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

Siberian journal of Life Sciences and Agriculture

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 17, Number 6-1
2025

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 17, Number 6-1
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)

12+

Красноярск 2025

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 17, № 6-1, 2025 / Vol. 17, No 6-1, 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
Регистрационный номер:
серия ЭЛ № ФС 77-89425 от 20.05.2025 г.

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

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

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:
Россия, 660127, Красноярский край, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192
E-mail: editor@discover-journal.ru
https://discover-journal.ru/

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:
Science and Innovation Center Publishing House

Founded 2008
Mass media registration certificate EL № FS 77-89425, issued May 20, 2025.

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

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

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

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена
© Научно-инновационный центр, 2025

Члены редакционной коллегии

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

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

Анисимов Андрей Павлович, доктор медицинских наук, профессор, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии Роспотребнадзора (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: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352 **EDN: CUBZQM**
УДК 612.11

Научная статья

СОХРАННОСТЬ ФОРМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ ПОД ЗАЩИТОЙ КОМБИНИРОВАННОГО КРИОКОНСЕРВАНТА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАМОРОЗКЕ

А.А. Власов, С.Ф. Андрусенко, Е.В. Денисова, А.Б. Эльканова, Д.А. Богословский, И.В. Сивун

Аннотация

Обоснование. Криоконсервация нашла широко применение для различных целей, однако недостатки существующих криопротекторных агентов приводят к потере функциональности клеток, что может негативно сказаться на дальнейшем использовании сохраненного материала. Разработка эффективных криоконсервантов является актуальной задачей, требующей поиска низкотоксичных биосовместимых криоагентов.

Материалы и методы. Исследование проведено на 30 добровольцах донорах в возрасте 18-23 лет, из числа которых были сформированы две группы. Объект исследования венозная кровь. Состав разработанного комбинированного криоконсерванта: глицерин, диметилсульфоксид, лактулоза, натрия аденозинтрифосфат, изотонический раствор хлорида натрия. Проводили общий анализ крови и компьютерное цитоморфометрическое исследование. Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью пакета прикладных программ IBM SPSS Statistic 23.0.

Цель. Оценка сохранности форменных элементов клеток крови под защитой разработанного комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (–80 °С).

Результаты. В ходе исследования в условиях сохранения образцов крови с применением комбинированного криоконсерванта после суточного замораживания при температуре –80°С процент сохранности форменных элементов клеток крови лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов составил 52,5±2,51%, 78,07±2,24%, 52,9±2,13% соответственно в сравнении с контрольными образцами ($p < 0,05$).

Заключение. Выявлена морфологическая и функциональная сохранность форменных элементов крови с использованием комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (–80°С) в течении одних суток. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать повышению эффективности и безопасности криоконсервации, открывая новые возможности для медицины и биологии.

Ключевые слова: комбинированный криоконсервант; лактулоза; форменные элементы крови; эритроциты; лейкоциты; тромбоциты; низкотемпературная заморозка

Для цитирования. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Денисова, Е. В., Эльканова, А. Б., Богословский, Д. А., & Сивун, И. В. (2025). Сохранность форменных элементов крови под защитой комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 11-31. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352

Original article

PRESERVATION OF BLOOD FORM ELEMENTS UNDER THE PROTECTION OF COMBINED CRYOPRESERVATIVE DURING LOW-TEMPERATURE FREEZING

A.A. Vlasov, S.F. Andrusenko, E.V. Denisova, A.B. Elkanova, D.A. Bogoslovsky, I.V. Sivun

Abstract

Background. Cryopreservation has found wide application for various purposes but the disadvantages of existing cryoprotective agents lead to the loss of cell functionality, which can negatively affect the further use of preserved material. The development of effective cryopreservatives is an urgent task requiring the search for low-toxic biocompatible cryoagents.

Materials and methods. The study was carried out on 30 donor volunteers aged 18-23 years who were divided into 2 groups. The object of the study is venous blood. The combined cryopreservative consisted of: glycerin, dimethyl sulfoxide, lactulose, sodium adenosine triphosphate, isotonic sodium chloride solution. A general blood test and a computer cytomorphometric study was performed. Statistical processing of the data was carried out using the application program package IBM SPSS Statistic 23.0.

Purpose. The aim is to evaluate the preservation of blood cells form elements under the protection of the developed combined cryopreservative at low-temperature freezing (–80 °C).

Results. In the course of the study under the conditions of blood samples preservation with the use of combined cryopreservative after daily freezing at –80°C the percentage of preservation of blood formations of leukocytes, erythrocytes, platelets was 52,5±2,51%, 78,07±2,24%, 52,9±2,13% respectively in comparison with control samples ($p<0,05$).

Conclusion. Morphologic and functional preservation of blood formed elements using combined cryopreservative at low-temperature freezing (–80°C) for one day was revealed. Further research in this field will contribute to the efficiency and safety of whole blood cryopreservation, opening new opportunities for medicine and biology.

Keywords: combined cryopreservative; lactulose; blood formations; erythrocytes; leukocytes; platelets; low-temperature freezing

For citation. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Denisova, E. V., Elkanova, A. B., Bogoslovsky, D. A., & Sivun, I. V. (2025). Preservation of blood form elements under the protection of combined cryopreservative during low-temperature freezing. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 11-31. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1352

Введение

Криоконсервация является жизненно важной технологией в биологии и медицине, позволяющей сохранять биологические материалы, такие как клетки, ткани и органы, на длительный срок. Потеря функции в криоконсервированных клетках происходит после повреждений из-за осмотического шока, обезвоживания, механических повреждений в результате перекристаллизации льда во время замораживания и оттаивания. Криоповреждения клеток можно уменьшить с помощью двух стратегий: использования криопротекторов и контролируемого охлаждения [20]. Однако в криоконсервации есть недостатки, связанные в основном или с

низкой эффективностью криоконсервантов [16] или токсичностью некоторых компонентов [6; 14; 26]. Криоконсервация в жидком азоте требует специализированного оборудования и обученного персонала, что делает ее более сложной и дорогостоящей, чем хранение крови при более высоких температурах. В связи с этим ведется поиск эффективных и безопасных криоагентов. Ключевыми направлениями в данной области являются работы, направленные на включение в состав криопротекторов природных компонентов с антифризными свойствами для уменьшения токсического действия существующих криоагентов [21; 25].

В качестве альтернативных нетоксичных веществ для включения в состав криопротекторов используют углеводы и сахарные спирты [8; 19; 30]. Хороший стабилизирующий эффект в составе криоконсервантов обеспечивают дисахариды сахароза и трегалоза [23; 27; 29], выполняющие функции ингибитора роста кристаллов льда в ходе замораживания и перекристаллизации льда в процессе оттаивания [18], что повышает устойчивость к криобиозу [24]. В тоже время в литературе недостаточно экспериментальных данных о криопротекторных свойствах ряда углеводов, в частности дисахарида лактулозы. В ходе исследований лактулозы были получены данные, свидетельствующие о ее безопасности [13] и отмечены защитные свойства на микроорганизмы при их заморозке [22].

Образцы цельной крови предпочтительны для анализа, но к недостаткам работы со свежими образцами крови относятся необходимость немедленной обработки после забора крови и ограниченное количество повторных анализов, которые можно провести без дополнительного забора крови, особенно при крупномасштабных исследованиях с участием большого количества пациентов [17]. Криоконсервация цельной крови менее распространена, чем криоконсервация отдельных компонентов крови, однако она востребована для выделения РНК [28], экстракции геномной ДНК для последующего генотипирования [10], при проведении генетических исследований [9]. Описан метод полевой криоконсервации цельной крови из пальца [15].

Криоконсервация цельной крови представляет собой сложную задачу из-за наличия различных типов клеток (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), имеющих свои особенности и чувствительность к замораживанию. В связи с этим, актуален анализ морфофункциональных параметров криоконсервированной цельной крови в аспекте поиска не токсичных, эффективных и доступных криоагентов для длительного хранения биообъектов в широком диапазоне отрицательных температур. Ранее были представлены результаты

оценки морфофункциональных особенностей форменных элементов крови в комбинированном криоконсерванте с лактулозой после суточного хранения замороженной крови при температурах –20 °С и –40 °С [1; 4; 5].

Цель исследования – оценка сохранности форменных элементов клеток крови под защитой разработанного комбинированного криоконсерванта при низкотемпературной заморозке (–80 °С).

Материалы и методы исследования

Исследование проведено с участием 30 здоровых женщин-доноров в возрасте 18–23 лет. Контингент отобран на основании приоритетной группы населения, связанной с высокой частотой потери крови, особенно при родах. Исследование проводилось с разрешения этического комитета Северо-Кавказского федерального университета (протокол № 002 от 11 июля 2024 г.), все участники подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями включения в исследование было отсутствие у доноров хронических заболеваний в периоде обострения, вредных привычек, видимых признаков аллергического или инфекционного заболевания. Пробы венозной крови объемом 15 мл отбирали однократно в утренние часы из локтевой вены в вакуумные пробирки с 3-замещенной калиевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты ($К_3$ ЭДТА), каждый вакутейнер содержал 5 мл крови и 8 мг $К_3$ ЭДТА. Из числа проб были рандомно сформированы контрольная и опытная группы по 15 образцов.

В образцах контрольной группы исследовали характеристики и параметры форменных элементов крови при температуре +20±1,0°С. В образцы опытной группы вносили комбинированный криоконсервант при соотношении кровь/криоконсервант 2:1 по объему и выдерживали при комнатной температуре в течение 30 минут для обеспечения проникновения консерванта в клетки. Контейнер с образцом погружали в заполненную хладоносителем (96%-ный этиловый спирт) емкость, выдерживали в нем 30 мин и перемещали для замораживания и хранения в камеру электроморозильника с температурой –80±1,0°С на одни сутки. Размораживание образцов проводили на водяной бане UT-4334 («ULAB»; Россия) при температуре +37±1°С в течение 5 мин и исследовали характеристик и параметры форменных элементов крови.

Состав разработанного комбинированного криоконсерванта имел следующие соотношения компонентов: глицерин (чда) – 20%, ДМСО (хч) – 10%, лактулоза (торговая марка «Лактусан» по ТУ 9229-004-53757476–04)

– 10%, натрия аденозинтрифосфат – 30% и изотонический (0,9%) раствор хлорида натрия до 100 %. Предварительно были проведены исследования по оптимизации концентраций используемых компонентов.

Компьютерное цитоморфометрическое исследование выполняли на аппаратно-программном комплексе «МЕКОС-Ц2» («Медицинские компьютерные системы»; Россия). При проведении общего анализа крови (ОАК) в лабораторных условиях использовали автоматический гематологический анализатор «Гемалайт 1270» (Dixion; Россия).

Для обработки полученных результатов использовали программное обеспечение статистический пакет версии IBM SPSS Statistic 23.0 (IBM Corp., Armonk, NY; USA). Уровень статистической значимости межгрупповых различий при соответствии распределения значений показателя закону нормального распределения оценивали с помощью параметрического t-критерия Стьюдента для несвязанных выборок, для показателей с ненормальным распределением – при помощи непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Для показателей с нормальным распределением вычисляли среднее значение (M), ошибку среднего (m) и стандартное отклонение (δ). Межгрупповые различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

Проводили анализ состояния лейкоцитарного звена в опытной и контрольной группах (табл. 1).

Таблица 1.

Лейкоцитарные показатели ОАК в группах исследований

Показатели ОАК	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Лейкоциты, $\times 10^9$/л	5,78±0,12	3,92±0,35*
Лимфоциты, %	3,63±0,29	2,17±0,36*
Гранулоциты, %	3,25±0,78	2,85±0,39
Процент средних клеток, %	100	52,5±2,51*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

При анализе лейкоцитарных показателей в опытной группе по сравнению с контролем, отмечено статистически значимое снижение количества лейкоцитов, 5,78±0,12 $\times 10^9$/л ($p<0,01$) против 3,92±0,35$\times 10^9$/л. Несмотря

на межгрупповые различия данный показатель находился в диапазоне физиологических референсных значений. Процент сохранности лейкоцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии отрицательных температур (–80±1,0°С) составил 52,5±2,51%.

