reports*, *7*, 44420. https://doi.org/10.1038/srep44420
24. Ali, S., Akhter, S., Neubauer, H., Melzer, F., Khan, I., Abatih, E. N., et al. (2017). Seroprevalence and risk factors associated with bovine brucellosis in the Potohar Plateau, Pakistan. *BMC Research Notes*, *10*(1), 73. https://doi.org/10.1186/s13104-017-2394-2
25. Andreotti, R., Pérez de León, A. A., Dowd, S. E., Guerrero, F. D., Bendele, K. G., & Scoles, G. A. (2011). Assessment of bacterial diversity in the cattle tick *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* through tag-encoded pyrosequencing. *BMC Microbiology*, *11*, 6. https://doi.org/10.1186/1471-2180-11-6
26. Dantas-Torres, F., Latrofa, M. S., Annoscia, G., Giannelli, A., Parisi, A., & Otranto, D. (2013). Morphological and genetic diversity of *Rhipicephalus sanguineus* sensu lato from the New and Old Worlds. *Parasites & Vectors*, *6*, 213. https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-213
27. Elhachimi, L., Valcárcel, F., Olmeda, A. S., Elasatey, S., Khattat, S. E., & Daminet, S., et al. (2021). Rearing of *Hyalomma marginatum* (Acarina: Ixodidae) under laboratory conditions in Morocco. *Experimental and Applied Acarology*, *84*(4), 785–794. https://doi.org/10.1007/s10493-021-00641-3
28. Сбор, учет и подготовка к лабораторному исследованию кровососущ их членистоногих в природных очагах опасных инфекционных болезней: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 55 с.
29. González-Espinoza, G., Arce-Gorvel, V., Mémet, S., & Gorvel, J. P. (2021). *Brucella*: reservoirs and niches in animals and humans. *Pathogens*, *10*(2), 186. https://doi.org/10.3390/pathogens10020186
30. Grech-Angelini, S., Stachurski, F., Lancelot, R., Boissier, J., Allienne, J. F., Gharbi, M., & Uilenberg, G. (2016). First report of the tick *Hyalomma scupense* (natural vector of bovine tropical theileriosis) on the French Mediterranean island of Corsica. *Veterinary Parasitology*, *216*, 33–37. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.11.015
31. Huy, T. X., Reyes, A. W., Hop, H. T., Arayan, L. T., Min, W., & Lee, H. J., et al. (2017). Intracellular trafficking modulation by ginsenoside Rg3 inhibits *Brucella abortus* uptake and intracellular survival within RAW 264.7 cells. *Journal*

of Microbiology and Biotechnology, *27*(3), 616–623. https://doi.org/10.4014/jmb.1609.09060

32. Jamil, T., Melzer, F., Khan, I., Iqbal, M., Saqib, M., Hammad Hussain, M., et al. (2019). Serological and molecular investigation of *Brucella* species in dogs in Pakistan. *Pathogens*, *8*(4), 294. https://doi.org/10.3390/pathogens8040294
33. Kapo, N., Zuber Bogdanović, I., Gagović, E., Žekić, M., & Veinović, G. (2024). Ixodid ticks and zoonotic tick-borne pathogens of the Western Balkans. *Parasites & Vectors*, *17*(1), 45. https://doi.org/10.1186/s13071-023-06116-1
34. Ma, R., Li, C., Gao, A., et al. (2024). Evidence-practice gap analysis in the role of ticks in brucellosis transmission: a scoping review. *Infectious Diseases of Poverty*, *13*, 3. https://doi.org/10.1186/s40249-023-01170-4
35. Matei, I. A., Ionică, A. M., Corduneanu, A., Domşa, C., & Sándor, A. D. (2021). The presence of *Ehrlichia canis* in *Rhipicephalus bursa* ticks collected from ungulates in Continental Eastern Europe. *Journal of Veterinary Research*, *65*, 271–275. https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0044
36. Mendoza-Roldan, J. A., Mendoza-Roldan, M. A., & Otranto, D. (2021). Reptile vector-borne diseases of zoonotic concern. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, *15*, 132–142. https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2021.04.007
37. Scholz, H., Hubalek, Z., Nesvadbova, J., Tomaso, H., Vergnaud, G., Le Flèche, et al. (2008). Isolation of *Brucella microti* from soil. *Emerging Infectious Diseases*, *14*(8), 1316–1317. https://doi.org/10.3201/eid1408.080286
38. Springer, A., Glass, A., Topp, A. K., & Strube, C. (2020). Zoonotic tick-borne pathogens in temperate and cold regions of Europe—a review on the prevalence in domestic animals. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 604910. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.604910
39. Statistical Committee of the Republic of Armenia. (2022). Social-demographic sector. Retrieved from https://armstat.am/file/article/sv_04_22r_590.pdf
40. Wang, H., Hoffman, C., Yang, X., Clapp, B., & Pascual, D. W. (2020). Targeting resident memory T-cell immunity culminates in pulmonary and systemic protection against *Brucella* infection. *PLoS Pathogens*, *16*(1), e1008176. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1008176
41. Zhang, F., Li, Z., Jia, B., Zhu, Y., Pang, P., Zhang, C., & Ding, J. (2019). The immunogenicity of OMP31 peptides and its protection against *Brucella melitensis* infection in mice. *Scientific Reports*, *9*(1), 3512. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40084-w

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally to the preparation of this article for publication. L.G. Grigoryan, in addition to co-authoring the article, coordinates correspondence with the editors of the journal.

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., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
grigoryanvgv@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0840-3961

Hrachya S. Tspnetsyan, Doctor of Economic Sciences, Vice-rector for Scientific Affairs
Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
tspnetsyan@yahoo.com

Liana H. Grigoryan, PhD, Director of the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
lianagrigoryan7878@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8799-4568

Viktor V. Abrahamyan, Doctor of Veterinary Science, Professor, Lead Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
viktorabrahamyan@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-2399-011X

Spartak V. Yeribekyan, Veterinarian, Researcher at the Research Center of Veterinary and Veterinary Sanitary Expertise
Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia

vivarium2016@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-9340-7894

Gayane M. Petrosyan, PhD, 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., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
gayanemartinovna@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-7051-4043

Astghik Z. Pepoyan, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Food Safety and Biotechnology, Animal Origin Raw Material and Product Processing divisions of the Scientific Research Institute of Food Science and Biotechnology
Armenian National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Republic of Armenia
apepoyan@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1935-5341

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Григорян Валерий Володяевич, 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, г. Ереван, 0009, Республика Армения
grigoryanvgv@mail.ru

Цпнецян Грачья Сергеевич, д.э.н., профессор, проректор по научной работе
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
tspnetsyan@yahoo.com

Григорян Лиана Гайковна, к.в.н., доцент, директор Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
lianagrigoryan7878@mail.ru

Абрамян Виктор Ваганович, д.в.н., профессор, ведущий научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
viktorabrahamyan@gmail.com

Ерибекян Спартак Ваганович, ветеринарный врач, научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
vivarium2016@mail.ru

Петросян Гаяне Мартиновна, к.б.н., доцент, научный сотрудник Исследовательского центра ветеринарии и ветеринарно-санитарной экспертизы, заведующий кафедрой эпизоотологии и паразитологии
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
gayanemartinovna@gmail.com

Пепоян Астхик Завеновна, д.б.н., директор Исследовательского центра безопасности питания и биотехнологий, технологии переработки продуктов и сырья животного происхождения НИИ пищеведения и биотехнологий
Национальный аграрный университет Армении
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Республика Армения
apepoyan@gmail.com

Поступила 02.05.2024 Received 02.05.2024
После рецензирования 10.06.2024 Revised 10.06.2024
Принята 29.07.2024 Accepted 29.07.2024

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024 **EDN: GVBWDL**
УДК 636.087.7

Обзорная статья

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ДРОЖЖЕЙ НА ПРИМЕРЕ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В РАЦИОНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

К.С. Лазебник, Д.Б. Косян, Г.К. Дускаев, В.А. Рязанов

Аннотация

Обоснование. Фокус современного животноводства и кормопроизводства направлен на создание благоприятных условий и применение сбалансированного рациона, который включает в себя различные кормовые добавки, положительно влияющие на рост и развитие сельскохозяйственных животных и птицу. В качестве таковых значительное внимание привлекли дрожжи, что обусловлено полезным действием их клеточных компонентов и биологически активных соединений.

Цель. Обзор и анализ научных публикаций по применению различных форм дрожжей, а именно *Saccharomyces cerevisiae*, в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был выполнен обзор научной литературы по исследуемой тематике, включая этапы поиска, оценки, отбора данных и их анализ.

Результаты. Дано краткое описание основных биоактивных компонентов дрожжевой клетки, которые считаются ответственными за благоприятное влияние на здоровье животных, оказывая воздействие на продуктивность, иммунный ответ, антиоксидантный статус, состояние рубца и кишечника. Так же большинство положительных эффектов связаны с их способностью модулиро-

вать микробиоту желудочно-кишечного тракта животных и птицы, стимулируя рост полезных бактерий и уменьшая колонизацию патогенами.

Заключение. Несмотря на большое количество данных, демонстрирующих положительное действие дрожжей, существуют ряд противоречий, которые не позволяют в полной мере оценить безопасность для организма, и, как следствие, рекомендовать использовать их в официально утвержденных рационах в промышленных масштабах. Данный аспект еще предстоит изучить, чтобы лучше понять и разобраться в эффектах и механизмах действия дрожжей и их компонентов.

Ключевые слова: Saccharomyces cerevisiae; дрожжи; кормовые добавки; животноводство; птицеводство; обзор

Для цитирования. Лазебник, К. С., Косян, Д. Б., Дускаев, Г. К., & Рязанов, В. А. (2025). Потенциал использования различных форм дрожжей на примере *Saccharomyces cerevisiae* в рационах сельскохозяйственных животных (обзор литературы). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 564-592. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024

Scientific review

POTENTIAL USE OF DIFFERENT FORMS OF YEAST SUCH AS *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN AGRICULTURAL ANIMAL DIETS (REVIEW)

K.S. Lazebnik, D.B. Kosyan, G.K. Duskaev, V.A. Ryazanov

Abstract

Background. Modern animal breeding and fodder production aim to create favourable conditions and provide a balanced diet, including feed additives that positively affect the growth and development of farm animals and poultry. Yeast has gained attention due to the beneficial effects of its cellular components and biologically active compounds.

Purpose. Review and analysis of scientific publications on the use of various forms of yeast, namely Saccharomyces cerevisiae, as a feed additive for farm animals and poultry.

Materials and methods. To achieve the objective, we conducted a review of the scientific literature on the topic under study. This involved searching for evaluating, selecting and analyzing data.

Results. This review provides a brief description of the main bioactive components of yeast cells, which are believed to be responsible for the positive effects on animal health, including improved productivity, immune response, antioxidant status, and rumen and intestinal condition. These effects are largely attributed to the ability of yeast cells to modulate the microbiota of the gastrointestinal tract, promoting the growth of beneficial bacteria and reducing colonisation by pathogens.