Компьютерная морфометрия позволяет получить математические характеристики клеточной популяции, а также дает возможность судить об активности внутриклеточных процессов. Для оценки функционального состояния клеток проводили анализ компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов в контрольной группе и опытной группах (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели различий компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов в группах исследований

Свойства объекта	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Площадь клетки, мкм^2	58,92±0,57	56,52±2,42*
Формфактор клетки	18,1±0,36	17,22±0,75*
Индекс поляризации клетки	0,33±0,04	0,14±0,03*
Площадь ядра, мкм^2	40,45±0,89	32,06±1,17*
Ядерно-клеточное отношение	0,96±0,02	0,46±0,02*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

Анализ данных компьютерной цитоморфометрии лейкоцитов показал, что в группе с консервантом замороженных при –80±1,0°С данные имеют тенденцию к снижению по всем показателям, однако полученные значения укладываются в пределы допустимых изменений форменных элементов.

Проводили анализ эритроцитарных показателей в контрольной группе и опытной группах (табл. 3).

Таблица 3.

Эритроцитарные показатели ОАК в группах исследований

Эритроцитарные показатели крови	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Эритроциты, ×10^{12}/л	4,63±0,35	2,60±0,44*
Гемоглобин, г/л	125,40±16,27	111,27±14,95
Гематокрит, %	38,58±2,48	33,15±1,12*
Средний объем эритроцита, фл	81,67±4,87	78,35±3,64

Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах, пг	28,69±1,78	22,39±0,81*
Насыщение эритроцита гемоглобином, г/л	350,78±21,33	221,47±10,74*
Степень отклонения размера эритроцитов, %	15,09 ±1,37	12,11±1,78*
Сохранность, %	100	78,07 ±2,24*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

При выполнении общего анализа крови были получены значения, свидетельствующие о изменении количественных и расчетных показателей, а именно, был достоверно снижен уровень общего гемоглобина крови как в опытной группе 111,27±14,95 г/л по отношению к группе контроля соответственно 125,40±16,27 г/л. Также отмечали снижение среднего содержания гемоглобина в эритроцитах в опытной группе в сравнении с контрольной. Данные показатели имеют тенденцию к снижению, однако консервант в условиях комнатной температуры не приводит к критически значимым изменениям компонентов крови. Снижение содержание гемоглобина в эритроцитах объясняется тем, что компоненты криоконсерванта обеспечивающие сохранность клеток, в частности эритроцитов, проникают внутрь клеток, что и приводит к снижению внутриклеточного гемоглобина, по тому же механизму изменения соотношения внутриклеточных компонентов. Процент сохранности эритроцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии отрицательных температур (–80±1,0°С) – 78,07 ±2,24%.

Таблица 4.

Показатели различий компьютерной цитоморфометрии эритроцитов в группах исследований

Свойства объекта	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Площадь клетки, мкм^2	52,06±2,97	36,09±3,44*
Средний диаметр, мкм	7,75±0,32	6,20±0,39*
Фактор формы	13,50±0,27	11,24±0,65*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

В ходе проведения компьютерной цитоморфометрии эритроцитов в опытной группе по сравнению с контрольной уменьшалась площадь клетки 36,09±3,44 мкм^2 против 52,06±2,97 мкм^2 в контроле. Значение среднего диаметра клетки так же имело тенденцию к уменьшению и составило 6,20±0,39 мкм в сравнении с группой контроля 7,75±0,32 мкм (табл. 4).

При сравнительном анализе тромбоцитарных показателей достоверно снижалось количество тромбоцитов, так в опытной группе значение составило 163,80±13,71, против контрольных значений 241,10±36,38×10^9/л. Снижение количества клеток вероятнее всего обусловлено изменением объема исследуемой пробы на фоне внесения криоконсерванта (табл. 5).

Таблица 5.

Тромбоцитарные показатели ОАК в группах исследований

Показатели ОАК	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Тромбоциты, ×10^9/л	241,10±36,38	163,80±13,71*
Средний объем тромбоцитов, фл	9,54±0,04	7,44±0,41*
Ширина распределения по объему, %	12,78±2,06	10,43±1,87*
Тромбокрит, %	0,18±0,02	0,15±0,02*
Коэффициент больших тромбоцитов, %	28,36±6,78	24,07±3,17
Сохранность, %	100	52,9±2,13*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

Процент сохранности тромбоцитов в образцах крови с внесенным криоконсервантом при воздействии температуры –80 °С составил 52,9±2,13%.

Все исследуемые показатели находились в диапазоне допустимых физиологических значений, следовательно, наблюдали реакцию адаптации тромбоцитов на воздействие чужеродного компонента, в частности криоконсерванта.

В ходе проведения компьютерной цитоморфометрии тромбоцитов в опытной группе отмечали изменение площади клеток 6,05±0,12 мкм^2 по сравнению с контролем 7,25±0,31 мкм^2. Несмотря на различия данный показатель отражает картину активности площади тромбоцитов с последующей адаптацией после заморозки. Отмеченные изменения находились в диапазоне физиологических референсных значений (табл. 6).

Таблица 6.

Показатели компьютерной цитоморфометрии тромбоцитов в группах исследований

Свойства объекта	Контрольная группа, +20 °С (n=15)	Опытная группа, –80 °С (n=15)
Площадь, мкм^2	7,25±0,31	6,05±0,12*
Средний диаметр, мкм	2,95±0,57	2,36±0,26*
Фактор формы	12,18±0,23	10,43±0,68*

Примечание: данные представлены в виде среднего значения и стандартной ошибки среднего значения (M±m);

*– статистически достоверное различие между контрольной и опытными группами ($p<0,01$)

Обсуждение

Традиционно, криоконсервация предполагает использование сверхнизких температур (–196°С, жидкий азот) для достижения максимальной сохранности клеток. Однако, в последние годы растет интерес к изучению возможности использования низких температур (например, –80°С) для криоконсервации, что может снизить затраты на хранение. Использование одного криоагента часто не обеспечивает достаточной защиты клеток при замораживании. Поэтому большее внимание уделяется разработке комбинированных криоконсервантов, сочетающих в себе несколько веществ с различными механизмами действия. Это позволяет достичь синергетического эффекта, обеспечивая более эффективную защиту клеток.

В работах Кирьяновой Г.Ю. и соавт. в качестве криоконсерванта раствора «Криосин» процент сохранности эритроцитов при температуре –80°С составил – 31,1±3,09% [7]. В работах Ветошкина К.А. и соавт. при замораживании тромбоцитов под защитой криоконсерванта при температуре –80 °С их функциональная активность сохранялась в пределах 63,5–88,8 % [2]. В работах Худякова А.Н. и соавторов через 1 сутки холодового анабиоза при –80°С с применением криопротекторных растворов после отогрева наблюдалась сохранность лейкоцитов 78,1±5,9% и 57,3±5,9% (от исходного уровня) [11]. В работах Широких И.Г. и соавт. при исследовании действия полисахаридных фракций на криоконсервированую венозную кровь человека было установлено снижение осмолярности крови человека от 281 до 149 мОсм/л, это обусловлено тем, что функциональные группы полисахаридов взаимодействовали с осмотически активными веществами плазмы крови и приводило к снижению осмолярности среды и ускорению кристаллизации воды [12].

В ходе исследования в условиях сохранения образцов крови с применением разработанного криоконсерванта после суточного замораживания при температуре –80°С установлено, что процент сохранности форменных элементов клеток крови лейкоцитов, эритроцитов, тромбоцитов составил 52,5±2,51%, 78,07±2,24%, 52,9±2,13% соответственно в сравнении с образцами контроля. Таким образом, разработанный криоконсервант позволил более чем в половину от изначального значения сохранить количественный состав клеток крови. Результаты исследования нашли свое отражение в патенте на изобретение [3].

Заключение

Необходимость исследования криоконсервантов для цельной крови проявляется как в России, так и в мире, поскольку существует постоянная потребность в безопасных и эффективных методах хранения крови для экстренных случаев и плановых операций. В условиях растущего спроса на донорскую кровь, разработка новых криоконсервантов может существенно повысить уровень медицинской помощи. Криоконсервация форменных элементов крови при низких температурах (–80°С) может упростить и удешевить процесс хранения компонентов крови. Данное исследование позволило оценить перспективы применения лактулозы в качестве компонента для криоконсервантов. Дальнейшие исследования в этой области будут способствовать повышению эффективности и безопасности криоконсервации цельной крови, открывая новые возможности для медицины и биологии.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Андрусенко, С. Ф., Власов, А. А., Рыбчинская, Э. Е., & Сорокина, У. Е. (2024). Криопротектор для цельной крови. *Патент Российской Федерации* № 2816446. EDN: https://elibrary.ru/PIKVMJ
2. Ветошкин, К. А., Утемов, С. В., Шерстнев, Ф. С., Князев, М. Г., & Костяев, А. А. (2015). Результаты криоконсервирования донорских тромбоцитных концентратов при низких и ультранизких температурах. *Трансфузиология*, *16*(2), 22–28. EDN: https://elibrary.ru/VVHTIX

3. Власов, А. А., & Андрусенко, С. Ф. (2025). Криопротектор для цельной крови при низкотемпературной заморозке. *Патент Российской Федерации* № 2837538. EDN: https://elibrary.ru/OSKJAS
4. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Анфиногенова, О. И., Эльканова, А. Б., Каданова, А. А., Сорокина, У. Е., и др. (2024). Использование лактулозы в составе криоконсерванта для сохранения клеток крови. *Медицина экстремальных ситуаций*, *26*(4), 141–148. https://doi.org/10.47183/mes.2024-26-4-141-148. EDN: https://elibrary.ru/IAWWVD
5. Власов, А. А., Андрусенко, С. Ф., Денисова, Е. В., Эльканова, А. Б., Каданова, А. А., Мельченко, Е. А., и др. (2024). Морфофункциональное состояние криоконсервированных форменных элементов крови при умеренно низких температурах. *Вестник РГМУ*, (5), 73–79. https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.038. EDN: https://elibrary.ru/XCWDAK
6. Заикина, Е. В., Гончарова, А. С., Позднякова, В. В., Пандова, О. В., Пржедецкий, Ю. В., Воловик, В. Г., и др. (2022). Обзор современных методов криоконсервации различных видов биологического материала. *Современные проблемы науки и образования*, (4). https://science-education.ru/ru/article/view?id=31790 (дата обращения: 03.05.2025). https://doi.org/10.17513/spno.31790. EDN: https://elibrary.ru/RKRSTU
7. Кирьянова, Г. Ю., Волкова, С. Д., Касьянов, А. Д., Гришина, Г. В., Голованова, И. С., & Чечеткин, А. В. (2017). Криоконсервирование эритроцитов при температурах −40ºС и −80ºС. *Вестник Международной академии холода*, (1), 72–78. https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-72-78. EDN: https://elibrary.ru/YKOPCT
8. Кит, О. И., Гненная, Н. В., Филиппова, С. Ю., Чембарова, Т. В., Лысенко, И. Б., Новикова, И. А., и др. (2023). Криоконсервация гемопоэтических стволовых клеток периферической крови в трансплантологии: современное состояние и перспективы. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, *22*(11), 124–133. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3691. EDN: https://elibrary.ru/YTCTTM
9. Скирко, О. П., Мешков, А. Н., Ефимова, И. А., Куценко, В. А., Киселева, А. В., Покровская, М. С., и др. (2020). Срок хранения образцов цельной крови в биобанке и выход выделенной из неё дезоксирибонуклеиновой кислоты при проведении генетических исследований. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, *19*(6), 2726. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2726. EDN: https://elibrary.ru/QHUGAO
10. Файзуллина, Р. М., Гафурова, Р. Р., Маркелов, В. А., Викторов, В. В., & Данилко, К. В. (2022). Опыт использования и оценка эффективности коммер-