Conclusion. Although there is a significant amount of data demonstrating the positive effects of yeast, contradictions exist that make it impossible to fully assess its safety for the organism. Therefore, it is not recommended for use in officially approved diets on an industrial scale until further studies have been conducted to better understand and dissect the effects and mechanisms of action of yeast and its components.

Keywords: Saccharomyces cerevisiae; yeast; feed additives; animal husbandry; poultry farming; review

For citation. Lazebnik, K. S., Kosyan, D. B., Duskaev, G. K., & Ryazanov, V. A. (2025). Potential use of different forms of yeast such as *Saccharomyces cerevisiae* in agricultural animal diets (review). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(1), 564–592. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-1024

Введение

В современном животноводстве и кормопроизводстве особое внимание уделяется рационам, так как их сбалансированность является залогом достижения максимальной продуктивности и высокого качества получаемой продукции, что обеспечивается за счет введения кормовых добавок. В связи с этим в последние годы вырос интерес к их поиску и изучению. В качестве таковых стали внедрять живые организмы и их метаболиты, за счет процесса оптимизации применения органических добавок или новых ингредиентов, являющихся результатом биотехнологических процессов [72], снижая негативное влияние на организм (антибиотики, формирующие резистентность), но и на окружающую среду (снижение загрязнений в процессе производства) [1].

Одним из потенциальных вариантов выступают дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* и их компоненты, содержащие необходимые питательные элементы и выступающие в роли источников таких метаболитов, как аминокислоты, витамины и минералы благоприятно влияя на состояние животных и птицы [1; 7; 55]. Во многих исследованиях указывается, что дрожжи способствовали повышению производственных показателей за счет увеличения потребления корма, всасывания питательных веществ благодаря улучшению морфологических особенностей и влиянию на микробиом желудочно-кишечного тракта, и как следствие снижение смертности [7; 33; 55].

Исходя из вышесказанного, *целью* данного научного обзора стало обобщение известных исследований в данной области, подчеркивающих важность применения различных форм дрожжей *S. cerevisiae* в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных и птицы. Кроме того, для облегчения понимания механизмов их действия представлено краткое описание структуры и основных компонентов дрожжевой клетки, которые считаются ответственными за благоприятное влияние на здоровье животных и их потенциальные механизмы действия в качестве кормовой добавки.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели были проанализированы и обобщены научные работы, посвященные использованию дрожжей *S. cerevisiae* в животноводстве и птицеводстве, раскрывающие основные достижения в указанной области отечественных и зарубежных исследователей. Большая часть научных публикаций представлены временным периодом 2014-2023 гг. Работы, опубликованные в более ранний период, включались в обзор лишь для обозначения приоритета ученого в исследовании или при отсутствии современных публикаций по определенному аспекту темы исследования.

Поиск научных статей был произведен по ключевым словам (дрожжи, кормовые добавки, *Saccharomyces cerevisiae*, животноводство, птицеводство) и их сочетаниям в научных библиографических базах. При оценке и отборе статей приоритет отдавали высокоцитируемым источникам. Кроме того, в выбранных публикациях были рассмотрены списки литературы с целью нахождения дополнительных релевантных источников информации.

1. Дрожжи и их химический состав

Дрожжи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, являющиеся эукариотами, диаметром от 3 до 40 микрон. Дрожжевая клетка имеет сложное строение, отдельные ее структуры дифференцированы и специализированы для осуществления метаболических процессов [43; 54].

Основным компонентом, указанным в исследованиях, является клеточная стенка дрожжей поэтому имеет место разобрать ее состав. В основном она представлена полисахаридами (75-85%) и белками (15-25%) и имеет слоистую структуру (рисунок 1). Наружный слой представлен липопротеиновой мембраной, в которой в основном присутствуют гликопротеины (маннопротеины), образованные за счет ковалентной связи между белками и маннанами, а также имеется небольшое количество глюканопротеинов.

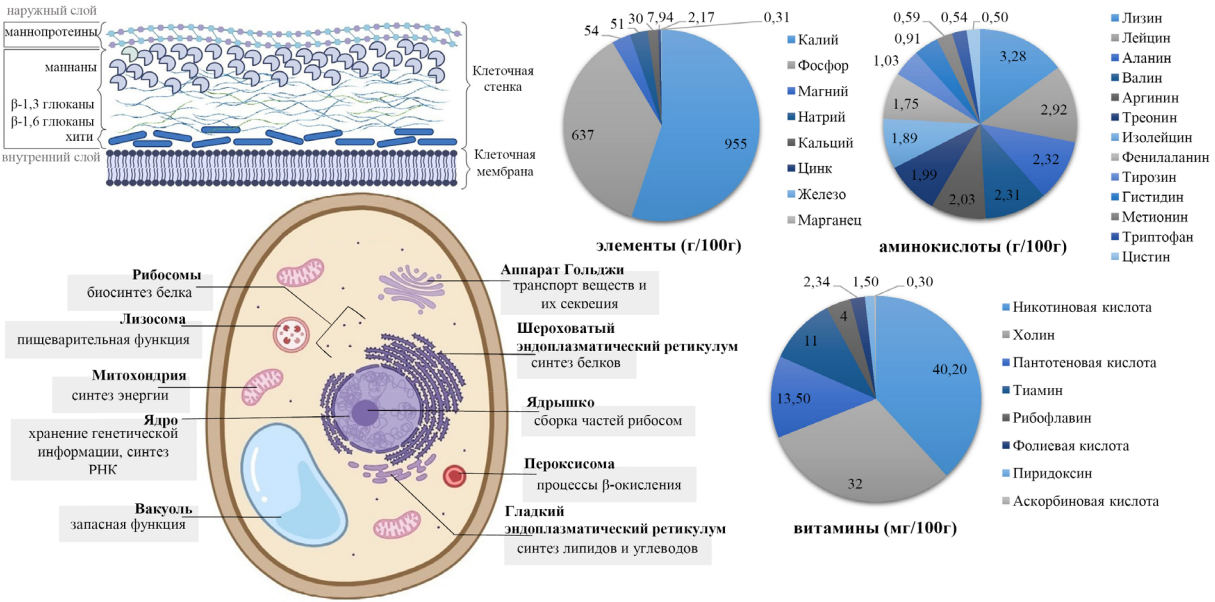


Рис. 1. Схематическое строение клетки, клеточной стенки и внутриклеточный состав дрожжей *S. cerevisiae*

Внутренний слой представлен полисахаридами - водорастворимыми маннанами, глюканами (полимер глюкозы, в котором молекулы соединены между собой β-1,3 и β-1,6 связями) и в значительно меньшей концентрации хитином (полимер N-ацетилглюкозамина). Маннаны вместе с хитином составляют около 90% массы клеточной стенки (сухое вещество). Однако количество полисахаридов зависит от вида дрожжей, так у *S. cerevisiae* количество основных полисахаридов маннанов и глюканов практически одинаково [44; 54; 60].

Внутриклеточный состав дрожжей включает различные компоненты макро- и микроэлементы, аминокислоты, витамины, фенольные кислоты, флавоноиды, каротиноиды и пептиды (рисунок 1) [24; 40; 84].

Данная информация использована с целью облегчения понимания механизмов действия указанных в исследованиях ниже.

2. Формы применения дрожжей

Спектр применяемых форм дрожжей достаточно разнообразен: от жизнеспособных дрожжевых клеток до очищенных компонентов клеточной стенки (Таблица 1) [52]. Из первичных культур дрожжей, которые проходят этапы размножения и ферментации, получают побочные продукты [66; 77].

Живые дрожжевые клетки могут быть инокулированы в специальную культуральную среду для их ферментации и затем высушены, в результате чего образуется культура дрожжей, содержащая широкий спектр продуктов метаболизма. Дрожжевые клетки также могут подвергаться процессу гидролиза или автолиза с получением дрожжевых лизатов, содержащие, как внутриклеточные фракции, так и фракции клеточных стенок. Однако внутриклеточные компоненты и углеводы клеточной стенки также могут быть обнаружены и в качестве отдельных компонентов в виде дрожжевого экстракта и продуктов клеточной стенки соответственно [52].

Сухие дрожжи могут быть использованы для обеспечения питательной ценности, в качестве различных добавок, таких как аминокислотные, витаминные и минеральные [52]. Остальные продукты могут попадать под определения про-, пре- и постбиотиков, установленных Международной научной ассоциацией пробиотиков и пребиотиков. Активные сухие дрожжи, состоящие из живых дрожжевых клеток, выступают в качестве пробиотика, то есть живые микроорганизмы, приносящие пользу хозяину при введении в адекватных количествах [34].

Таблица 1.

Формы дрожжей S. cerevisiae и процессы их получение

Начальный продукт	Процесс	Конечный продукт
Сухие дрожжи (обезвоженные первичные).	Сушка при высокой температуре целых дрожжевых клеток.	Биомасса мертвых дрожжевых клеток.
Активные сухие дрожжи (обезвоженные активные дрожжи или живые дрожжи).	Сушка целых дрожжевых клеток.	Живые дрожжевые клетки.
Культура дрожжей (дегидратированная культура или продукт ферментации *S. cerevisiae*)	Инокуляция живых дрожжевых клеток в специальную питательную среду с последующей контролируемой ферментацией и сушкой.	Биомасса дрожжей (включает жизнеспособные и мертвые клетки, фрагменты клеточной стенки, метаболиты ферментации, остаточную питательную среду)
Лизатные дрожжи (гидролизатные или автолизатные)	Гидролиз или автолиз дрожжевых клеток.	Витамины группы В, пептиды, аминокислоты, глутаминовая кислота, нуклеотиды, минералы, маннан-олигосахариды и β-глюканы.
Компоненты клеточной стенки дрожжей.	Центрифугирование после гидролиза или автолиза.	Маннан-олигосахариды и β-глюканы (смесь или отдельные компоненты)
Дрожжевой экстракт.		Витамины группы В, пептиды, аминокислоты, глутаминовая кислота, нуклеотиды, минералы.

Дрожжевые лизаты, экстракты и компоненты клеточной стенки, такие как маннанолигосахариды (МОС) и β-глюканы, могут считаться пребиотиками, то есть субстратами, избирательно используемыми микроорганизмами хозяина [28]. Их применение более обширно и в исследованиях сообщается об их пользе [57; 77]. Их роль в качестве пробиотика и пребиотика, определяется их воздействием на различные механизмы, такие как устранение патогенов с помощью микробного антагонизма, стимуляция иммунной системы животного, повышения активности ферментов бактерий [80]. Продукты ферментации *S. cerevisiae,* могут быть отнесены к постбиотикам, то есть препаратам из неживых микроорганизмов и/или их компонентов, оказывающих благоприятное влияние на организм хозяина [75].

3. Потенциальные механизмы действия дрожжей в качестве кормовой добавки

Все кормовые добавки необходимо использовать только в соответствии с основными требованиями, прописанными в нормативной документации по выращиванию сельскохозяйственных животных и птицы, предварительно оценивая потенциальные механизмы и эффекты их основных компонентов, которые в перспективе могут использоваться, как кормовые добавки в рационе. Данный тезис касается и дрожжей *S. cerevisiae*. Литературные данные свидетельствуют о том, что их использование в кормлении может оказывать действие на потребление, эффективность корма, усвояемость, продуктивность и другие важные показатели (рисунок 2) [26; 85].

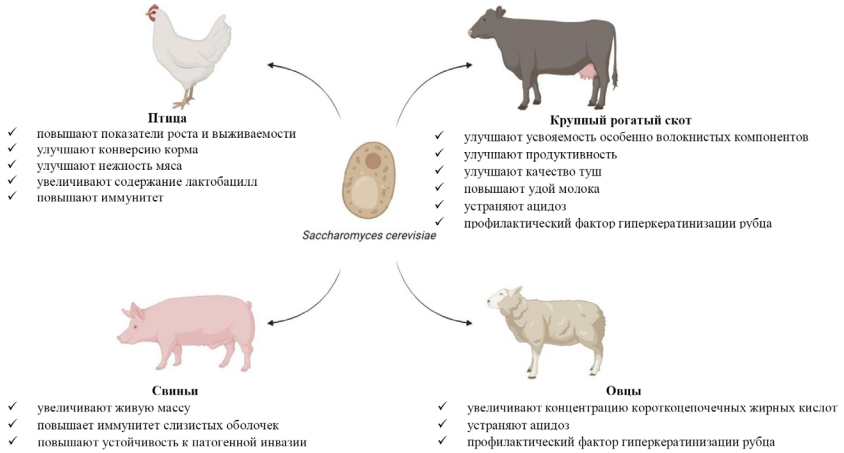


Рис. 2. Потенциальные механизмы действия дрожжей *S. cerevisiae* в качестве кормовой добавки в различных отраслях животноводства

3.1. Влияние на показатели продуктивности

Среди всей структуры дрожжевой клетки особое внимание стоит обратить на компоненты клеточной стенки. Так в исследовании [38] отмечается, что рационы, содержащие маннопротеин и β-глюкан, восстанавливают прирост массы тела и обеспечивают уникальную трансдукцию клеточных сигналов в кишечнике у птиц, пораженных некротическим энтеритом. Помимо этого, β-глюканы, повышают показатели роста и выживаемости [20]. МОС в целом положительно влияют на различные виды животных, в частности улучшая прирост массы тела и конверсию корма, снижая при этом смертность [79].

В экспериментах на птице высокие показатели прироста живой массы, коэффициента конверсии корма, переваримости белка, активности ферментов поджелудочной железы (трипсина и химотрипсина) и усвояемости белка отмечаются также при скармливании добавок, содержащих цельные дрожжи и их клеточные стенки [4; 5]. Причем данные показатели были выше при использовании последних, что может быть связано с более высоким содержанием в них полисахаридов [12]. При этом значимого влияния на потребление корма эти рационы не оказали [5]. Более того, есть исследования, в которых отмечается, что данные кормовые добавки влияют и на качество мяса, в частности, улучшая показатели его качества (нежность) у бройлеров [91].

Однако использование рационов, содержащих живые дрожжи и МОС, не влияли на продуктивность и качество мяса индеек, что может быть связано с различиями в породе используемых птиц, составе рациона, форме добавок, а также в возрасте птиц [42].

В свиноводстве при скармливании поросятам живых дрожжей *S. cerevisiae* через 30 дней после отъема наблюдается увеличение живой массы и суточного прироста [11]. Однако при добавке МОС показатели роста поросят не показали какой-либо существенной разницы [61]. Причиной отсутствия статистически доказанных эффектов, способствующих росту могут быть более поздний возраст отъема и исключительно хорошие условия содержания [61].

Включение дрожжей в рацион бычков улучшает общую усвояемость питательных веществ в желудочно-кишечном тракте, особенно волокнистых компонентов рациона, без изменения пищевого поведения и увеличения показателей роста [65]. Результаты по скармливанию порошка культуры дрожжей *S. cerevisiae* показывают, что добавки могут умеренно улучшить продуктивность животных (рост, конверсию корма) [49, 3]. Противоположный результат был получен в исследовании [29], добавка, состоящая из активной и неактивной культуры (экстракт клеточной стенки) дрожжей не повлияли на суточный прирост, потребление корма и привес. Тем не менее, при включении продукта ферментации *S. cerevisiae* в готовый рацион на основе кукурузных хлопьев наблюдается улучшение качества туш говяжьих бычков [81].

Дрожжи и их компоненты также оказывают в влияние и на лактационную продуктивность. Продукты ферментации дрожжей увеличивали концентрацию молочного жира, но в остальном это не влияли на надои молока в начале лактации [63].

Добавление живых дрожжей в рацион крупного рогатого скота оказывает существенное положительное влияние на удой молока, а также количество жира, белка, лактозы и сухих веществ молока, содержащихся в молоке [2; 35] в тоже время это, не повлияло на содержание жира [22]. Благотворное воздействие дрожжей на жвачных животных может быть объяснено микробиологической активностью за счет увеличения количества полезных бактерий в рубце животных. Напротив, в исследовании [74] живые *S. cerevisiae* не увеличивали выработку молока у коров. Аналогичное воздействие было отмечено и на продуктивность молочных овец в поздний период лактации [51]. В данном случае снижение реакции возможно связаны с высококонцентрированной диетой, периодом лактации и высокими температурами.

3.2. Модулирование микробиома желудочно-кишечного тракта

При современном производстве существует множество факторов, вызывающих стресс, что в результате может привести к дисбиозу и колонизации пищеварительного тракта сельскохозяйственных животных патогенами, создавая угрозу для здоровья животных и безопасности продуктов [21]. Таким образом дрожжи могут выступать в качестве биологической альтернативы для сбалансирования микробиома, что и было доказано в исследованиях, приведенных ниже, подтверждающих изменения в популяции бактерий в желудочно-кишечном тракте и, как следствие, некоторых метаболических параметров под действием дрожжей [21].

Продукты клеточной стенки дрожжей влияют на богатство видов и бактериальное разнообразие кишечника птицы [73]. Скармливание дрожжевых нуклеотидов цыплятам увеличивает разнообразие кишечной микробиоты и обилие лактобацилл [87]. Кроме того, дрожжевые добавки существенно улучшают микробную популяцию подвздошной кишки, увеличивая количество молочнокислых бактерий и уменьшая популяции кишечной палочки [40]. Аналогичная картина отмечена для содержимого слепой кишки на 42-й день, порошок клеточной стенки дрожжей имеет тенденцию к уменьшению колоний *E. coli* представителя условно-патогенной флоры [47].

Среди исследований на сельскохозяйственных животных выявлено, что факультативные анаэробные дрожжи, проявляют некоторую степень жизнеспособности и в рубце, влияя на ферментацию и популяции микробов [56]. Дрожжи могут влиять на микробиом рубца, захватывая кислород, токсичный для бактерий, тем самым улучшая среду для роста облигат-

ных анаэробных целлюлозолитических бактерий, повышая переваривание фракций клетчатки [14; 58]

Добавление живых дрожжей и МОС приводит к увеличению общей концентрации короткоцепочечных жирных кислот у крупного рогатого скота и овец [24; 25]. Тот же результат был получен в исследовании [62], изучая влияние гидролизованных цельных дрожжей и клеточных стенок с использованием метода моделирования рубца. Механизмы действия, объясняющие более высокую концентрацию кислот, до конца не изучены, но, по-видимому, связаны с увеличением активности анаэробной микрофлоры [58]. Данный процесс усиления микробной ферментации полезен для обеспечения большего количества энергии, а также для поддержания и производственной активности организма жвачных [62].

У животных, получавших МОС наблюдается высокая концентрация изобутирата и валерата в рубце, получавших живые дрожжи наблюдается высокое значение изовалерата [24]. Это связано с тем, что добавление дрожжей может стимулировать рост амилолитических бактерий, которые преимущественно используют пептиды и аминокислоты из-за их протеолитической активности, что и приводит к более высоким концентрациям изокислот и валерата в рубце, образующихся при ферментации аминокислот [45].

Употребление легко ферментируемых углеводов приводит к снижению pH в рубце, в результате чего уменьшается его микробное разнообразие [90]. Количество видов бактерий, продуцирующих лактат, таких как *Streptococcus bovis*, может начать превосходить по численности виды *Megasphaera elsdenii* и *Selenomonas ruminantium*, ферментирующие его, вследствие чего, происходит накопление молочной кислоты, что играет ключевую роль в возникновении ацидоза, отрицательно влияющего на производственные показатели, а также на состояние здоровья животных [15]. При таких условиях наблюдается лизис чувствительных к низкому pH грамотрицательных бактерий с высвобождением эндотоксинов клеточной стенки липополисахаридов [31; 70]. Данные соединения токсичны для животных и могут вызывать местное воспаление, что повышает проницаемость стенки рубца и отрицательно влияет на желудочно-кишечный барьер, вызывая транслокацию липополисахаридов из желудочно-кишечного тракта в кровоток [31].

Скармливание животным живых дрожжей, клеточной стенки и МОС приводит к снижению концентрации липополисахаридов в плазме и к стабилизации pH рубца [25; 46]. Уменьшение концентрации эндотоксина

можно объяснить способностью этих добавок адсорбировать бактериальные токсины, уменьшая их всасывание, за счет электростатического притяжения между их, положительно заряженными лигандами и отрицательно заряженными лигандами липополисахаридов [86]. Стабилизация pH рубца возможно связана со значительным увеличением частоты потребления животными корма с добавлением дрожжей [8] и со снижением концентрации молочной кислоты в рубце за счет повышенного роста бактерий *M. elsdenii* и *S. ruminantium* [15; 69]. Последнее связано с возможностью дрожжей обеспечивать важными компонентами, такими как дикарбоновые кислоты (особенно яблочная кислота), провитамины и микроэлементы, как молочнокислых и целлюлозолитических бактерии, так и простейших, способствуя их росту [16]. Таким образом, дрожжи и их компоненты играют двойную роль, связывая свободные липополисахариды и снижая их высвобождение, за счет стабилизации pH рубца [48; 86].

3.3. Иммуностимулирующий эффект

Дрожжевые добавки могут модулировать иммунную систему, защищающую организм от посторонних веществ и от вторжения патогенов, и выступать в качестве профилактики заболеваний [21]. В данном случае важно рассматривать влияние дрожжевых клеток на различные типы иммунитета, как у животных, так и у птицы.