ческого набора для экстракции геномной ДНК из цельной размороженной крови. *Медицинский вестник Башкортостана*, *17*(5), 28–34. EDN: https://elibrary.ru/NFNATC

11. Худяков, А. Н. (2010). Возможность сохранения функций лейкоцитов крови при температуре −80ºС под защитой различных криозащитных сред. *Молодой учёный*, (8), *2*, 206–209. https://moluch.ru/archive/19/1868. EDN: https://elibrary.ru/MUAXGX
12. Широких, И. Г., Полежаева, Т. В., Широких, А. А., Худяков, А. Н., Сергушкина, М. И., Назарова, Я. И., и др. (2020). Криозащитные свойства полисахаридсодержащей фракции *Hericium erinaceus* БП 16. *Известия РАН. Серия биологическая*, (1), 5–11. https://doi.org/10.31857/s0002332920010129. EDN: https://elibrary.ru/BKZXES
13. Ait-Aissa, A., & Aider, M. (2014). Lactulose: Production and use in functional food, medical and pharmaceutical applications. Practical and critical review. *International Journal of Food Science and Technology*, *49*(5), 1245–1253. https://doi.org/10.1111/ijfs.12465
14. Awan, M., Buriak, I., Fleck, R., Fuller, B., Goltsev, A., Kerby, J., et al. (2020). Dimethyl sulfoxide: A central player since the dawn of cryobiology, is efficacy balanced by toxicity? *Regenerative Medicine*, *15*(3), 1463–1491. https://doi.org/10.2217/rme-2019-0145. EDN: https://elibrary.ru/UGCADO
15. Blackwell, A. D., Garcia, A. R., Keivanfar, R. L., & Bay, S. (2021). A field method for cryopreservation of whole blood from a finger prick for later analysis with flow cytometry. *American Journal of Physical Anthropology*, *174*(4), 670–685. https://doi.org/10.1002/ajpa.24251. EDN: https://elibrary.ru/GXRSYE
16. Bojic, S., Murray, A., Bentley, B. L., Spindler, R., Pawlik, P., Cordeiro, J. L., et al. (2021). Winter is coming: The future of cryopreservation. *BMC Biology*, *19*, 56. https://doi.org/10.1186/s12915-021-00976-8. EDN: https://elibrary.ru/SWFGPB
17. Dayal, R., Beyls, E., Vral, A., & Baeyens, A. (2024). The micronucleus assay on cryopreserved whole blood. *Journal of Visualized Experiments*, (204). https://doi.org/10.3791/65855. EDN: https://elibrary.ru/XGJTIM
18. Yuying, H., Xiangjian, L., Fenglin, L., Jingxian, X., Qubo, Z., & Songwen, T. (2023). Trehalose in biomedical cryopreservation — properties, mechanisms, delivery methods, applications, benefits, and problems. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *9*(3), 1190–1204. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01225. EDN: https://elibrary.ru/AXEHNA
19. Guerreiro, B. M., Dionísio, M. M., Lima, J. C., Silva, J. C., & Freitas, F. (2024). Cryoprotective polysaccharides with ordered gel structures induce ice growth

anticipation and survival enhancement during cell cryopreservation. *Biomacromolecules*, *25*(6), 3384–3397. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.4c00040. EDN: https://elibrary.ru/AZLCIT

20. Jahan, S., Kaushal, R., Pasha, R., & Pineault, N. (2021). Current and future perspectives for the cryopreservation of cord blood stem cells. *Transfusion Medicine Reviews*, *35*(2), 95–102. https://doi.org/10.1016/j.tmrv.2021.01.003. EDN: https://elibrary.ru/FTVUSW
21. Janis, B. R., Priddy, M. C., Otto, M. R., Kopechek, J. A., & Menze, M. A. (2021). Sonoporation enables high-throughput loading of trehalose into red blood cells. *Cryobiology*, *98*, 73–79. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.12.005. EDN: https://elibrary.ru/OWXAFO
22. Killer, J., Bunešová, V. N., Modráčková, N., Vlková, E., Pechar, R., & Šplíchal, I. (2023). Lactulose in combination with soybean lecithin has a cryoprotective effect on probiotic taxa of bifidobacteria and Lactobacillaceae. *Letters in Applied Microbiology*, *76*(2), ovad008. https://doi.org/10.1093/lambio/ovad008. EDN: https://elibrary.ru/OTVQSB
23. Li, J., Wang, H., Wang, L., Yu, D., & Zhang, X. (2024). Stabilization effects of saccharides in protein formulations: A review of sucrose, trehalose, cyclodextrins and dextrans. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *192*. https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106625. EDN: https://elibrary.ru/SSJICX
24. Wang, Y., Gao, S., Zhu, K., Ren, L., & Yuan, X. (2023). Integration of trehalose lipids with dissociative trehalose enables cryopreservation of human RBCs. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *9*(1), 498–507. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01154. EDN: https://elibrary.ru/YKELHI
25. Whaley, D., Damyar, K., Witek, R. P., Mendoza, A., Alexander, M., & Lakey, J. R. (2021). Cryopreservation: An overview of principles and cell-specific considerations. *Cell Transplantation*, *30*. https://doi.org/10.1177/0963689721999617. EDN: https://elibrary.ru/YKOESK
26. Xiangjian, L., Yuxin, P., Fenglin, L., Yongju, H., Qubo, Z., Zhaolin, L., et al. (2021). A review of the material characteristics, antifreeze mechanisms, and applications of cryoprotectants (CPAs). *Journal of Nanomaterials*, *2*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2021/9990709. EDN: https://elibrary.ru/KBKQFX
27. Xu, B., Wang, Z., Wang, R., Song, G., Zhang, Y., Su, R., et al. (2022). Metabolomics analysis of buck semen cryopreserved with trehalose. *Frontiers in Genetics*, *13*. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.938622. EDN: https://elibrary.ru/TLXLFU
28. Yamagata, H., Kobayashi, A., Tsunedomi, R., Seki, T., Kobayashi, M., Hagiwara, K., et al. (2021). Optimized protocol for the extraction of RNA and DNA

from frozen whole blood sample stored in a single EDTA tube. *Scientific Reports*, *11*. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96567-2. EDN: https://elibrary.ru/VYIOUR

29. Yao, J., Shen, L., Chen, Z., Zhang, B., & Zhao, G. (2022). Hydrogel microencapsulation enhances cryopreservation of red blood cells with trehalose. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *8*(5), 2066–2075. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00051. EDN: https://elibrary.ru/ENJISC
30. Zhong, Y., McGrath, J. K., & Gong, B. (2021). Dipropinonates of sugar alcohols as water-soluble, nontoxic CPAs for DMSO-free cell cryopreservation. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *7*(10), 4757–4762. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00995. EDN: https://elibrary.ru/DKIIJK

References

1. Andrusenko, S. F., Vlasov, A. A., Rybinskaya, E. E., & Sorokina, U. E. (2024). Cryoprotectant for whole blood. *Russian Federation Patent № 2816446*. EDN: https://elibrary.ru/PIKVMJ
2. Vetoshkin, K. A., Utemov, S. V., Sherstnev, F. S., Knyazev, M. G., & Kostyaev, A. A. (2015). Results of cryopreservation of donor platelet concentrates at low and ultra-low temperatures. *Transfusiology*, *16*(2), 22–28. EDN: https://elibrary.ru/VVHTIX
3. Vlasov, A. A., & Andrusenko, S. F. (2025). Cryoprotectant for whole blood during low-temperature freezing. *Russian Federation Patent № 2837538*. EDN: https://elibrary.ru/OSKJAS
4. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Anfinogenova, O. I., Elkanova, A. B., Kadanova, A. A., Sorokina, U. E., et al. (2024). Use of lactulose in the composition of a cryopreservative for preserving blood cells. *Medicine of Extreme Situations*, *26*(4), 141–148. https://doi.org/10.47183/mes.2024-26-4-141-148. EDN: https://elibrary.ru/IAWWVD
5. Vlasov, A. A., Andrusenko, S. F., Denisova, E. V., Elkanova, A. B., Kadanova, A. A., Melchenko, E. A., et al. (2024). Morphofunctional state of cryopreserved formed blood elements at moderately low temperatures. *Bulletin of RSMU*, *(5)*, 73–79. https://doi.org/10.24075/vrgmu.2024.038. EDN: https://elibrary.ru/XCWDAK
6. Zaikina, E. V., Goncharova, A. S., Pozdnyakova, V. V., Pandova, O. V., Przhedetsky, Yu. V., Volovik, V. G., et al. (2022). Review of modern methods of cryopreservation of various types of biological material. *Modern Problems of Science and Education*, *(4)*. https://science-education.ru/ru/article/view?id=31790 (accessed: 03.05.2025). https://doi.org/10.17513/spno.31790. EDN: https://elibrary.ru/RKRSTU

7. Kiryanova, G. Yu., Volkova, S. D., Kasyanov, A. D., Grishina, G. V., Golovanova, I. S., & Chechetkin, A. V. (2017). Cryopreservation of erythrocytes at temperatures −40ºC and −80ºC. *Bulletin of the International Academy of Cold*, *(1)*, 72–78. https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-1-72-78. EDN: https://elibrary.ru/YKOPCT
8. Kit, O. I., Gnennaya, N. V., Filippova, S. Yu., Chembarova, T. V., Lysenko, I. B., Novikova, I. A., et al. (2023). Cryopreservation of hematopoietic stem cells from peripheral blood in transplantology: current state and prospects. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *22*(11), 124–133. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3691. EDN: https://elibrary.ru/YTCTTM
9. Skirko, O. P., Meshkov, A. N., Efimova, I. A., Kutsenko, V. A., Kiseleva, A. V., Pokrovskaya, M. S., et al. (2020). Storage period of whole blood samples in a biobank and the yield of deoxyribonucleic acid isolated from it during genetic studies. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, *19*(6), 2726. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2726. EDN: https://elibrary.ru/QHUGAO
10. Fayzullina, R. M., Gafurova, R. R., Markelov, V. A., Viktorov, V. V., & Danilko, K. V. (2022). Experience of using and evaluation of the effectiveness of a commercial kit for genomic DNA extraction from whole thawed blood. *Medical Bulletin of Bashkortostan*, *17*(5), 28–34. EDN: https://elibrary.ru/NFNATC
11. Khudyakov, A. N. (2010). Possibility of preserving blood leukocyte functions at −80ºC under protection of various cryoprotective media. *Young Scientist*, *(8)*, 2, 206–209. https://moluch.ru/archive/19/1868. EDN: https://elibrary.ru/MUAXGX
12. Shirokikh, I. G., Polezhaeva, T. V., Shirokikh, A. A., Khudyakov, A. N., Sergushkina, M. I., Nazarova, Ya. I., et al. (2020). Cryoprotective properties of the polysaccharide-containing fraction of Hericium erinaceus BP 16. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*, *(1)*, 5–11. https://doi.org/10.31857/s0002332920010129. EDN: https://elibrary.ru/BKZXES
13. Ait-Aissa, A., & Aider, M. (2014). Lactulose: Production and use in functional food, medical and pharmaceutical applications. Practical and critical review. *International Journal of Food Science and Technology*, *49*(5), 1245–1253. https://doi.org/10.1111/ijfs.12465
14. Awan, M., Buriak, I., Fleck, R., Fuller, B., Goltsev, A., Kerby, J., et al. (2020). Dimethyl sulfoxide: A central player since the dawn of cryobiology, is efficacy balanced by toxicity? *Regenerative Medicine*, *15*(3), 1463–1491. https://doi.org/10.2217/rme-2019-0145. EDN: https://elibrary.ru/UGCADO
15. Blackwell, A. D., Garcia, A. R., Keivanfar, R. L., & Bay, S. (2021). A field method for cryopreservation of whole blood from a finger prick for later analysis

with flow cytometry. *American Journal of Physical Anthropology*, *174*(4), 670–685. https://doi.org/10.1002/ajpa.24251. EDN: https://elibrary.ru/GXRSYE