У цыплят, получавших 1,3-1,6 β-глюкан было значительно увеличено количество лейкоцитов и лимфоцитов, а количество эритроцитов существенно не отличалось [20]. Взаимодействие между лейкоцитами, которые находятся на передовой линии врожденной иммунной защиты, отвечающими за защиту от инфекции и поддерживающими восстановление поврежденных тканей в организме, и β-глюканом на практике основано на связывающей способности рецепторов распознавания образов (PRR), экспрессируемых на мембране лейкоцитов (особенно на макрофагах), и молекулярных паттернах, связанных с патогенами (PAMP), то есть молекулярных паттернах, которые экспонируются на клеточной мембране вторгающихся патогенов. Следовательно, β-глюканы действуют как PAMP, и как только они связываются с PRR, иммунные клетки активируются, вырабатывая каскад иммунных медиаторов, что усиливает иммунную систему [16].

В исследовании на поросятах, получавших концентрат живых *S. cerevisiae,* отмечается увеличение количества макрофагов в слизистой оболочке. Так как вирусным инфекциям в основном противодействуют ма-

крофаги, то это позволяет предположить, что при отсутствии каких-либо признаков патологических изменений в кишечнике компоненты врожденной защитной системы у этих животных могут быть более активными, начиная с ранних стадий, то есть эти поросята в большей степени защищены от вирусных инфекций [11].

Скармливание живых дрожжей может играть определенную роль в повышении сывороточного иммунитета. В исследовании [33] на 21-й день IgM и IL-4 были выше, на 42-й день уровни IgG были выше. Однако не было отмечено существенной разницы в отношении IgA и TNF-α. На увеличение титра IgG в сыворотке крови кур также оказывает включение в рацион 1,3-1,6 β-глюкана, при этом различий в отношении IgM и IgA не наблюдалось [20]. Более высокий уровень IgG в молозиве и молоке также был зафиксирован у свиноматок, которых кормили живыми дрожжами *S. cerevisiae* на более поздних сроках беременности [89]. Однако, у птиц, получавших клеточные стенки дрожжей, в отличии от предыдущих исследований, зафиксирован более высокий уровень сывороточного IgA, что может быть связано с полисахаридными компонентами, которые могут связываться с углеводными рецепторами, такими как лектины С-типа, дектин-1 и маннозный рецептор на поверхности В-клеток и макрофагов/дендритных клеток, и индуцировать активацию В-клеток и выработку антител [6].

Живые дрожжи также могут регулировать иммунный ответ путем увеличения экспрессии противовоспалительных цитокинов, таких как IL-1, IL-2, IL-4 и IL-6 [6; 33]. Также установлено, что и β-глюканы улучшают иммунологический ответ у кур, изменяя их цитокиновый профиль [64], которые активируют главный комплекс гистосовместимости и, впоследствии, моноциты и макрофаги [92].

Так же было обнаружено и благоприятное действие МОС, данные компоненты дрожжевых клеток в кишечнике изменяют экспрессию важнейших генов клеточного иммунологического ответа, включая 2-микроглобулин, лизоцим, люмикан, аполипопротеин А-1 и фибронектин, что подтверждает их иммуномодулирующий эффект на уровне транскрипции [88].

При добавлении в рацион дрожжей и/или их компонентов может наблюдаться увеличение иммунных органов, таких как бурса, тимус и селезенка, что также может также отражаться и на относительном весе. Рост бурсы играет жизненно важную роль в развитии и созревании В-лимфоцитов, а также в выработке специфических антител, а также увеличение этого органа может быть связано с возможными изменениями популя-

ции кишечных микроорганизмов, вызванными приемом дрожжевых добавок [33]. Порошок клеточной стенки дрожжей, как в крупной, так и в мелкой форме значительно увеличивал относительную массу бурсы на 42-й день, но этот эффект не наблюдался на 21-й день, при этом относительная масса тимуса и селезенки не изменялась [47].

β-глюкан влияет на увеличение массы тимуса, синовиальной сумки и селезенки [92]. Аналогичные результаты наблюдались только для синовиальной сумки в исследовании [20], в то время как относительная масса селезенки не была затронута. Данный эффект может быть связан с тем, что β-глюкан стимулирует выработку клеток-предшественников в костном мозге, что приводит к увеличению потока новых иммуноцитов в различные лимфоидные органы по всему телу [36].

Дрожжи играют важную роль и в выработке антител после инъекции вакцины или даже в качестве адъюванта в ее составе, что было продемонстрировано в нескольких исследованиях. Так включение живых дрожжей *S. cerevisiae* и их клеточных стенок в рацион питания бройлеров может поддерживать титр антител и обеспечивать более высокий иммунитет против болезни [27; 33]. Помимо этого, живые дрожжи способны повышать титр антител к инфекционной бурсальной болезни [33], однако эти данные не были подтверждены в исследовании, в котором применялась комбинация клеточных стенок *S. cerevisiae* и экстракта *Spanish dagger (Yucca schidigera*) [31]. У вакцинированных цыплят дрожжевой компонент МОС также способствует усилению гуморального иммунного ответа и повышению титра антител против вируса птичьего гриппа [82]. Добавление птицам дрожжевых нуклеотидов может помочь вызвать более быстрый и сильный ответ антител на вакцину против вируса инфекционного бронхита, усиливая экспрессию генов, связанных с барьерной функцией кишечника [87].

Продукты ферментации дрожжей *S. cerevisiae* не влияли на показатели окислительного статуса, воспаления, врожденного или адаптивного иммунитета у здоровой группы молочного скота переходного возраста [78].

3.4. Воздействие на антиоксидантный статус

Продукция активных форм кислорода является неизбежным следствием аэробного существования живых систем, поэтому существует физиологический нормальный уровень свободных радикалов, с которым справляется собственная антиоксидантная система защиты организма, включающая ферменты супероксиддисмутазу (СОД), каталазу (КАТ) [53; 71]. Также важным для оценки воздействии АФК является содержание

малонового диальдегида (МДА), являющегося признаком перекисного окисления липидов [76].

В исследовании [47] птицы получали рационы, содержащие клеточные стенки мелкого и крупного помола. В слизистой оболочке подвздошной кишки при скармливании дрожжей мелкого помола отмечается повышенная активность СОД на 21 день и снижение накопления МДА на 42 день, однако крупный помол не оказывал влияния ни на один из оцениваемых показателей. При этом в тощей кишке тенденцию к увеличению активности СОД имело включение клеточных стенок крупного помола на 21 день, а содержание МДА было одинаковым в обоих группах. При влиянии живых дрожжей *S. cerevisiae* на 42 сутки наблюдается схожая тенденция активность ферментов СОД и КАТ повышается, а значение МДА снижается, однако, на 21 день ни один из антиоксидантных параметров не показал различий между группами [33]. Схожие результаты были получены при изучении влияния ферментированного продукта, в состав которого входили инактивированные *S. cerevisiae*, увеличивая ферментативную антиоксидантную способность гусей и уменьшая содержание МДА [93]. Отмеченные положительные воздействие могут быть связаны с антиоксидантным действием маннана и β-глюкана, что было доказано фотохимическим люминол-зависимым методом [41; 44].

3.5. Изменение морфологической структура органов

Желудочно-кишечный тракт выполняет важные функции в организме, контролируя усвоение питательных веществ, координируя наш метаболизм и защищая от патогенов [10]. Эпителий кишечника структурно состоит из ворсинок и крипт, а их длина и глубина соответственно важна для измерения его повреждения. Так же кишечник включает множество типов секреторных клеток, основные из них – бокаловидные клетки [18].

Добавление β-глюкана в рацион домашней птицы увеличивает количество бокаловидных клеток и усиливает в них синтез муцина-2 [17]. Помимо этого, гистологический анализ морфологии кишечника показывает, что высота ворсинок, глубина крипт плотность бокаловидных клеток тонкой кишки увеличиваются вследствие добавления в корм 1,3 и 1,6 β-глюкана [20]. Включение в рацион МОС аналогично благоприятно влияет на гистоморфологию кишечника, более того, отмечена дозозависимая закономерность [13; 83]. Данные положительные эффекты скорее всего вызваны увеличением популяции бифидобактерий и лактобактерий, которые способны стимулировать васкуляризацию и развитие кишечных ворсинок [9].

Гистометрический анализ кишечника при скармливание поросятам концентрата живых *S. cerevisiae* показал, что высота ворсинок и глубина крипт были значительно выше, следовательно, их соотношение было ниже [11]. Высота ворсинок и глубина крипт являются косвенными признаками зрелости и функциональной способности энтероцитов, и чем длиннее ворсинки и крипты, тем больше в них энтероцитов [32]. В этом исследовании также проводили оценку содержание муцина в бокаловидных клетках [11]. Кислые гликоконъюгаты содержались в большем количестве, что может обеспечить большую устойчивость к бактериальным инфекциям в кишечнике, так как они придают высокую вязкость муцинам, которые в таком плотном состоянии потенциально способны задерживать патогенные бактерии. Кроме того, измеряли и толщину слизистой кишечника, так у поросят, получавших дрожжи, наблюдается более тонкий слой слизи. Это может способствовать повышению эффективности их кормления, так как более толстый слой может также ограничивать диффузию питательных веществ к апикальной поверхности эпителиальных клеток, тем самым снижая всасывание. Так же более толстый слой у группы без дрожжевого рациона может указывать на большее присутствие потенциальных патогенных микроорганизмов в просвете кишечника, что позволяет предположить, что дрожжевые добавки полезны и способны снижать уровень потенциальных патогенов в кишечнике.

Помимо кишечника, важную роль играет рубец, участвуя в энергетическом балансе животного и действуя, как защитный барьер. Исследование [25; 50] показывает, что МОС и живые *S. cerevisiae* могут действовать как профилактический фактор против гиперкератинизации сосочков рубца, улучшая здоровье его эпителия за счет уменьшения толщины рогового слоя. Этот профилактический эффект, по-видимому, обусловлен стабилизацией pH рубца и уменьшением продолжительности времени, в течение которого pH находится ниже порога рубцового ацидоза. Другая возможная гипотеза возникает на основании того, что при добавлении живых дрожжей в рацион бычков наблюдается увеличение производства ацетата и бутирата в рубце [50], которые могли бы уменьшить распространенность гиперкератинизации сосочков за счет снижения осмотического давления в эпителии рубца [67].

Заключение

Использование дрожжей в качестве кормовой добавки, в настоящее время представляет большой интерес, но поскольку результаты исследований имеют противоречия, которые возможно связаны с различиями в животном

материале, формы использования дрожжей, отсутствием улучшения усвояемости питательных веществ, что зависит от состава основного рациона, организации кормления, использовании других кормовых добавок вместе с дрожжами, а также с длительностью срока получения добавки и ее количества и с условием того, что механизмы действия дрожжевых продуктов, которые прямо или косвенно влияют на метаболизм и работоспособность, до конца не изучены, необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять принцип действия, дозы, безопасность и рекомендации по использованию этих продуктов. Данный обзор позволит определить новые направления исследований, которые помогут лучше охарактеризовать механизм действия дрожжей и их компонентов, что в результате приведет к более целенаправленной коррекции действующих рационов.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена по государственному заданию FNWZ-2024-0002.

Список литературы / References

1. Овсепьян, В. А., Юрина, Н. А., Тлецерук, И. Р., & Юрин, Д. А. (2023). Применение кормовых добавок в рационах цыплят-бройлеров: монография. Краснодар: Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии. 166 с. https://doi.org/10.48612/monograph-2023-1 (Ovsepian, V. A., Yurina, N. A., Tlezeruk, I. R., & Yurin, D. A. (2023). *Application of feed additives in broiler chickens' diets: Monograph*. Krasnodar: Krasnodar Scientific Centre for Animal Husbandry and Veterinary Science. 166 p. https://doi.org/10.48612/monograph-2023-1)
2. Рядчиков, В. Г., Астахова, Д. П., Сень, Т. А., Шляхова, О. Г., Потехин, С. А., & Тарасенко, О. А. (2014). Эффективность сухих пекарских дрожжей рода Saccharomyces cerevisiae в рационах молочных коров. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, *(101)*, 1500–1515. (Ryadchikov, V. G., Astakhova, D. P., Sen', T. A., Shlyakhova, O. G., Potekhin, S. A., & Tarasenko, O. A. (2014). Efficiency of dry baker's yeast genus *Saccharomyces cerevisiae* in dairy cows' diet. *Polythematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, *(101)*, 1500–1515.)
3. Смоленцев, С. Ю. (2023). Влияние пробиотиков на росто-весовые показатели молодняка крупного рогатого скота. *Вестник Марийского*

государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки», *9*(2), 197–204. (Smolentsev, S. Y. (2023). Effect of probiotics on growth-weight parameters of young cattle. *Bulletin of Mari State University. Series "Agricultural sciences. Economic sciences"*, *9*(2), 197–204.)

4. Шацких, Е. В., Нуфер, А. И., & Галиев, Д. М. (2019). Рациональный подход к замене кормовых антибиотиков в рационах цыплят-бройлеров на альтернативные ростостимулирующие добавки СафМаннан и Иммуносан. *Вестник Курганской ГСХА*, *31*(3), 47–49. (Shatskikh, E. V., Nufer, A. I., & Galiev, D. M. (2019). Rational approach to replacing feed antibiotics in broiler chickens' diets with alternative growth stimulators SafMannan and Immunosan. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, *31*(3), 47–49.)
5. Ahiwe, E. U., Abdallh, M. E., Chang'a, E. P., Omede, A. A., Al-Qahtani, M., Gausi, H., Graham, H., & Iji, P. A. (2020). Influence of dietary supplementation of autolysed whole yeast and yeast cell wall products on broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *33*(4), 579–587. https://doi.org/10.5713/ajas.19.0220
6. Alizadeh, M., Rodriguez, J. C., Yitbarek, A., Sharif, S., Crow, G., & Slominski, B. A. (2016). Effect of yeast-derived products on systemic innate immune response of broiler chickens following a lipopolysaccharide challenge. *Poultry Science*, *95*(10), 2266–2273. https://doi.org/10.3382/ps/pew154
7. Al-Nasrawi, M. A., Al-Kassie, G. A., & Ali, N. A. (2020). Role of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a source of probiotics in poultry diets. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, *7*(7), 6611–6617. https://www.researchgate.net/publication/348351795_Role_Of_Yeast_Saccharomyces_Cereviciae_As_A_Source_Of_Probiotics_In_Poultry_Diets
8. Bach, A., Iglesias, C., & Devant, M. (2007). Daily rumen pH pattern of loose-housed dairy cattle as affected by feeding pattern and live yeast supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, *136*, 156–163. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.011
9. Baurhoo, B., Phillip, L., & Ruiz-Feria, C. A. (2007). Effects of purified lignin and mannan oligosaccharides on intestinal integrity and microbial populations in the ceca and litter of broiler chickens. *Poultry Science*, *86*, 1070–1078. https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1070
10. Bonis, V., Rossell, C., & Gehart, H. (2021). The intestinal epithelium – fluid fate and rigid structure from crypt bottom to villus tip. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, *20*(9), 661931. https://doi.org/10.3389/fcell.2021.661931
11. Bontempo, V., Di Giancamillo, A., Savoini, G., Dell'Orto, V., & Domeneghini, C. (2006). Live yeast dietary supplementation acts upon intestinal morpho-func-

tional aspects and growth in weanling piglets. *Animal Feed Science and Technology*, *129*(3), 224–236. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.12.015

12. Chacher, M. F. A., Kamran, Z., & Ahsan, U. (2017). Use of mannan oligosaccharide in broiler diets: an overview of underlying mechanism. *World's Poultry Science Journal*, *73*, 831–844. https://doi.org/10.1017/S0043933917000757
13. Chand, N., Khan, R. U., Mobashar, M., Naz, S., Rowghani, E., & Khan, M. A. (2019). Mannanoligosaccharide (MOS) in broiler ration during the starter phase: 1. Growth performance and intestinal histomorphology. *Pakistan Journal of Zoology*, *51*, 173–176. https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.1.173.176
14. Chaucheyras-Durand, F., Chevaux, E., Martin, C., & Forano, E. (2012). Use of yeast probiotics in ruminants: Effects and mechanisms of action on rumen pH, fibre degradation, and microbiota according to the diet. In Rigobelo, E. (Ed.), *Probiotic in Animals* (pp. 119–152). IntechOpen. http://dx.doi.org/10.5772/50192
15. Chaucheyras-Durand, F., Walker, N. D., & Bach, A. (2008). Effects of active dry yeast on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Animal Feed Science and Technology*, *145*, 5–26. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019
16. Chung, Y. H., Walker, N. D., McGinn, S. M., & Beauchemin, K. A. (2011). Differing effects of two active dried yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strains on ruminal acidosis and methane production in non-lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *94*, 2431–2439. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3277
17. Cox, C. M., Sumners, L. H., Kim, S., McElroy, A. P., Bedford, M. R., & Dalloul, R. A. (2010). Immune responses to dietary β-glucan in broiler chicks during an *Eimeria* challenge. *Poultry Science*, *89*, 2597–2607. https://doi.org/10.3382/ps.2010-00987
18. Cui, C., Li, L., Wu, L., Wang, X., Zheng, Y., Wang, F., Wei, H., & Peng, J. (2023). Paneth cells in farm animals: current status and future direction. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *14*(1), 118. https://doi.org/10.1186/s40104-023-00905-5
19. Dalmo, R. A., & Bøgwald, J. (2008). β-glucans as conductors of immune symphonies. *Fish & Shellfish Immunology*, *25*, 384–396. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2008.04.008
20. Ding, B., Zheng, J., Wang, X., Zhang, L., Sun, D., Xing, Q., Pirone, A., & Fronte, B. (2019). Effects of dietary yeast beta-1,3-1,6-glucan on growth performance, intestinal morphology and chosen immunity parameters changes in Haidong chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *32*(10), 1558–1564. https://doi.org/10.5713/ajas.18.0962
21. Elghandour, M. M. Y., Tan, Z. L., Abu Hafsa, S. H., Adegbeye, M. J., Greiner, R., Ugbogu, E. A., Monroy, J. C., & Salem, A. Z. M. (2020). *Saccharomyces cerevi-*

siae as a probiotic feed additive to non- and pseudo-ruminant feeding: A review. *Journal of Applied Microbiology*, *128*(3), 658–674. https://doi.org/10.1111/jam.14416

22. Enculescu, M. (2021). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* addition in dairy cow diets. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, *78*(1), 18–26. https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:2020.0022
23. Feldmann, H. (2012). *Yeast: Molecular and Cell Biology* (2nd ed.). John Wiley & Sons: Hoboken, NJ. ISBN: 978-3-527-65918-0
24. Garcia Diaz, T., Ferriani Branco, A., Jacovaci, F. A., Cabreira Jobim, C., Pratti Daniel, J. L., Iank Bueno, A. V., & Gonçalves Ribeiro, M. (2018). Use of live yeast and mannan-oligosaccharides in grain-based diets for cattle: Ruminal parameters, nutrient digestibility, and inflammatory response. *PLoS ONE*, *13*(11), e0207127. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207127
25. Garcia Diaz, T., Ferriani Branco, A., Jacovaci, F. A., Cabreira Jobim, C., Bolson, D. C., & Pratti Daniel, J. L. (2018). Correction: Inclusion of live yeast and mannan-oligosaccharides in high grain-based diets for sheep: Ruminal parameters, inflammatory response and rumen morphology. *PLoS ONE*, *13*(4), e0196184. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193313
26. Ghazanfar, S., Khalid, N., Ahmed, I., & Imran, M. (2017). Probiotic yeast: Mode of action and its effects on ruminant nutrition. In *Yeast—Industrial Applications* (pp. 179–202). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.70778
27. Ghosh, T., Haldar, S., Bedford, M., Muthusami, N., & Samanta, I. (2012). Assessment of yeast cell wall as replacements for antibiotic growth promoters in broiler diets: Effects on performance, intestinal histo-morphology and humoral immune responses. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *96*, 275–284. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01155.x
28. Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., et al. (2017). Expert consensus document: The international scientific association for probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *14*, 491–502. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75
29. Göncü, S., Bozkurt, S., & Görgülü, M. (2020). The effect of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) on fattening performances of growing cattle. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, *5*(3), 109–111. https://doi.org/10.15406/mojes.2020.05.00182
30. Guo, J., Chang, G., Zhang, K., Xu, L., Jin, D., Bilal, M. S., & Shen, X. (2017). Rumen-derived lipopolysaccharide provoked inflammatory injury in the liver

of dairy cows fed a high-concentrate diet. *Oncotarget*, *8*(29), 46769–46780. https://doi.org/10.18632/oncotarget.18151

31. Gurbuz, E., Balevi, T., Kurtoglu, V., & Oznurlu, Y. (2011). Effects of adding yeast cell walls and *Yucca schidigera* extract to diets of layer chicks. *British Poultry Science*, *52*(5), 625–631. https://doi.org/10.1080/00071668.2011.619517
32. Hampson, D. J. (1986). Alterations in piglets' small intestinal structure at weaning. *Research in Veterinary Science*, *40*, 32–40. https://doi.org/10.1016/S0034-5288(18)30482-X
33. He, T., Mahfuz, S., Piao, X., Wu, D., Wang, W., Yan, H., Ouyang, T., & Liu, Y. (2021). Effects of live yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as a substitute to antibiotic on growth performance, immune function, serum biochemical parameters and intestinal morphology of broilers. *Journal of Applied Animal Research*, *49*(1), 15–22. https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1876705
34. Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., et al. (2014). The international scientific association for probiotics and prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *11*, 506–514. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66
35. Imrich, I., Copik, S. T., Mlyneková, E., Mlynek, J., Hascik, P., & Kanka, T. (2021). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* additive to cattle ration on milk yield of dairy cows. *Acta Fytotechnica Et Zootechnica*, *24*, 45–48. https://doi.org/10.15414/afz.2021.24.mi-prap.45-48
36. Jacob, J., & Pescatore, A. (2017). Glucans and the poultry immune system. *American Journal of Immunology*, *13*(3), 45–49. https://doi.org/10.3844/ajisp.2017.45.49
37. Javadi, A., Mirzaei, H., Safarmashaei, S., & Vahdatpour, S. (2012). Effects of probiotic (live and inactive *Saccharomyces cerevisiae*) on meat and intestinal microbial properties of Japanese quails. *African Journal of Biotechnology*, *11*(57), 12083–12087. https://doi.org/10.5897/AJB12.232
38. Johnson, C. N., Hashim, M. M., Bailey, C. A., Byrd, J. A., Kogut, M. H., & Arsenault, R. J. (2020). Feeding of yeast cell wall extracts during a necrotic enteritis challenge enhances cell growth, survival and immune signaling in the jejunum of broiler chickens. *Poultry Science Journal*, *99*(6), 2955–2966. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.012
39. Klis, F. M., Mol, P., Hellingwerf, K., & Brul, S. (2002). Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Reviews*, *26*(3), 239–256. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x