16. Bojic, S., Murray, A., Bentley, B. L., Spindler, R., Pawlik, P., Cordeiro, J. L., et al. (2021). Winter is coming: The future of cryopreservation. *BMC Biology*, *19*, 56. https://doi.org/10.1186/s12915-021-00976-8. EDN: https://elibrary.ru/SWFGPB
17. Dayal, R., Beyls, E., Vral, A., & Baeyens, A. (2024). The micronucleus assay on cryopreserved whole blood. *Journal of Visualized Experiments*, (204). https://doi.org/10.3791/65855. EDN: https://elibrary.ru/XGJTIM
18. Yuying, H., Xiangjian, L., Fenglin, L., Jingxian, X., Qubo, Z., & Songwen, T. (2023). Trehalose in biomedical cryopreservation — properties, mechanisms, delivery methods, applications, benefits, and problems. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *9*(3), 1190–1204. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01225. EDN: https://elibrary.ru/AXEHNA
19. Guerreiro, B. M., Dionísio, M. M., Lima, J. C., Silva, J. C., & Freitas, F. (2024). Cryoprotective polysaccharides with ordered gel structures induce ice growth anticipation and survival enhancement during cell cryopreservation. *Biomacromolecules*, *25*(6), 3384–3397. https://doi.org/10.1021/acs.biomac.4c00040. EDN: https://elibrary.ru/AZLCIT
20. Jahan, S., Kaushal, R., Pasha, R., & Pineault, N. (2021). Current and future perspectives for the cryopreservation of cord blood stem cells. *Transfusion Medicine Reviews*, *35*(2), 95–102. https://doi.org/10.1016/j.tmrv.2021.01.003. EDN: https://elibrary.ru/FTVUSW
21. Janis, B. R., Priddy, M. C., Otto, M. R., Kopechek, J. A., & Menze, M. A. (2021). Sonoporation enables high-throughput loading of trehalose into red blood cells. *Cryobiology*, *98*, 73–79. https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2020.12.005. EDN: https://elibrary.ru/OWXAFO
22. Killer, J., Bunešová, V. N., Modráčková, N., Vlková, E., Pechar, R., & Šplíchal, I. (2023). Lactulose in combination with soybean lecithin has a cryoprotective effect on probiotic taxa of bifidobacteria and Lactobacillaceae. *Letters in Applied Microbiology*, *76*(2), ovad008. https://doi.org/10.1093/lambio/ovad008. EDN: https://elibrary.ru/OTVQSB
23. Li, J., Wang, H., Wang, L., Yu, D., & Zhang, X. (2024). Stabilization effects of saccharides in protein formulations: A review of sucrose, trehalose, cyclodextrins and dextrans. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *192*. https://doi.org/10.1016/j.ejps.2023.106625. EDN: https://elibrary.ru/SSJICX
24. Wang, Y., Gao, S., Zhu, K., Ren, L., & Yuan, X. (2023). Integration of trehalose lipids with dissociative trehalose enables cryopreservation of human RBCs. *ACS*

Biomaterials Science & Engineering, *9*(1), 498–507. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c01154. EDN: https://elibrary.ru/YKELHI

25. Whaley, D., Damyar, K., Witek, R. P., Mendoza, A., Alexander, M., & Lakey, J. R. (2021). Cryopreservation: An overview of principles and cell-specific considerations. *Cell Transplantation*, *30*. https://doi.org/10.1177/0963689721999617. EDN: https://elibrary.ru/YKOESK
26. Xiangjian, L., Yuxin, P., Fenglin, L., Yongju, H., Qubo, Z., Zhaolin, L., et al. (2021). A review of the material characteristics, antifreeze mechanisms, and applications of cryoprotectants (CPAs). *Journal of Nanomaterials*, *2*, 1–14. https://doi.org/10.1155/2021/9990709. EDN: https://elibrary.ru/KBKQFX
27. Xu, B., Wang, Z., Wang, R., Song, G., Zhang, Y., Su, R., et al. (2022). Metabolomics analysis of buck semen cryopreserved with trehalose. *Frontiers in Genetics*, *13*. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.938622. EDN: https://elibrary.ru/TLXLFU
28. Yamagata, H., Kobayashi, A., Tsunedomi, R., Seki, T., Kobayashi, M., Hagiwara, K., et al. (2021). Optimized protocol for the extraction of RNA and DNA from frozen whole blood sample stored in a single EDTA tube. *Scientific Reports*, *11*. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96567-2. EDN: https://elibrary.ru/VYIOUR
29. Yao, J., Shen, L., Chen, Z., Zhang, B., & Zhao, G. (2022). Hydrogel microencapsulation enhances cryopreservation of red blood cells with trehalose. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *8*(5), 2066–2075. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.2c00051. EDN: https://elibrary.ru/ENJISC
30. Zhong, Y., McGrath, J. K., & Gong, B. (2021). Dipropinonates of sugar alcohols as water-soluble, nontoxic CPAs for DMSO-free cell cryopreservation. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, *7*(10), 4757–4762. https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.1c00995. EDN: https://elibrary.ru/DKIIJK

ВКЛАД АВТОРОВ

Власов А.А.: разработка концепции научной работы, сбор и анализ данных, составление черновика рукописи.

Андрусенко С.Ф.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Денисова Е.В.: сбор и анализ данных.

Эльканова А.Б.: сбор и анализ данных.

Богословский Д.А.: сбор и анализ данных.

Сивун И.В.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Aleksandr A. Vlasov: study conception and design, data collection and analysis, drafting of the manuscript.
Svetlana F. Andrusenko: study conception and design, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.
Evgeniya V. Denisova: data collection and analysis.
Aishat B. Elkanova: data collection and analysis.
Dmitry A. Bogoslovsky: data collection and analysis.
Inna V. Sivun: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Власов Александр Александрович, к.м.н., доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
alecs-aspirini@yandex.ru

Андрусенко Светлана Федоровна, к.б.н., доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
svet1677@yandex.ru

Денисова Евгения Владимировна, к.б.н., доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
den_ev@mail.ru

Эльканова Айшат Борисовна, к.м.н., доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
aishat.elkanowa@yandex.ru

Богословский Дмитрий Алексеевич, преподаватель
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
dmitry_bogoslovsky@mail.ru

Сивун Инна Вячеславовна, к.б.н., доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет»
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
biogeny@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandr A. Vlasov, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
alecs-aspirini@yandex.ru
SPIN-code: 5611-9308
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4598-8994

Svetlana F. Andrusenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
svet1677@yandex.ru
SPIN-code: 5424-7116
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9588-6902

Evgeniya V. Denisova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
den_ev@mail.ru
SPIN-code: 1026-1835
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3149-4376

Aishat B. Elkanova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation

aishat.elkanowa@yandex.ru
SPIN-код: 7442-5539
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8707-515X

Dmitry A. Bogoslovsky, Lecturer
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
dmitry_bogoslovsky@mail.ru
SPIN-code: 9340-4944
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-3700-3981

Inna V. Sivun, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor
North Caucasus Federal University
1, Pushkin Str., Stavropol, 355017, Russian Federation
biogeny@yandex.ru
SPIN-code: 7630-8685
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0653-6761

Поступила 29.05.2025 Received 29.05.2025
После рецензирования 30.06.2025 Revised 30.06.2025
Принята 09.07.2025 Accepted 09.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1357 **EDN: EFCLSR**
УДК 577.121: 543.51: 636.2.082.4

Научный обзор

ИДЕНТИФИКАЦИЯ БИОМАРКЕРОВ ФЕРТИЛЬНОСТИ БЫКОВ НА ОСНОВЕ МЕТАБОЛОМНОГО АНАЛИЗА СПЕРМАТОЗОИДОВ И СЕМЕННОЙ ПЛАЗМЫ

А.А. Ермилов, А.А. Траспов, Ф.С. Бакоев, Д.В. Чесноков, А.С. Панова, А.Б. Кузнецов, О.В. Костюнина

Аннотация

Обоснование. Фертильность является ключевым фактором в животноводстве, при этом качество спермы существенно влияет на эффективность искусственного осеменения. Перспектива прогнозирования возможного статуса фертильности молодых быков привела к обширным исследованиям по определению биомаркеров, которые можно использовать для улучшения отбора по признакам фертильности на ранних этапах жизни. Исследование метаболома сперматозоидов и семенной плазмы может пролить свет на ключевые механизмы, регулирующие мужскую фертильность и репродуктивные процессы, идентифицировать соответствующие биомаркеры и понять метаболические пути, влияющие на оплодотворяющую способность семени и другие параметры, характеризующие качество эякулята.

Целью исследования являлся анализ литературных данных о панорамном метаболоме спермы и семенной плазмы крупного рогатого скота в аспекте репродуктивной способности быков.

Методы исследования. Был осуществлен поиск статей в базах данных PubMed и Google Scholar с использованием терминов «sperm bull metabolome», «seminal plasma bull metabolome» «high fertility bull metabolome» и «low fertility bull metabolome». Были собраны данные, опубликованные на английском языке в период 2012–2025 гг.

Результаты. Современные аналитические методы, включая жидкостную хроматографию с масс-спектрометрией и ядерный магнитный резонанс, позволяют идентифицировать от нескольких десятков до нескольких тысяч метаболитов в образцах. В результате анализа литературных данных выявлены

ключевые метаболиты семенной плазмы: аминокислоты (лейцин, изолейцин, фенилаланин, тирозин, глутамат), органические кислоты (цитрат, лактат), углеводы (фруктоза) и липидные компоненты (глицерофосфохолин, лизофосфатидилхолин). В сперматозоидах наибольшее значение имеют энергетические метаболиты (ацетилкарнитин, молочная кислота), серосодержащие соединения (гипотаурин, таурин, селеноцистин, D-цистеин), нейротрансмиттеры (ГАМК) и компоненты клеточных мембран. Обнаружены противоречивые результаты для некоторых метаболитов (гипотаурин, селеноцистин, L-яблочная кислота), что указывает на необходимость стандартизации методологических подходов. Выявленные метаболические сигнатуры отражают функциональные различия между сперматозоидами быков с различной фертильностью и подвижностью.

Заключение. Полученные результаты демонстрируют перспективность использования метаболомного анализа для идентификации биомаркеров раннего прогнозирования репродуктивного потенциала быков-производителей, что позволит оптимизировать отбор племенных животных, сократить интервал между поколениями и повысить эффективность программ искусственного осеменения в животноводстве.

Ключевые слова: бык; метаболом; сперматозоиды; семенная плазма; фертильность; биомаркер; обзор

Для цитирования. Ермилов, А. А., Траспов, А. А., Бакоев, Ф. С., Чесноков, Д. В., Панова, А. С., Кузнецов, А. Б., & Костюнина, О. В. (2025). Идентификация биомаркеров фертильности быков на основе метаболомного анализа сперматозоидов и семенной плазмы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 32-50. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1357

Scientific Review

IDENTIFICATION OF BULL FERTILITY BIOMARKERS BASED ON METABOLOMIC ANALYSIS OF SPERM CELLS AND SEMINAL PLASMA

A.A. Ermilov, A.A. Traspov, F.S. Bakoev, D.V. Chesnokov, A.S. Panova, A.B. Kuznetsov, O.V. Kostyunina

Abstract

Background. Fertility is a key factor in animal husbandry, with semen quality significantly influencing the efficiency of artificial insemination. The prospect of

predicting the potential fertility status of young bulls has led to extensive research aimed at identifying biomarkers that can be used to improve fertility trait selection early in life. Studying the metabolome of sperm cells and seminal plasma may shed light on key mechanisms regulating male fertility and reproductive processes, help identify relevant biomarkers, and elucidate metabolic pathways influencing semen fertilizing ability and other ejaculate quality parameters.

The **purpose** of the study was to analyze literature data on the comprehensive metabolome of cattle sperm and seminal plasma in relation to bulls' reproductive capacity.

Methods. A literature search was performed in PubMed and Google Scholar databases using the following search terms: «sperm bull metabolome», «seminal plasma bull metabolome», «high fertility bull metabolome» and «low fertility bull metabolome». Data published in English between 2012 and 2025 were collected. Data published in English between 2012 and 2025 were collected.

Results. Modern analytical methods, such as liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) and nuclear magnetic resonance (NMR), enable the detection of dozens to thousands of metabolites in biological samples.The analysis of literature data identified key metabolites in seminal plasma: amino acids (leucine, isoleucine, phenylalanine, tyrosine, glutamate), organic acids (citrate, lactate), carbohydrates (fructose), and lipid components (glycerophosphocholine, lysophosphatidylcholine). In sperm cells, the most critical metabolites included energy-related compounds (acetylcarnitine, lactic acid), sulfur-containing compounds (hypotaurine, taurine, selenocystine, D-cysteine), neurotransmitters (GABA), and cell membrane components. Contradictory findings were reported for certain metabolites (hypotaurine, selenocystine, L-malic acid), highlighting the need for standardization of methodological approaches.

Conclusion. The identified metabolic signatures reflect functional differences between sperm from bulls with varying fertility and motility levels. These findings underscore the potential of metabolomic profiling for early prediction of reproductive potential in breeding bulls. Implementing these biomarkers could optimize selection strategies, shorten generational intervals, and enhance the efficiency of artificial insemination programs in animal husbandry.

Keywords: bull; metabolome; sperm cells; seminal plasma; fertility; biomarker; review

For citation. Ermilov, A. A., Traspov, A. A., Bakoev, F. S., Chesnokov, D. V., Panova, A. S., Kuznetsov, A. B., & Kostyunina, O. V. (2025). Identification of bull fertility biomarkers based on metabolomic analysis of sperm cells and seminal plasma. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 32-50. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1357

Введение

Фертильность животных – это ключевой фактор в обеспечении устойчивости развития мясного и молочного скотоводства [17]. В животноводстве искусственное осеменение является наиболее распространенной вспомогательной репродуктивной технологией, при которой для осеменения большого количества коров используются эякуляты от лучших быков-производителей [1]. Однако только около 50% таких инсеминаций приводят к успешной стельности, что обуславливает серьезные экономические потери [31]. Сообщается, что значительная доля репродуктивных проблем вызвана низкой оплодотворяющей способностью мужских гамет [11; 35]. Точная оценка фертильности быков в настоящее время выполняется с помощью рутинного анализа спермы, но такой традиционный анализ не может определить полную потенциальную и фактическую фертильность быков [4; 30]. Кроме того, традиционный анализ спермы характеризуется определенными ограничениями в использовании для выявления и прогнозирования бесплодия животных [9], поскольку оценка качества семени проводится после полового созревания, что удлиняет интервал между поколениями и сопряжено с риском выращивания потенциально субфертильного или бесплодного самца. Молекулярные события, связанные с физиологией спермы, важны, поскольку они могут служить основой для определения оплодотворяющей способности быков [25]. На сложную природу оплодотворения влияют колебания концентрации макромолекул, обнаруженных в самом сперматозоиде [16; 36], семенной плазме [2] и микробиоме половых путей самки [28]. Сообщалось, что белки семенной плазмы улучшают оплодотворяющую способность сперматозоидов [19; 26]. Белки и метаболиты семенной плазмы защищают сперматозоиды от окислительного стресса, нейтрализуя активные формы кислорода (АФК), сохраняя целостность мембраны и уровень АТФ [26]. Показано, что экспрессия микроРНК в сперматозоидах быков связана с результативностью осеменения [8; 13]. Все больше данных свидетельствует о том, что сперматозоиды метаболизируют широкий спектр экзогенных субстратов, которые прямо или косвенно регулируют сигнальные пути, участвующие в подвижности сперматозоидов, гиперактивации, капацитации, акросомной реакции и слиянии сперматозоидов с ооцитами [27].

Метаболомика имеет важное значение, поскольку низкомолекулярные соединения могут дать четкое представление о регуляторных путях внутри сперматозоидов [6; 14]. Кроме того, метаболиты связаны с физиологическими событиями через каскад биохимических сложных сетей [10; 15], а

также способствуют определению фенотипа [15]. Перспектива прогнозирования возможного статуса фертильности молодых самцов привела к обширным исследованиям по определению биомаркеров, которые можно использовать для улучшения отбора по признакам фертильности на ранних этапах жизни [22]. Таким образом анализ метаболома семенной плазмы и сперматозоидов может пролить свет на ключевые механизмы, регулирующие мужскую фертильность и репродуктивные процессы, идентифицировать соответствующие биомаркеры и понять метаболические пути, влияющие на оплодотворяющую способность семени и другие параметры, характеризующие качество эякулята.

Цель – выполнить анализ литературных данных о панорамном метаболоме спермы и семенной плазмы крупного рогатого скота в аспекте репродуктивной способности быков.

Материалы и методы

Был осуществлен поиск статей в базах данных PubMed и Google Scholar с использованием терминов «sperm bull metabolome», «seminal plasma bull metabolome» «high fertility bull metabolome» и «low fertility bull metabolome». Были собраны данные, опубликованные на английском языке в период 2012–2025 гг.

Результаты

Методологические подходы к изучению панорамного (нецелевого) метаболома

Исследование метаболома спермы и семенной плазмы быков является важным направлением в репродуктивной биологии и животноводстве. Для анализа метаболома используются современные методы, такие как масс-спектрометрия (МС) и ядерная магнитная резонансная спектроскопия (ЯМР). Масс-спектрометрия является одним из наиболее распространенных методов для анализа метаболома. Она позволяет идентифицировать и количественно определять метаболиты в биологических образцах. Жидкостная хроматография с масс-спектрометрией (ЖХ-МС) - этот метод сочетает разделение метаболитов с помощью жидкостной хроматографии и их последующую детекцию с помощью масс-спектрометрии. ЖХ-МС широко используется для анализа метаболома спермы и семенной плазмы [3; 5; 20; 23; 32; 33; 37]. Газовая хроматография с масс-спектрометрией (ГХ-МС) - используется для анализа летучих и полулетучих метаболитов. Этот метод часто применяется для исследования метаболитов, таких как

органические кислоты, сахара и аминокислоты. Исследование нецелевого метаболома сперматозоидов и семенной плазмы быков с использованием газовой хроматографии выполняли Velho и соавторы [34] (2018) и Menezes и соавторы (2019) [24].

Ядерная магнитная резонансная (ЯМР) спектроскопия позволяет анализировать метаболиты без их разрушения. Этот метод особенно полезен для изучения сложных смесей метаболитов, таких как сперма и семенная плазма [12; 18; 21]. ЯМР способна обнаруживать около 50–200 метаболитов в концентрациях выше 1 мкМ, в то время как ЖХ-МС идентифицирует более 1000 метаболитов в концентрациях от 10 до 100 нМ [7].

В таблице 1 представлены данные о количестве обнаруженных сигналов, определенных в режимах положительной и отрицательной ионизации в образцах семенной плазмы и сперматозоидов быков с учетом их фертильности.

Таблица 1.

Количество обнаруженных сигналов, определенных в режимах положительной и отрицательной ионизации в образцах семени быков

метод	Сперматозоиды/плазма	Положительная ионизация (HF/ LF)	Отрицательная ионизация (HF/ LF)	Источник
ЖХ-МС/МС	сперматозоиды	1323/537	579/604	[5]
ЖХ-МС/МС	плазма	435/373	647/615	[5]
ЖХ-МС	сперматозоиды	1011/921	1050/722	[32]
УВЭЖХ-КВРМС	плазма	3391/3391	2892/2892	[3]
ЖХ-МС/МС	сперматозоиды	2484	1651	[37]
ЖХ–МС/МС	сперматозоиды	3704		[33]

HF – высокофертильные быки, LF – низкофертильные быки

Различные аналитические методы (табл. 1) демонстрируют существенную вариабельность в количестве обнаруживаемых метаболитов. Наиболее эффективным методом по числу детектируемых сигналов является ультра-высокоэффективная жидкостная хроматография с квадрупольным времяпролетным масс-спектрометром (УВЭЖХ-КВРМС), позволяющая обнаруживать до 6283 сигналов в образцах семенной плазмы [3]. ЖХ-МС/МС и ЖХ-МС также демонстрируют высокую эффективность, выявляя более 1000 метаболитов в образцах сперматозоидов, в то время как возможности ЯМР ограничены обнаружением 50-200 метаболитов в концентрациях выше 1 мкМ.

Метаболомный профиль семенной плазмы быков

Как показывают результаты исследований [18; 23; 34] семенная плазма содержит в себе разнообразные метаболиты, относящиеся к различным классам веществ. После анализа ГХ-МС семенной плазмы быка было интегрировано 73 пика, независимо от показателей фертильности. Из этих пиков 63 метаболита были идентифицированы и классифицированы в соответствии с их основными химическими классами, включая аминокислоты, пептиды/аналоги, углеводы/конъюгаты углеводов, жирные кислоты/конъюгаты, стероиды/производные стероидов, нуклеозиды/нуклеотиды/аналоги и другие органические и неорганические соединения. [34]. E. Giaretta и коллеги [12] с использованием ЯМР в семенной плазме идентифицировали 29 метаболитов: ацетат, ацетон, аланин, аргинин, аспартат, карнитин, глицерофосфохолин, цитрат, изопропанол, глицерин, креатинин, этанол, формиат, фруктоза, фумарат, ГАМК, глюкоза, глутамат, гистидин, изолейцин, лактат, лейцин, лизин, фенилаланин, пролин, пропиновая кислота, тирозин, уридин и валин.

В таблице 2 показаны совпадающие метаболиты, идентифицированные в различных экспериментах, с учетом фертильности быков.

Таблица 2.