40. Koc, F., Samli, H., Okur, A., Ozduven, M., Akyurek, H., & Senkoylu, N. (2010). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and/or mannanoligosaccharide on performance, blood parameters and intestinal microbiota of broiler chicks. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, *16*, 643–650. https://www.agrojournal.org/16/05-15-10.pdf
41. Kogan, G., Pajtinka, M., Babincova, M., Miadokova, E., Rauko, P., Slamenova, D., & Korolenko, T. A. (2008). Yeast cell wall polysaccharides as antioxidants and antimutagens: Can they fight cancer? *Neoplasma*, *55*(5), 387–393.
42. Konca, Y., Kirkpinar, F., & Mert, S. (2009). Effects of mannan-oligosaccharides and live yeast in diets on the carcass, cut yields, meat composition and color of finishing turkeys. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *22*, 550–556. https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80350
43. Kovačević, M. (2015). Morphological and physiological characteristics of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* cells differing in lifespan: Master thesis. Zagreb. 87 p. https://core.ac.uk/download/pdf/53873457.pdf
44. Krizkova, L., Durackova, Z., Sandula, J., Sasinkova, V., & Krajcovic, J. (2001). Antioxidative and antimutagenic activity of yeast cell wall mannans in vitro. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, *497*, 213–222. https://doi.org/10.1016/s1383-5718(01)00257-1
45. Lascano, G. J., & Heinrichs, A. J. (2009). Rumen fermentation pattern of dairy heifers fed restricted amounts of low, medium, and high concentrate diets without and with yeast culture. *Livestock Science*, *124*, 48–57. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.12.007
46. Lei, C. L., Dong, G. Z., Jin, L., Zhang, S., & Zhou, J. (2013). Effects of dietary supplementation of montmorillonite and yeast cell wall on lipopolysaccharide adsorption, nutrient digestibility and growth performance in beef cattle. *Livestock Science*, *158*, 57–63. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.019
47. Li, X. H., Chen, Y. P., Cheng, Y. F., Yang, W. L., Wen, C., & Zhou, Y. M. (2016). Effect of yeast cell wall powder with different particle sizes on the growth performance, serum metabolites, immunity and oxidative status of broilers. *Animal Feed Science and Technology*, *212*, 81–89. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.011
48. Lynch, H. A., & Martin, S. A. (2002). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* culture and *Saccharomyces cerevisiae* live cells on in vitro mixed ruminal microorganism fermentation. *Journal of Dairy Science*, *85*(10), 2603–2608. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74345-2
49. Maamouri, O., Mabrouk, S., & Mathlouthi, L. M. (2019). Effects of *Saccharomyces cerevisiae* as dead yeast culture on feed supplement in fattening cattle on

growth, intake parameters and nutrient digestibility. *Large Animal Review*, *25*(3), 83–87. https://www.largeanimalreview.com/index.php/lar/article/view/325

50. Magrin, L., Gottardo, F., Fiore, E., Gianesella, M., Martin, B., Chevaux, E., & Cozzi, G. (2018). Use of a live yeast strain of *Saccharomyces cerevisiae* in a high-concentrate diet fed to finishing Charolais bulls: Effects on growth, slaughter performance, behavior, and rumen environment. *Animal Feed Science and Technology*, *241*, 84–93. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.04.021
51. Masék, T., Mikulec, Ž., Valpotić, H., Kušće, L., Mikulec, N., & Antunac, N. (2008). The influence of live yeast cells (*Saccharomyces cerevisiae*) on the performance of grazing dairy sheep in late lactation. *Veterinarski Arhiv*, *78*(2), 95–104. https://wwwi.vef.hr/vetarhiv/papers/2008-78-2-1.pdf
52. Maturana, M., Castillejos, L., Martin-Orue, S. M., Minel, A., Chetty, O., Felix, A. P., & Lesaux, A. A. (2023). Potential benefits of yeast *Saccharomyces* and their derivatives in dogs and cats: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 1279506. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1279506
53. McCord, J. M. (1979). Superoxide: Superoxide dismutase and oxygen toxicity. *Reviews of Biochemistry and Toxicology*, *1*, 109–124.
54. Meledina, T. V., Ivanova, V. A., Golovinskaia, O. V., & Harba, R. (2021). *Yeast. Morphology and physiology: Study guide*. Saint-Petersburg: ITMO University. 68 p. https://books.ifmo.ru/file/pdf/2760.pdf
55. Mirza, R. A., Muhammad, S. D., & Kareem, K. Y. (2020). Effect of commercial baker's yeast supplementation (*Saccharomyces cerevisiae*) in diet and drinking water on productive performance, carcass traits, haematology, and microbiological characteristics of local quails. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences*, *32*(3), 200–205. https://doi.org/10.21271/ZJPAS.32.3.21
56. Mohammed, S., Enas, A., & Farook, S. (2018). Review on effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) as feed additives in ruminants performance. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, *6*(2), 629–635. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10675.37926
57. Moyad, M. A., Robinson, L. E., Kittelsrud, J. M., Reeves, S. G., Weaver, S. E., & Guzman, A. I. (2009). Immunogenic yeast-based fermentation product reduces allergic rhinitis-induced nasal congestion: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Advances in Therapy*, *26*, 795–804. https://doi.org/10.1007/s12325-009-0057-y
58. Newbold, C. J., Wallace, R. J., Chen, X. B., & McIntosh, F. M. (1995). Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *Journal of Animal Science*, *73*, 1811–1818. https://doi.org/10.2527/1995.7361811x

59. Newbold, C. J., Wallace, R. J., & McIntosh, F. M. (1996). Mode of action of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a feed additive for ruminants. *British Journal of Nutrition*, *76*, 249–261. https://doi.org/10.1079/bjn19960029
60. Nguyen, T. H., Fleet, G. H., & Rogers, P. L. (1998). Composition of the cell walls of several yeast species. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *50*(2), 206–212. https://doi.org/10.1007/s002530051278
61. Nochta, I., Tuboly, T., Halas, V., & Babinszky, L. (2009). Effect of different levels of mannan-oligosaccharide supplementation on some immunological variables in weaned piglets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *93*(4), 496–504. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00835.x
62. Öztürk, H., Emre, G., & Breves, G. (2016). Effects of hydrolysed yeasts on ruminal fermentation in the rumen simulation technique (Rusitec). *Veterinary Medicine*, *61*, 195–203. https://doi.org/10.17221/8820-VETMED
63. Olagaray, K. E., Sivinski, S. E., Saylor, B. A., Mamedova, L. K., Sauls-Hiesterman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J. (2019). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *102*(9), 8092–8107. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16315
64. Omara, I. I., Pender, C. M., White, M. B., & Dalloul, R. A. (2021). The modulating effect of dietary beta-glucan supplementation on expression of immune response genes of broilers during a coccidiosis challenge. *Animals*, *11*(1), 159. https://doi.org/10.3390/ani11010159
65. Ovinge, L. A., Sarturi, J. O., Galyean, M. L., Ballou, M. A., Trojan, S. J., Campanili, P. R. B., Alrumaih, A. A., & Pellarin, L. A. (2018). Effects of a live yeast in natural-program finishing feedlot diets on growth performance, digestibility, carcass characteristics, and feeding behavior. *Journal of Animal Science*, *96*(2), 684–693. https://doi.org/10.1093/jas/sky011
66. Patterson, R., Rogiewicz, A., Kiarie, E. G., & Slominski, B. A. (2022). Yeast derivatives as a source of bioactive components in animal nutrition: A brief review. *Frontiers in Veterinary Science*, *9*, 1067383. https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1067383
67. Penner, G. B., Aschenbach, J. R., Gäbel, G., & Oba, M. (2009). Epithelial capacity for the apical uptake of short-chain fatty acids is a key determinant for intra-ruminal pH and the susceptibility to sub-acute ruminal acidosis in sheep. *The Journal of Nutrition*, *139*, 1714–1720. https://doi.org/10.3945/jn.109.108506
68. Perricone, V., Sandrini, S., Irshad, N., Savoini, G., Comi, M., & Agazzi, A. (2022). Yeast-derived products: The role of hydrolyzed yeast and yeast culture in poultry nutrition. A review. *Animals*, *12*, 1426. https://doi.org/10.3390/ani12111426

69. Pinloche, E., McEwan, N., Marden, J. P., Bayourthe, C., Auclair, E., & Newbold, C. J. (2013). The effects of a probiotic yeast on the bacterial diversity and population structure in the rumen of cattle. *PLoS ONE*, *8*(7), e67824. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067824
70. Plaizier, J., Khafipour, E., Li, S., Gozho, G., & Krause, D. (2012). Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. *Animal Feed Science and Technology*, *172*, 9–21. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.004
71. Poli, G., Leonarduzzi, G., Biasi, F., & Chiarpotto, E. (2004). Oxidative stress and cell signaling. *Current Medicinal Chemistry*, *11*(9), 1163–1182. https://doi.org/10.2174/0929867043365323
72. Qui, N. H. (2023). Baker's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and its application on poultry's production and health: A review. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, *37*(1), 213–221. https://doi.org/10.33899/ijvs.2022.132912.2146
73. Roto, S. M., Rubinelli, P. M., & Ricke, S. C. (2015). An introduction to the avian gut microbiota and the effects of yeast-based prebiotic-type compounds as potential feed additives. *Frontiers in Veterinary Science*, *2*, 28. https://doi.org/10.3389/fvets.2015.00028
74. Sallam, S. M. A., Abdelmalek, M. L. R., Kholif, A. E., Zahran, S. M., Ahmed, M. H., Zeweil, H. S., Attia, M. F. A., Osama, H. M., & Olafadehan, O. A. (2020). The effect of *Saccharomyces cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows. *Animal Biotechnology*, *31*(6), 491–497. https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783
75. Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., & Quigley, E. M. M. (2021). The international scientific association of probiotics and prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, *18*, 649–667. https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6
76. Satoshi, S., Kiyoji, T., Hiroyo, K., & Fumio, N. (1989). Exercise-induced lipid peroxidation and leakage of enzymes before and after vitamin E supplementation. *International Journal of Biochemistry*, *21*(8), 835–838. https://doi.org/10.1016/0020-711x(89)90280-2
77. Shurson, G. C. (2018). Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Animal Feed Science and Technology*, *235*, 60–76. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010
78. Sivinski, S. E., Meier, K. E., Mamedova, L. K., Saylor, B. A., Shaffer, J. E., Sauls-Hiesterman, J. A., Yoon, I., & Bradford, B. J. (2022). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on oxidative status, inflammation, and

immune response in transition dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *105*(11), 8850–8865. https://doi.org/10.3168/jds.2022-21998