Совпадающие метаболиты, идентифицированные в различных экспериментах

Метаболит	[12]	[18]	[20]	[23]	[29]	[34]
Цитрат	✓	✓ (↓ в HF)	-	-	-	✓
Лактат/Молочная кислота	✓ (↑ в HF)	✓	-	-	-	✓
Фруктоза	✓ (↓ в HF)	-	-	-	-	✓ (↑ в HF)
Глицерин/Глицерол	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-	✓
Аланин	✓ (↑ в LF)	-	-	-	-	✓
Глицерофосфохолин	✓	✓	-	✓ (↑ в HF)	-	-
Изолейцин	✓	✓ (↓ в HF)	-	-	-	✓
Лейцин	✓	✓ (↑ в HF)	✓	-	-	✓
Таурин/Гипотаурин	-	✓ (↑ в HF)	✓	-	-	-
Карнитин	✓	-	-	✓ (L-карнитин ↓ в HF)	-	-
Глицинбетаин	-	-	-	✓ (↓ в HF)	-	-
Фенилаланин	✓ (↑ в LF)	-	-	-	-	✓
Валин	✓	-	-	-	-	✓
Тирозин	✓ (↑ в LF)	-	✓	-	-	✓

Глутамат/Глутаминовая кислота	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-	✓
Аргинин	✓	-	✓	-	-	✓
Пролин	✓	-	✓	-	-	✓
ГАМК	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-	-
Холин	-	-	✓	-	-	-
Триптофан	-	-	✓	-	-	-
Гистидин	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-	-
Лизофосфатидилхолин	-	-	-	✓ (↓ в HF)	-	-

Анализ научной литературы позволяет выделить ряд метаболитов, устойчиво идентифицируемых в семенной плазме быков различными исследовательскими группами независимо от методологических подходов (табл.2). Наиболее часто обнаруживаемыми метаболитами являются цитрат, лактат, фруктоза, глицерин, ряд аминокислот (аланин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, валин, тирозин, глутамат, аргинин, пролин) и глицерофосфохолин. Особую ценность представляют метаболиты, демонстрирующие стабильную связь с фертильностью в различных исследованиях: пониженный уровень цитрата ассоциирован с высокой фертильностью [18]; повышенные уровни лактата и ГАМК коррелируют с высокой подвижностью сперматозоидов [12]; глицерофосфохолин в повышенной концентрации наблюдается у быков с высокой фертильностью [23]; таурин и гипотаурин также показывают более высокие значения у высокофертильных быков [18; 20]. Следует отметить отдельные метаболиты с противоречивыми данными, в частности, фруктозу: по данным A. L. C. Velho и соавторов [34], её повышенный уровень ассоциирован с высокой фертильностью, тогда как E. Giaretta и коллеги [12] сообщают о пониженном содержании фруктозы в криоконсервированной плазме быков с высокой подвижностью сперматозоидов. Аминокислотный профиль демонстрирует характерные различия между группами с разной репродуктивной способностью: аланин, фенилаланин и тирозин повышены в группе с низкой подвижностью [12]; глутамат и гистидин – в группе с высокой подвижностью [12]; изолейцин понижен у быков с высокой фертильностью [18]; лейцин, напротив, повышен у высокофертильных быков [18]. Липидные компоненты также показывают дифференциальную экспрессию: глицерофосфохолин повышен у быков с высокой фертильностью, тогда как лизофосфатидилхолин у них понижен [23]. Совокупность этих метаболических маркеров, выявляемых в независимых исследованиях, форми-

рует перспективную основу для идентификации надежных биомаркеров фертильности быков, которые могут найти практическое применение в селекционной работе и репродуктивных технологиях в животноводстве. Идентификация совпадающих метаболитов между различными исследованиями существенно повышает достоверность их связи с репродуктивной функцией и указывает на их ключевую роль в обеспечении функциональных характеристик сперматозоидов.

Метаболомный профиль сперматозоидов быков

Метаболомный профиль сперматозоидов не менее разнообразен, чем семенной плазмы. По данным E. B. Menezes и соавторов [24] в образцах сперматозоидов независимо от их фертильности было выявлено 22 метаболита, отнесенных к восьми основным химическим классам: органические кислоты/производные, жирные кислоты и конъюгаты, неорганические кислоты и производные, карбоновые кислоты и производные, аминокислоты, пептиды/аналоги, кетокислоты и производные, стероиды и производные, а также углеводы/конъюгаты углеводов. Олеиновая кислота, фосфорная кислота, фосфин, карбамат и глицерин были наиболее распространенными метаболитами в сперматозоидах быка. Напротив, наименее распространенными метаболитами были бензойная кислота, уксусная кислота, L-серин, карбонат и 2-кетомасляная кислота. Большинство идентифицированных эндогенных метаболитов классифицированы на липиды, фосфолипиды, глицерофосфолипиды, амины, общие аминокислоты, жиры и общие жирные кислоты [5]. Различные уровни метаболитов могут способствовать изменениям подвижности сперматозоидов после замораживания и размораживания [37].

В таблице 3 показаны совпадающие метаболиты, идентифицированные в различных экспериментах, с учетом фертильности быков.

Таблица 3.

Совпадающие метаболиты, идентифицированные в различных экспериментах

Метаболит	[5]	[23]	[24]	[32]	[33]	[37]
ГАМК	-	-	✓ (↑ в HF)	-	-	-
Ацетилкарнитин	-	-	-	-	-	✓ (↑ в HF)
Бетаин/Глицинбетаин	-	✓ (↓ в HF)	-	-	-	✓ (↑ в HF)
Гипотаурин	-	-	-	✓ (↑ в HF)	✓ (↑ в LF)	-
Глицерофосфохолин	-	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-

Лизофосфатидилхолин (LPC 16:0/0:0)	-	✓ (↑ в HF)	-	-	-	-
Лизофосфатидилхолин (LPC 18:0)	-	-	-	-	-	✓ (↓ в HF)
Фосфатидилхолин	✓ (↑ в AST)	-	-	-	-	-
Пальмитиновая кислота	-	-	✓ (↑ в LF)	-	-	-
Олеиновая кислота	-	-	✓	-	-	-
Молочная кислота	-	-	✓ (↑ в HF)	-	-	-
Селеноцистеин/ Селеноцистин	✓ (↑ в AST)	-	-	✓ (↑ в HF)	✓ (↑ в LF)	-
Дезоксиуридинтрифосфат/DITP	✓ (↑ в AST)	-	-	✓	✓ (↑ в LF)	-
Ацетилхолин	-	-	-	-	-	✓ (↑ в HF)
α-эргокриптин	-	-	-	-	-	✓ (↓ в HF)
Карбамат/Карбамоилфосфат	-	-	✓ (↑ в HF)	✓	✓ (↑ в LF)	-
Бензойная кислота	-	-	✓ (↑ в HF)	-	-	-
Уксусная кислота	-	-	✓ (↑ в LF)	-	-	-
Малонил-CoA	-	-	-	-	✓ (↓ в LF)	-
Ацетоацетил-CoA	-	-	-	-	✓ (↓ в LF)	-
3-меркаптомолочная кислота	-	-	-	✓	✓ (↓ в LF)	-
D-цистеин	-	-	-	✓ (↑ в LF)	✓ (↓ в LF)	-
Фосфорная кислота	-	-	✓	-	-	-
1-стеароил-2-гидрокси-sn-глицеро-3-фосфохолин	-	-	-	-	-	✓ (↓ в HF)
L-яблочная кислота	-	-	-	✓ (↑ в HF)	✓ (↑ в LF)	-
Лактил-CoA	-	-	-	✓	✓ (↓ в LF)	-
Хондроитин-4-сульфат	-	-	-	✓ (↑ в LF)	✓ (↓ в LF)	-
β-d-глюкозил-N-докозаноилсфингозин	-	-	-	✓	-	-

Сравнительный анализ научной литературы, посвященной метаболомике сперматозоидов быков, позволяет выявить ключевые метаболиты, которые регулярно идентифицируются в различных исследованиях независимо от применяемых аналитических подходов (табл. 3). Сравнительный анализ научной литературы, посвященной метаболомике сперматозоидов быков, позволяет выявить ключевые метаболиты, которые регулярно идентифицируются в различных исследованиях независимо от применяемых аналитических подходов. Наиболее часто обнаруживаемыми метаболитами в сперматозоидах быков являются фосфорная кислота, олеиновая кислота, пальмитиновая кислота, ГАМК, глицерофосфохолин, лизофосфатидилхолин, карнитин, ацетилкарнитин, глицинбетаин, молочная кислота, селеноцистеин, дезоксиуридинтрифосфат и гипотаурин. Ряд метаболитов демонстрируют стабильную ассоциацию с фертильностью и подвижностью сперматозоидов в нескольких независимых исследованиях: ГАМК показывает повышенные уровни в сперматозоидах быков с высокой фертильностью [24]; ацетилкарнитин значительно повышен в высокоподвижных сперматозоидах [37]; глицинбетаин демонстрирует противоречивые результаты, будучи повышенным в высокоподвижных сперматозоидах [37], но пониженным в сперматозоидах быков с высокой фертильностью при криоконсервации [23].

Особого внимания заслуживают метаболиты, показывающие противоречивые результаты в разных исследованиях: гипотаурин повышен как у быков с низкой фертильностью [33], так и у быков с высокой фертильностью [32]; селеноцистеин/селеноцистин повышены у быков с астеноолигозооспермией и низкой фертильностью [5; 33], но также повышены у быков с высокой фертильностью [32]; L-яблочная кислота повышена как у низкофертильных [33], так и у высокофертильных быков [32]; D-цистеин и хондроитин-4-сульфат показывают противоположные тенденции в различных исследованиях. Эти противоречия могут быть обусловлены различиями в методологических подходах, породах животных, условиях содержания образцов и критериях оценки фертильности.

Фосфолипидные компоненты также проявляют характерные различия: глицерофосфохолин повышен в сперматозоидах быков с высокой фертильностью [23], в то время как различные лизофосфатидилхолины демонстрируют разнонаправленные изменения. Среди энергетических метаболитов молочная кислота повышена в сперматозоидах быков с высокой фертильностью [24], тогда как ацетоацетил-CoA, формил-CoA, малонил-CoA и лактил-CoA снижены у низкофертильных быков [33].

Сравнительный анализ метаболических профилей сперматозоидов быков с различной фертильностью и подвижностью выявляет устойчивые биохимические сигнатуры, отражающие функциональные различия, хотя и с некоторыми противоречиями между исследованиями, что указывает на необходимость стандартизации методологических подходов и учета различных факторов, влияющих на метаболом сперматозоидов.

Заключение

Метаболомный профиль репродуктивных биожидкостей быков представляет собой сложную динамическую систему низкомолекулярных соединений, отражающую физиологическое состояние и фертильность животных. Сопоставление результатов независимых исследований выявило ключевые метаболиты, стабильно связанные с репродуктивным потенциалом быков. В семенной плазме наибольшую значимость имеют аминокислоты (лейцин, изолейцин, аланин, фенилаланин, тирозин, глутамат, гистидин), органические кислоты (цитрат, лактат), углеводы (фруктоза), а также липидные компоненты (глицерофосфохолин, лизофосфатидилхолин). В сперматозоидах особую роль играют энергетические метаболиты (ацетилкарнитин, молочная кислота, ацетоацетил-CoA, лактил-CoA), нейротрансмиттеры (ГАМК), серосодержащие соединения (гипотаурин, таурин, селеноцистин, D-цистеин), органические кислоты (L-яблочная кислота), а также фосфолипидные компоненты клеточных мембран. Наблюдаемые метаболические различия между группами быков с высокой и низкой фертильностью, а также с различной подвижностью сперматозоидов, отражают фундаментальные биохимические процессы, включая энергетический метаболизм, окислительно-восстановительный баланс, структурную целостность мембран и регуляцию клеточных функций. Совокупность выявленных метаболических маркеров представляет значительный практический интерес для развития новых подходов к ранней диагностике и прогнозированию репродуктивного потенциала быков-производителей. Внедрение метаболомных технологий в животноводство позволит оптимизировать процесс отбора племенных быков, сократить интервал между поколениями, снизить экономические потери, связанные с выращиванием субфертильных самцов, и в конечном итоге повысить эффективность программ искусственного осеменения в животноводстве.

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

Информация о спонсорстве. Исследование было выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-16-00198 «Идентификация биомаркеров фертильности быков с использованием анализа метаболома и генома крупного рогатого скота», https://rscf.ru/project/24-16-00198/.