79. Spring, P., Wenk, C., Connolly, A., & Kiers, A. (2015). A review of 733 published trials on Bio-Mos®, a mannan oligosaccharide, and Actigen®, a second-generation mannose-rich fraction, on farm and companion animals. *Journal of Applied Animal Nutrition*, *3*, E8. https://doi.org/10.1017/jan.2015.6
80. Suarez, C., & Guevara, C. A. (2018). Probiotic use of yeast *Saccharomyces cerevisiae* in animal feed. *Research Journal of Zoology*, *1*, 1–6. https://doi.org/10.4172/RJZ.1000103
81. Swyers, K. L., Wagner, J. J., Dorton, K. L., & Archibeque, S. L. (2014). Evaluation of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product as an alternative to monensin on growth performance, cost of gain, and carcass characteristics of heavyweight yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, *92*, 2538–2545. https://doi.org/10.2527/jas.2013-7559
82. Tohid, T., Hasan, G., & Alireza, T. (2010). Efficacy of mannanoligosaccharides and humate on immune response to avian influenza (H9) disease vaccination in broiler chickens. *Veterinary Research Communications*, *34*(8), 709–717. https://doi.org/10.1007/s11259-010-9444-8
83. Tufail, M., Chand, N., Rafiullah, A. S., Khan, R. U., Mobashar, M., & Naz, S. (2019). Mannanoligosaccharide (MOS) in broiler diet during the finisher phase: 2. Growth traits and intestinal histomorphology. *Pakistan Journal of Zoology*, *51*, 597–602. https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.2.597.602
84. USDA. Leavening agents, yeast, baker's, active dry.
85. Uyeno, Y., Shigemori, S., & Shimosato, T. (2015). Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and Environments*, *30*(2), 126–132. https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176
86. Vyas, D., Uwizeye, A., Mohammed, R., Yang, W. Z., Walker, N. D., & Beauchemin, K. A. (2014). The effects of active dried and killed dried yeast on subacute ruminal acidosis, ruminal fermentation, and nutrient digestibility in beef heifers. *Journal of Animal Science*, *92*(2), 724–732. https://doi.org/10.2527/jas.2013-7072
87. Wu, C., Yang, Z., Song, C., Liang, C., Li, H., Chen, W., Lin, W., & Xie, Q. (2018). Effects of dietary yeast nucleotides supplementation on intestinal barrier function, intestinal microbiota, and humoral immunity in specific-pathogen-free chickens. *Poultry Science*, *97*(11), 3837–3846. https://doi.org/10.3382/ps/pey268
88. Xiao, R., Power, R. F., Mallonee, D., Routt, K., Spangler, L., Pescatore, A. J., Cantor, A. H., Ao, T., Pierce, J. L., & Dawson, K. A. (2012). Effects of yeast cell wall-derived mannan-oligosaccharides on jejunal gene expression in young

broiler chickens. *Poultry Science*, *91*(7), 1660–1669. https://doi.org/10.3382/ps.2011-02035

89. Zanello, G., Meurens, F., Serreau, D., Chevaleyre, C., Melo, S., Berri, M. D., Inca, R., Auclair, E., & Salmon, H. (2013). Effects of dietary yeast strains on immunoglobulin in colostrum and milk of sows. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, *152*, 20–27. https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2012.09.023
90. Zebeli, Q., & Ametaj, B. N. (2009). Relationships between rumen lipopolysaccharide and mediators of inflammatory response with milk fat production and efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *92*(8), 3800–3809. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2178
91. Zhang, A. W., Lee, B. D., Lee, S. K., Lee, K. W., An, G. H., Song, K. B., & Lee, C. H. (2005). Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. *Poultry Science Journal*, *84*(7), 1015–1021. https://doi.org/10.1093/ps/84.7.1015
92. Zhang, B., Guo, Y., & Wang, Z. (2008). The modulating effect of β-1, 3/1, 6-glucan supplementation in the diet on performance and immunological responses of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *21*(2), 237–244. https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70207
93. Zhang, J., Wan, K., Xiong, Z. B., Luo, H., Zhou, Q. F., Liu, A. F., Cao, T. T., & He, H. (2021). Effects of dietary yeast culture supplementation on the meat quality and antioxidant capacity of geese. *Journal of Applied Poultry Research*, *30*(1), 100116. https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лазебник Кристина Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований в животноводстве
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
christinakondrashova94@yandex.ru

Косян Дианна Багдасаровна, кандидат биологических наук**,** старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований в животноводстве
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
kosyan.diana@mail.ru

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления с/х животных и технологии кормов, заместитель директора
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
gduskaev@mail.ru

Рязанов Виталий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления с/х животных и технологии кормов
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»
ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская Федерация
vita7456@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kristina S. Lazebnik, Junior Researcher Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry
Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
christinakondrashova94@yandex.ru
SPIN-code: 9820-8180
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4907-9656
ResearcherID: KFA-8181-2024
Scopus Author ID: 57209232529

Diana B. Kosyan, PhD of Biological Sciences, Senior Researcher Laboratory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
kosyan.diana@mail.ru
SPIN-code: 3613-7137
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2621-108X
ResearcherID: O-1790-2016
Scopus Author ID: 56698270900

Galimzhan K. Duskaev, Grand PhD in Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Animal Feeding and Feed Technology, Deputy Director
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
gduskaev@mail.ru
SPIN-code: 7297-3319
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9015-8367
ResearcherID: N-4454-2014
Scopus Author ID: 56192764700

Vitaly A. Ryazanov, PhD of Agricultural Sciences, Researcher of the Department of Animal Feeding and Feed Technology
Federal Research Centre for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
vita7456@yandex.ru
SPIN-code: 6076-5714
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0903-9561
ResearcherID: AAG-8005-2020
Scopus Author ID: 0000-0003-0903-9561

Поступила 15.04.2024 Received 15.04.2024
После рецензирования 21.06.2024 Revised 21.06.2024
Принята 07.08.2024 Accepted 07.08.2024

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	7-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗАНИЯ 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

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* НА ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНЫЙ ТРАКТ ТЕЛЯТ С ДИАРЕЙНЫМ СИНДРОМОМ
И.Б. Грибченко, А.В. Корель, А. Саеди, В.Д. Бец 11

СОСТАВ И ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ФУНКЦИИ ЭНДОМЕТРИАЛЬНОГО И РУБЦОВОГО МИКРОБИОМА ДОЙНЫХ КОРОВ НА ФОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО ЭНДОМЕТРИТА
Йылдырым Е.А., Филиппова В.А., Ильина Л.А., Лаптев Г.Ю., Дубровин А.В., Заикин В.А., Калиткина К.А., Корочкина Е.А., Ключникова И.А., Пономарева Е.С., Бражник Е.А., Сметанникова Т.С., Тюрина Д.Г. 26

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

ГЕНЕРАЦИЯ СУПЕРОКСИД АНИОН-РАДИКАЛА В ЛИСТЬЯХ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ
О.В. Бледных, Н.А. Роденко, В.А. Глущенков, Ю.В. Дегтева 50

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ДИГРЕССИОННО-ДЕМУТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИРУСЛОВЫХ ЛЕСОВ ВДОЛЬ РЕКИ КАЧА В РЕСПУБЛИКЕ КРЫМ
В.Г. Кобечинская, О.Б. Ярош, В.Л. Апостолов 70

ВЛИЯНИЕ РУБОК НА ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ В РАЙОНАХ С МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ
А.В. Шемякина 93

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

EVALUATION OF VITAMINS (A, C, D, E) LEVELS IN PSORIASIS PATIENTS IN BASRAH, IRAQ
A.A. Hassan, S.G. Sayyah 113

МЕМБРАННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МИТОХОНДРИЙ $CD4^+$ КЛЕТОК ПРИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЕ ЛЕГКОЙ И СРЕДНЕЙ СТЕПЕНИ ТЯЖЕСТИ
Е.В. Кондратьева, Т.И. Виткина 130

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ, ВСХОЖЕСТЬ И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ КИСЛОТНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ
О.В. Мельникова, В.И. Репникова, В.Е. Ториков 144

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОЗЫ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ FE, MN, ZN И CU В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ РАПСА
О.А. Дубровина, Т.В. Зубкова, Д.В. Виноградов, В.А. Кравченко, В.Л. Захаров 164

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МАСЛИНЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР
С.Ю. Цюпка, В.А. Цюпка, И.В. Булавин 182

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ПРИГОДНОСТИ К ДЛИТЕЛЬНОМУ ХРАНЕНИЮ CR-ГИБРИДОВ КАПУСТЫ ПЕКИНСКОЙ
А.Д. Заставнюк, Г.Ф. Монахос, С.Г. Монахос 205

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

THE IMPACT OF ORGANIC RESIDUES ON LEAD ADSORPTION IN TWO TYPES OF CALCAREOUS SOILS
A.J. Mohammed, S.J. Fakher 229

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЛОС И ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТНОГО ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЯ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
А.С. Манаенков, П.М. Подгаецкая, В.Н. Петров 246

ОБОСНОВАНИЕ ЗАТРАТ НА ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНОЕ ОБУСТРОЙСТВО ЗЕМЕЛЬ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ОПУСТЫНИВАНИЮ
Е.А. Корнеева 267

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВСПЫШКИ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА НА ОСНОВЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ЮЖНО-ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ СИБИРИ
С.М. Сультсон, А.А. Горошко, Д.А. Демидко, П.В. Михайлов, О.А. Слинкина, Н.Н. Кулакова 282

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

ПИЩЕВОЕ ПОВЕДЕНИЕ И НУТРИТИВНЫЙ СТАТУС ПЕДАГОГОВ КАК ОТРАЖЕНИЕ ИХ УРОВНЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ В ВОПРОСАХ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ
Н.И. Кадочникова, Н.Л. Демина 308

РЕЗУЛЬТАТЫ HLA-ТИПИРОВАНИЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОПУЛЯЦИИ ДЕТЕЙ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1 ТИПА В ХМАО-ЮГРЕ
Н.А. Юсупова, О.С. Сутормин, М.Ю. Донников, Л.В. Коваленко, А.В. Морозкина, А.Х. Гапурова, М.Л. Сафронова 329