Список литературы / References

1. Amann, R. P., & DeJarnette, J. M. (2012). Impact of genomic selection of AI dairy sires on their likely utilization and methods to estimate fertility: A paradigm shift. *Theriogenology*, *77*(5), 795–817. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.09.002
2. Camargo, M., Intasqui, P., & Bertolla, R. P. (2018). Understanding the seminal plasma proteome and its role in male fertility. *Basic and Clinical Andrology*, *28*(6). https://doi.org/10.1186/s12610-018-0071-5. EDN: https://elibrary.ru/UNCHAZ
3. Cao, W., Sun, W., Chen, S., Jia, X., Wang, J., & Lai, S. (2023). Comprehensive analysis of microRNA and metabolic profiles in bovine seminal plasma of different semen quality. *Frontiers in Veterinary Science*, *10*, 1088148. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1088148. EDN: https://elibrary.ru/RQYYYN
4. Darr, C. R., Varner, D. D., Teague, S., Cortopassi, G. A., Datta, S., & Meyers, S. A. (2016). Lactate and pyruvate are major sources of energy for stallion sperm with dose effects on mitochondrial function, motility, and ROS production. *Biology of Reproduction*, *95*(2), 34. https://doi.org/10.1095/biolreprod.116.140707
5. Dasgupta, M., Kumaresan, A., Saraf, K. K., Nag, P., Sinha, M. K., Aslam, M. K. M., Karthikkeyan, G., Prasad, T. S. K., Modi, P. K., Datta, T. K., Ramesha, K., Manimaran, A., & Jeyakumar, S. (2022). Deep metabolomic profiling reveals alterations in fatty acid synthesis and ketone body degradations in spermatozoa and seminal plasma of astheno-oligozoospermic bulls. *Frontiers in Veterinary Science*, *8*, 755560. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.755560. EDN: https://elibrary.ru/SSJIMB
6. Dipresa, S., De Toni, L., & Garolla, A. (2018). New markers for predicting fertility of the male gametes in the post-genomic era. *Protein and Peptide Letters*, *25*(5), 434–439. https://doi.org/10.2174/0929866525666180418120635
7. Emwas, A.-H., Roy, R., McKay, R. T., Tenori, L., Saccenti, E., Gowda, G. A. N., Raftery, D., AlAhmari, F., Jaremko, L., Jaremko, M., et al. (2019). NMR spectroscopy for metabolomics research. *Metabolites*, *9*(7), 123. https://doi.org/10.3390/metabo9070123. EDN: https://elibrary.ru/LBYNVC

8. Fagerlind, M., Stålhammar, H., Olsson, B., & Klinga-Levan, K. (2015). Expression of miRNAs in bull spermatozoa correlates with fertility rates. *Reproduction in Domestic Animals*, *50*(4), 587–594. https://doi.org/10.1111/rda.12531
9. Fair, S., & Lonergan, P. (2018). Review: Understanding the causes of variation in reproductive wastage among bulls. *Animal*, *12*(S1), S53–S62. https://doi.org/10.1017/S1751731118000964
10. Fukusaki, E. (2014). Application of metabolomics for high resolution phenotype analysis. *Mass Spectrometry*, *3*(Spec Iss 3), S0045. https://doi.org/10.5702/massspectrometry.S0045
11. García-Vázquez, F. A., Gadea, J., Matás, C., & Holt, W. V. (2016). Importance of sperm morphology during sperm transport and fertilization in mammals. *Asian Journal of Andrology*, *18*(6), 844–850. https://doi.org/10.4103/1008-682X.186880
12. Giaretta, E., Damato, A., Zennaro, L., Bonfatti, V., Mislei, B., Vigolo, V., Falomo, M. E., Bertuzzo, F., Gabai, G., & Bucci, D. (2025). Metabolome and oxidative stress markers in the seminal plasma of Holstein bulls and their relationship with the characteristics of fresh and frozen/thawed sperm. *Theriogenology*, *235*, 262–274. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2025.01.015. EDN: https://elibrary.ru/MLYIQA
13. Govindaraju, A., Uzun, A., Robertson, L., Atli, M. O., Kaya, A., Topper, E., Crate, E. A., Padbury, J., Perkins, A., & Memili, E. (2012). Dynamics of microRNAs in bull spermatozoa. *Reproductive Biology and Endocrinology*, *10*(82). https://doi.org/10.1186/1477-7827-10-82. EDN: https://elibrary.ru/LBMSLM
14. Gromski, P. S., Muhamadali, H., Ellis, D. I., Xu, Y., Correa, E., Turner, M. L., & Goodacre, R. (2015). A tutorial review: Metabolomics and partial least squares-discriminant analysis – a marriage of convenience or a shotgun wedding? *Analytica Chimica Acta*, *879*, 10–23. https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.02.012. EDN: https://elibrary.ru/UOEXSP
15. Guijas, C., Montenegro-Burke, J. R., Warth, B., Spilker, M. E., & Siuzdak, G. (2018). Metabolomics activity screening for identifying metabolites that modulate phenotype. *Nature Biotechnology*, *36*(4), 316–320. https://doi.org/10.1038/nbt.4101
16. Kasvandik, S., Sillaste, G., Velthut-Meikas, A., Mikelsaar, A. V., Hallap, T., Padrik, P., Tenson, T., Jaakma, Ü., Kõks, S., & Salumets, A. (2015). Bovine sperm plasma membrane proteomics through biotinylation and subcellular enrichment. *Proteomics*, *15*(11), 1906–1920. https://doi.org/10.1002/pmic.201400297
17. Kaya, A., & Memili, E. (2016). Sperm macromolecules associated with bull fertility. *Animal Reproduction Science*, *169*, 88–94. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2016.02.015

18. Kumar, A., Kroetsch, T., Blondin, P., & Anzar, M. (2015). Fertility-associated metabolites in bull seminal plasma and blood serum: 1H nuclear magnetic resonance analysis. *Molecular Reproduction and Development*, *82*(2), 123–131. https://doi.org/10.1002/mrd.22450
19. Kwon, W. S., Rahman, M. S., Ryu, D. Y., Park, Y. J., & Pang, M. G. (2015). Increased male fertility using fertility-related biomarkers. *Scientific Reports*, *5*, 15654. https://doi.org/10.1038/srep15654
20. Li, W., Mi, S., Zhang, J., Liu, X., Chen, S., Liu, S., Feng, X., Tang, Y., Li, Y., Liu, L., Fang, L., Zhang, S., & Yu, Y. (2023). Integrating sperm cell transcriptome and seminal plasma metabolome to analyze the molecular regulatory mechanism of sperm motility in Holstein stud bulls. *Journal of Animal Science*, *101*, skad214. https://doi.org/10.1093/jas/skad214. EDN: https://elibrary.ru/CZOOHG
21. Lombó, M., Ruiz-Díaz, S., Gutiérrez-Adán, A., & Sánchez-Calabuig, M. J. (2021). Sperm metabolomics through nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Animals*, *11*(6), 1669. https://doi.org/10.3390/ani11061669. EDN: https://elibrary.ru/IEMLCS
22. Long, J. A. (2020). The 'omics' revolution: Use of genomic, transcriptomic, proteomic and metabolomic tools to predict male reproductive traits that impact fertility in livestock and poultry. *Animal Reproduction Science*, *220*, 106354. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106354. EDN: https://elibrary.ru/EWSQUZ
23. Longobardi, V., Kosior, M. A., Pagano, N., Fatone, G., Staropoli, A., Vassetti, A., Vinale, F., Campanile, G., & Gasparrini, B. (2020). Changes in bull semen metabolome in relation to cryopreservation and fertility. *Animals*, *10*(6), 1065. https://doi.org/10.3390/ani10061065. EDN: https://elibrary.ru/RGVTKH
24. Menezes, E. B., Velho, A. L. C., Santos, F., Dinh, T., Kaya, A., Topper, E., Moura, A. A., & Memili, E. (2019). Uncovering sperm metabolome to discover biomarkers for bull fertility. *BMC Genomics*, *20*(1), 714. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6074-6. EDN: https://elibrary.ru/JKNSUW
25. Morrell, J. M., Nongbua, T., Valeanu, S., Lima Verde, I., Lundstedt-Enkel, K., Edman, A., & Johannisson, A. (2017). Sperm quality variables as indicators of bull fertility may be breed dependent. *Animal Reproduction Science*, *185*, 42–52. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2017.08.001
26. Moura, A. A., de Souza, C. E. A., Monaco, E., & Killian, G. J. (2018). Seminal proteins, metabolites and sperm function. *Animal Reproduction*, *15*, 691–702. https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0029
27. Odet, F., Gabel, S., London, R. E., Goldberg, E., & Eddy, E. M. (2013). Glycolysis and mitochondrial respiration in mouse LDHC-null sperm. *Biology of Reproduction*, *88*(4), 95. https://doi.org/10.1095/biolreprod.113.108530

28. Oliveira, B. M., Arruda, R. P., Thomé, H. E., Maturana Filho, M., Oliveira, G., Guimarães, C., Nichi, M., Silva, L. A., & Celeghini, E. C. (2014). Fertility and uterine hemodynamic in cows after artificial insemination with semen assessed by fluorescent probes. *Theriogenology*, *82*(5), 767–772. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2014.06.007
29. Pang, F., Sheng, Y., Gao, L., Rushdi, H. E., Loor, J. J., Tian, Q., & Liu, S. (2025). Seminal plasma metabolomics and sperm lipidomics profiles of bull semen with different total progressive motile sperm count. *Journal of Animal Science*, *103*, skaf012. https://doi.org/10.1093/jas/skaf012. EDN: https://elibrary.ru/QRPPXQ
30. Rodríguez-Martínez, H. (2013). Semen evaluation techniques and their relationship with fertility. *Animal Reproduction*, *10*(3), 148–159.
31. Rutten, C. J., Steeneveld, W., Vernooij, J. C. M., Huijps, K., Nielen, M., & Hogeveen, H. (2016). A prognostic model to predict the success of artificial insemination in dairy cows based on readily available data. *Journal of Dairy Science*, *99*(8), 6764–6779. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10935
32. Saraf, K. K., Kumaresan, A., Dasgupta, M., Karthikkeyan, G., Prasad, T. S. K., Modi, P. K., Ramesha, K., Jeyakumar, S., & Manimaran, A. (2020). Metabolomic fingerprinting of bull spermatozoa for identification of fertility signature metabolites. *Molecular Reproduction and Development*, *87*(6), 692–703. https://doi.org/10.1002/mrd.23354. EDN: https://elibrary.ru/LLKLHS
33. Talluri, T. R., Kumaresan, A., Sinha, M. K., Paul, N., Ebenezer Samuel King, J. P., & Datta, T. K. (2022). Integrated multi-omics analyses reveals molecules governing sperm metabolism potentially influence bull fertility. *Scientific Reports*, *12*(1), 10692. https://doi.org/10.1038/s41598-022-14589-w. EDN: https://elibrary.ru/CRPBET
34. Velho, A. L. C., Menezes, E., Dinh, T., Kaya, A., Topper, E., Moura, A. A., & Memili, E. (2018). Metabolomic markers of fertility in bull seminal plasma. *PLoS One*, *13*(4), e0195279. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195279
35. Williams, H. L., Mansell, S., Alasmari, W., Brown, S. G., Wilson, S. M., Sutton, K. A., Miller, M. R., Lishko, P. V., Barratt, C. L., Publicover, S. J., & Martins da Silva, S. (2015). Specific loss of CatSper function is sufficient to compromise fertilizing capacity of human spermatozoa. *Human Reproduction*, *30*(12), 2737–2746. https://doi.org/10.1093/humrep/dev243
36. Wood, P. L., Scoggin, K., Ball, B. A., Troedsson, M. H., & Squires, E. L. (2016). Lipidomics of equine sperm and seminal plasma: Identification of amphiphilic (O-acyl)-ω-hydroxy-fatty acids. *Theriogenology*, *86*(5), 1212–1221. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.012

37. Zhang, R., Wang, X., Liu, R., et al. (2025). Proteomics and metabolomics analyses of mechanism underlying bovine sperm cryoinjury. *BMC Genomics*, *26*, 63. https://doi.org/10.1186/s12864-025-11258-w. EDN: https://elibrary.ru/VRKFDG

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ермилов Антон Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
ООО «Вестгрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
de_lamak@mail.ru

Траспов Алексей Александрович, кандидат биологических наук, биоинформатик
ООО «Вестгрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
Traspovalex@gmail.com

Бакоев Фаридун Сирожидинович, биоинформатик
ООО «Вестгрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
bakoevfaridun@yandex.ru

Чесноков Дмитрий Владимирович, специалист по научной работе
ООО «Вестгрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
chesnokovdmitrii@yandex.ru