СТРАТЕГИИ ПОДДЕРЖАНИЯ ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ ИНДЕКСОМ МАССЫ ТЕЛА
И.Е. Устинов, Ю.А. Архипова, А.В. Федорова, О.А. Фирсова 346

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СОМАТОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ТРЕНДОМ СМЕРТНОСТИ ОТ БОЛЕЗНЕЙ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИИ ЖИТЕЛЕЙ-СЕВЕРЯН
О.О. Алёшина, И.В. Аверьянова 368

ПРОБЛЕМА ФАКТОРОВ ПСИХИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И ЗДОРОВЬЯ ДЕТЕЙ, РОЖДЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РЕПРОДУКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Т.Г. Бохан, А.В. Силаева, О.В. Терехина, С.Б. Лещинская, М.В. Шабаловская 389

ЭТИОПАТОГЕНЕЗ ПОСТКОВИДНОГО СИНДРОМА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)
С.Г. Безруков, К.О. Таримов, В.З. Харченко, А.А. Ибраимов, А.З. Сеитягьяев 415

МЕДИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ (СОТРУДНИКОВ): СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ТРЕНДЫ И РЕГУЛЯЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ
Д.В. Смирнов, П.Ю. Наумов, А.И. Землин 437

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ЭНЕРГОЭНТРОПИЙНЫЙ АНАЛИЗ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ
Г.А. Рулев, А.С. Рулев, О.В. Рулева 461

АНАЛИЗ МИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА КАРТОФЕЛЯ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЁННЫХ НАЦИЙ
И.А. Аксенов, Г.А. Трунин, М.С. Фабриков, М.С. Лисятников, Е.С. Прусов, С.И. Рощина, М.А. Дубровин 475

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СВЕЖЕСТИ ПЛОДОВ ЗЕМЛЯНИКИ
Г.В. Нестеров, А.В. Гурылева, М.О. Шарикова, С.А. Суханова, А.С. Мачихин 500

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЬНОСМОЛОТОЙ ПШЕНИЧНО-ТРИТИКАЛЕВОЙ МУКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ
Р.Х. Кандроков, С.А. Катин, А.О. Сивцев, Д.Н. Верьемьев, Е.В. Пестова 518

ОПЫТ РЕГИОНОВ

ИКСОДОВЫЕ КЛЕЩИ И СЛУЧАИ БРУЦЕЛЛЕЗА В ТАВУШСКОЙ ОБЛАСТИ АРМЕНИИ: УСТОЙЧИВОЕ СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО
В.В. Григорян, Г.С. Цпнецян, Л.Г. Григорян, В.В. Абрамян, Г.М. Петросян, С.В. Ерибекян, А.З. Пепоян 544

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ДРОЖЖЕЙ НА ПРИМЕРЕ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В РАЦИОНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)
К.С. Лазебник, Д.Б. Косян, Г.К. Дускаев, В.А. Рязанов 564

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 593

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

THE EFFECT OF THE PROBIOTIC STRAIN OF *BACILLUS SUBTILIS* ON THE GASTROINTESTINAL TRACT OF CALVES WITH DIARRHEAL SYNDROME
I.B. Gribchenko, A.V. Korel, A. Saeidi, V.D. Bets 11

COMPOSITION AND PREDICTED FUNCTIONS OF DAIRY CATTLE'S ENDOMETRIAL AND RUMEN MICROBIOME AGAINST THE BACKGROUND OF CHRONIC ENDOMETRITIS
E.A. Yildirim, V.A. Filippova, L.A. Ilina, G.Yu. Laptev, A.V. Dubrovin, V.A. Zaikin, K.A. Kalitkina, E.A. Korochkina, I.A. Klyuchnikova, E.S. Ponomareva, E.A. Brazhnik, T.S. Smetannikova, D.G. Tyurina 26

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

GENERATION OF SUPEROXIDE ANION-RADICAL IN LEAVES OF SOFT WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) UNDER THE ACTION OF A HIGH-INTENSITY PULSED MAGNETIC FIELD
O.V. Blednyh, N.A. Rodenko, V.A. Glushchenkov, Ju.V. Degteva 50

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE

DIGRESSION-DEMUTATION PROCESSES OF RIPARIAN FORESTS ALONG THE KACHA RIVER IN THE REPUBLIC OF CRIMEA
V.G. Kobechinskaya, O.B. Yarosh, V.L. Apostolov 70

THE IMPACT OF LOGGING ON REFORESTATION IN AREAS WITH PERMAFROST AND ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES
A.V. Shemyakina 93

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

EVALUATION OF VITAMINS (A, C, D, E) LEVELS IN PSORIASIS PATIENTS IN BASRAH, IRAQ
A.A. Hassan, S.G. Sayyah 113

$CD4^+$ CELLS MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL IN MILD AND MODERATE ASTHMA
E.V. Kondratyeva, T.I. Vitkina 130

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

GERMINATIVE ENERGY, GERMINATING ABILITY AND SEED GERMINATION BIOMETRICS OF SOFT WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) IN DIFFERENT ACIDITY AQUEOUS MEDIUM
O.V. Melnikova, V.I. Repnikova, V.E. Torikov 144

TO STUDY THE EFFECT OF THE DOSE OF ORGANOMINERAL FERTILIZERS ON THE ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF FE, MN, ZN AND CU IN THE ORGANS OF RAPESEED PLANTS
O.A. Dubrovina, T.V. Zubkova, D.V. Vinogradov, V.A. Kravchenko, V.L. Zakharov 164

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *OLEA EUROPAEA* L. UNDER FREEZING TEMPERATURES
S.Yu. Tsiupka, V.A. Tsiupka, I.V. Bulavin 182

PRODUCTIVITY ASSESSMENT AND LONG-TERM STORAGE ABILITY OF CHINESE CABBAGE CR-HYBRIDS
A.D. Zastavnyuk, G.F. Monakhos, S.G. Monakhos 205

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

THE IMPACT OF ORGANIC RESIDUES ON LEAD ADSORPTION IN TWO TYPES OF CALCAREOUS SOILS
A.J. Mohammed, S.J. Fakher 229

HORTICULTURE AND FORESTRY

CURRENT STATE OF PLANTATIONS
OF STATE PROTECTIVE FOREST STRIPS AND PROBLEMS
OF PROTECTIVE AFFORESTATION IN THE SOUTH
OF WESTERN SIBERIA
A.S. Manaenkov, P.M. Podgaetskaya, V.N. Petrov 246

JUSTIFICATION OF THE COSTS OF FOREST RECLAMATION
OF LANDS SUBJECT TO DESERTIFICATION
E.A. Korneeva 267

ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SIBERIAN
SILKMOTH OUTBREAK AREA BASED ON TERRAIN FEATURES
IN THE SIBERIAN MOUNTAIN SOUTHERN TAIGA FORESTS
S.M. Sultson, A.A. Goroshko, D.A. Demidko,
P.V. Mikhaylov, O.A. Slinkina, N.N. Kulakova 282

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

EATING BEHAVIOR OF TEACHERS AS A REFLECTION
OF THEIR LEVEL OF COMPETENCE IN MATTERS
OF A HEALTHY LIFESTYLE
N.I. Kadochnikova, N.L. Dyomina 308

HLA TYPING RESULTS AND THEIR SIGNIFICANCE
FOR POPULATION OF CHILDREN WITH TYPE 1
DIABETES MELLITUS IN KHANTY-MANSI AUTONOMOUS
OKRUG-YUGRA REGION
N.A. Yusupova, O.S. Sutormin, M.Yu. Donnikov, L.V. Kovalenko,
A.V. Morozkina, A.Kh. Gapurova, M.L. Safronova 329

STRATEGIES FOR MAINTAINING THE HEALTH OF STUDENTS
WITH DIFFERENT BODY MASS INDEX
I.E. Ustinov, Y.A. Arkhipova, A.V. Fedorova, O.A. Firsova 346

AGE DYNAMICS OF SOMATOMETRIC INDICATORS
IN COMPOSITION WITH THE REGARDS TO THE MORTALITY
FROM CIRCULATORY SYSTEM DISEASES IN THE POPULATION
OF NORTHERNERS
O.O. Alyoshina, I.V. Averyanova 368

THE PROBLEM OF FACTORS
OF MENTAL DEVELOPMENT AND HEALTH
OF CHILDREN BORN WITH THE USE OF ASSISTED
REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES
T.G. Bokhan, A.V. Silaeva, O.V. Terekhina,
S.B. Leshchinskaia, M.V. Shabalovskaya 389

ETIOPATHOGENESIS OF POST-COVID
SYNDROME
S.G. Bezrukov, K.O. Tarimow, V.Z. Kharchenko,
A.A. Ibragimov, A.Z. Seityagyaev 415

MEDICAL AND PSYCHOLOGICAL
REHABILITATION OF MILITARY SERVICEMEN
(EMPLOYEES): MODERN ORGANIZATIONAL TRENDS
AND REGULATORY ASPECTS
D.V. Smirnov, P.Yu. Naumov,
A.I. Zemlin 437

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

ENERGY ENTROPY ANALYSIS
OF LIGHT CHESTNUT SOILS
G.A. Rulev, A.S. Rulev, O.V. Ruleva 461

ANALYSIS OF WORLD POTATO PRODUCTION
ACCORDING TO STATISTICS OF THE FOOD AND AGRICULTURE
ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS
I.A. Aksenov, G.A. Trunin, M.S. Fabrikov, M.S. Lisyatnikov,
E.S. Prusov, S.I. Roshchina, M.A. Dubrovin 475

STRAWBERRY FRESHNESS ASSESSMENT
BY HYPERSPECTRAL IMAGING
G.V. Nesterov, A.V. Guryleva, M.O. Sharikova,
S.A. Sukhanova, A.S. Machikhin 500

USE OF WHOLE GRIND WHEAT-TRITICAL
FLOUR FOR PRODUCTION BAKERY PRODUCTS
R.H. Kandrokov, S.A. Katin, A.O. Sivtsev, D.N. Veremyev,
E.V. Pestova 518

EXPERIENCE OF REGIONS

IXODES TICKS AND CASES OF BRUCELLOSIS IN TAVUSH PROVINCE OF ARMENIA: SUSTAINABLE AGRICULTURE
V.V. Grigoryan, H.S. Tspnetsyan, L.H. Grigoryan, V.V. Abrahamyan, G.M. Petrosyan, S.V. Yeribekyan, A.Z. Pepoyan 544

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

POTENTIAL USE OF DIFFERENT FORMS OF YEAST SUCH AS *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN AGRICULTURAL ANIMAL DIETS (REVIEW)
K.S. Lazebnik, D.B. Kosyan, G.K. Duskaev, V.A. Ryazanov 564

RULES FOR AUTHORS 593

Подписано в печать 28.02.2025. Дата выхода в свет 28.02.2025. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 43,32. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA171/025. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская» (ИП Давгуненко А.А. ИНН 344210747590). Адрес типографии: ул. Проезд Добролюбова 3 стр. 2, г. Москва, 127254, Россия.