Панова Анна Сергеевна, специалист по научной работе
ООО «Вестгрэйд ЛТД»

1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
annak_2000@mail.ru

Кузнецов Александр Борисович, кандидат медицинских наук, заместитель директора
ООО «Вестрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
kuz.ab@icloud.com

Костюнина Ольга Васильевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник
ООО «Вестрэйд ЛТД»
1-й Варшавский проезд, 1А, стр. 9, г. Москва, 115201, Российская Федерация
kostolan@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anton A. Ermilov, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
de_lamak@mail.ru
SPIN-code: 6337-6164
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-3327-6680
ResearcherID: NFS-6506-2025

Alexey A. Traspov, Candidate of Biological Sciences, Bioinformatician
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
traspovalex@gmail.com
SPIN-code: 8276-3501
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1618-2577
ResearcherID: E-9968-2017
Scopus Author ID: 57148563100

Faridun S. Bakoev, Bioinformatician
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
bakoevfaridun@yandex.ru

SPIN-code: 3805-5030
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1061-5702
ResearcherID: NFS-5352-2025
Scopus Author ID: 57196701944

Dmitriy V. Chesnokov, Research Specialist
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
chesnokovdmitrii@yandex.ru
SPIN-code: 4092-2258
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-6312-8947
ResearcherID: NFS-3932-2025

Anna S. Panova, Research Specialist
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
annak_2000@mail.ru
SPIN-code: 9976-4375
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-6568-1614
ResearcherID: GWR-1710-2022

Alexander B. Kuznetsov, Candidate of Medical Sciences, Deputy Director
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
kuz.ab@icloud.com
SPIN-code: 7150-7618
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5927-6704
ResearcherID: L-6991-2017
Scopus Author ID: 56673459400

Olga V. Kostyunina, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher
Westtrade LTD LCC
1A, build. 9, 1st Varshavsky proezd, Moscow, 115201, Russian Federation
kostolan@yandex.ru
SPIN-code: 7150-7618
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8206-3221
ResearcherID: IZP-7838-2023
Scopus Author ID: 57148576900

Поступила 10.05.2025
После рецензирования 05.06.2025
Принята 25.06.2025

Received 10.05.2025
Revised 05.06.2025
Accepted 25.06.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317 **EDN: EGAJXT**
УДК 612.821.3:159.99

CC BY NC ND

Научная статья

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА СТУДЕНТОВ ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Н.В. Звягина, А.И. Талеева, К.В. Новоселова, А.С. Черкасова, Т.Ч. Чанг, Н.В. Попов

Аннотация

Обоснование. Когнитивная деятельность с ограничение времени расценивается как деятельность в условиях стресса. Студенты в процессе обучения часто сталкиваются с необходимостью решать учебные задачи в сжатые сроки. Исследование БЭА мозга по параметрам спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ студентов и успешности когнитивной деятельности в условиях цейтнота дополнит представления о нейрофизиологических механизмах реализации такой деятельности, позволит выявить ЭЭГ корреляты поискового чтения с ограничением времени.

Цель. Изучить биоэлектрическую активность мозга студентов при когнитивной деятельности с ограничением времени.

Материалы и методы. Обследовано 30 студентов САФУ имени М.В. Ломоносова (средний возраст 19 лет). Исследовали БЭА головного мозга студентов в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами, при когнитивной деятельности без и с ограничением времени с фиксацией успешности выполнения когнитивных задач. Анализ БЭА головного мозга студентов проводили по параметрам средней спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ при помощи программы Brainstorm.

Результаты. При поисковом чтении, независимо от условий, наблюдаются специфические для данной функции изменения СМ основных ритмов ЭЭГ, которые усиливаются при деятельности с ограничением времени. Такие изменения БЭА головного мозга сопровождают увеличение скорости выполнения когнитивного задания (в пределах 10-20%) и рост количества ошибок в 2,5 раза.

Заключение. Выявленные изменения БЭА мозга маркируют более напряжённую когнитивную деятельность в условиях цейтнота и эмоциональный компонент в ответ на стресс.

Ключевые слова: когнитивная деятельность; биоэлектрическая активность; спектры мощности основных ритмов ЭЭГ; электроэнцефалограмма; ограничение времени; стресс

Для цитирования. Звягина, Н. В., Талеева, А. И., Новоселова, К. В., Черкасова, А. С., Чанг, Т. Ч., & Попов, Н. В. (2025). Биоэлектрическая активность мозга студентов при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 51-75. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317

Original article

BIOELECTRICAL BRAIN ACTIVITY IN STUDENTS DURING COGNITIVE ACTIVITY UNDER TIME LIMITATION

N.V. Zvyagina, A.I. Taleeva, K.V. Novoselova, A.S. Cherkasova, T.C. Chang, N.V. Popov

Abstract

Background. Time-constrained cognitive activity is regarded as activity under stress. Students in the educational process often face the need of solving learning tasks in a short time. The study of bioelectrical brain activity according to the parameters of spectral power of the main EEG rhythms in students and success of cognitive activity in conditions of time pressure will contribute to the understanding of neurophysiological mechanisms of performing such activity, will allow to reveal EEG correlates of search reading with time constraint.

Purpose. Studying of the bioelectrical activity of students' brain during cognitive activity with time limitation.

Materials and methods. 30 students of Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov (average age 19 y.o.) were examined. The bioelectrical activity of the students' brain was investigated in the state of quiet wakefulness with open eyes, during cognitive activity without and with time limitation with fixation of success rate of cognitive tasks performance. The bioelectrical activity of the students' brain was analyzed by the parameters of the average spectral power of the main EEG rhythms using the Brainstorm program.

Results. During search reading regardless of the conditions function-specific changes in the spectral power of the main EEG rhythms are observed, which intensify during time-limited activity. Such changes in brain activity accompany an increase in the speed of cognitive task performance (within 10-20%) and a 2.5 rise in the number of errors.

Conclusion. The observed changes in bioelectrical brain activity mark more intense cognitive activity in conditions of time pressure and emotional component in response to stress.

Keywords: cognitive activity; bioelectrical brain activity; spectral power of the main EEG rhythms; electroencephalogram; time limitation; stress

For citation. Zvyagina, N. V., Taleeva, A. I., Novoselova, K. V., Cherkasova, A. S., Chang, T. C., & Popov, N. V. (2025). Bioelectrical brain activity in students during cognitive activity under time limitation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 51-75. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317

Введение

В условиях информационной перегруженности особое значение имеют исследования эффективности когнитивной деятельности в условиях цейтнота. Известно, что дефицит времени, оценивается как стресс-фактор, который можно рассматривать в качестве дополнительной нагрузки, вызывающей напряжение в работе многих физиологических систем организма, в том числе и головного мозга [3; 26]. Временные ограничения могут привести к снижению качества выполнения задач, повышению уровня стресса, изменению стратегий обработки информации [2; 7]. В таких условиях мозговая деятельность приобретает особое значение, поскольку от этого зависит способность быстро принимать решения и решать задачи, эффективно использовать имеющиеся физиологические ресурсы.

В данной парадигме весьма оправданным является использование методов регистрации биоэлектрической активности головного мозга в процессе когнитивной деятельности с ограничением времени. Современные исследования в данном направлении охватывают некоторые аспекты влияния временных ограничений на процессы внимания, памяти, принятие решений, когнитивный контроль [14; 20]. В частности, выявлено, что представители с высокой активностью префронтальной коры лучше справляются с заданиями в условиях дефицита времени. Префронтальная кора играет ключевую роль в контроле внимания, рабочей памяти и принятии решений [22; 24]. Именно эта область мозга подвергается наибольшей нагрузке при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени.

В реализации разных когнитивных функций ключевую роль играют нейронные ансамбли коры головного мозга, активность которых маркируют осцилляции основных ритмов ЭЭГ. Однако локализация изменений биоэлектрической активности (БЭА) при поисковом чтении в условиях цейтнота, как именно эмоции и стресс связаны со спектральными характеристиками ЭЭГ требуют дальнейших исследований. Интересна связь этих изменений с параметрами эффективности деятельности. Подобные исследования позволят дополнить представления о нейрофизиологических особенностях поисковой когнитивной деятельности в условиях лимита времени, о процессах адаптации мозга к таким стрессовым воздействиям, об эффектах временного ограничения на точность и скорость решения когнитивной задачи.

Цель исследования – изучить биоэлектрическую активность мозга студентов при когнитивной деятельности с ограничением времени.

Методика и метод исследования

В исследовании участвовали 30 студентов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (средний возраст 19±0,5 лет, по 15 человек в каждой половой группе). На момент обследования участники отмечали физическое, психическое и социальное благополучие. Критериями исключения были такие факторы, как наличие в анамнезе хронических заболеваний, психических расстройств, черепно-мозговых травм, приём лекарственных препаратов. Исследование проводили с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации 2024 г. при наличии письменного информированного согласия на участие в исследовании и после предварительного ознакомления с процедурой исследования. Факторы, способные повлиять на результаты исследования, были сведены к минимуму: обследование осуществлялось вне периода сессии, в первой половине дня, индивидуально, в специально оборудованном кабинете, изолированном от постороннего шума.

Исследовали БЭА головного мозга студентов при когнитивной деятельности в двух временных режимах с фиксацией успешности выполнения когнитивных задач. ЭЭГ записывали в трех состояниях: фоновое состояние с открытыми глазами при визуальной фиксации точки на экране монитора (не менее 120 сек); 1-я функциональная проба (1-я серия стимулов) – решение когнитивной задачи без ограничения времени; 2-я функциональная проба (2-я серия стимулов) – решение когнитивной задачи с ограничением времени (по 120 секунд).

Когнитивная деятельность заключалась в поиске и подсчете определенной буквы в предложении в разных временных режимах – без ограничения времени и в условиях временного лимита. В качестве стимульного материала в обоих пробах использовали повествовательные предложения, отобранные генератором случайных предложений из русской литературы. Стимульный материал не содержал иностранные буквы и слова, устаревшую лексику. Количество слов во всех предложениях находилось в диапазоне 11–13, не включая предлоги и местоимения, количество слогов в каждом слове не превышало 5. В качестве поисковых букв использовали набор конкретных букв (16), который в случайном порядке чередовался. Общее количество слайдов с предложениями в обеих сериях составляло 50 (по 25 слайдов с заданиями на каждую серию). Общее количество поисковых букв на каждом слайд варьировалось от 1 до 4. В отобранных предложениях отсутствовали слова с надстрочными (буква «Й») и подстрочными буквенными знаками (буквы «Ц», «Щ», «Д») в качестве поисковых, поскольку такие буквы быстрее дифференцируются и различаются в процессе зрительного восприятия текста, что упрощает когнитивную задачу [8]. Задание 1-й функциональной пробы студенты выполняли в произвольном темпе, при этом при обработке результатов учитывали объем заданий, выполненных за 120 сек – было скрытое ограничение по времени, о котором обследуемый не был проинформирован. Выполнение заданий серии 2 осуществляли с ограничением по времени – 120 секунд, о чем обследуемые были проинформированы и могли отслеживать оставшееся время по таймеру на экране монитора. Смену предложений осуществляли после озвучивания количества искомой буквы. Для устранения эффекта утомления между сериями был сделан 2-х минутный перерыв. Фиксировали объем выполненного задания и ошибки для оценки эффективности решения когнитивной задачи.

ЭЭГ регистрировали электроэнцефалографом «Neuroscop-416» (НПФ Биола). Электроды размещали в соответствии с международной схемой «10–20», использовали 19 активных электродов и 2 референтных ушных электрода (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, O2, T3, T4, T5, T6; рис.1–IV) [28].

Анализ БЭА головного мозга студентов проводили с учетом изменений частотно-амплитудных параметров основных ритмов ЭЭГ при помощи программы Brainstorm (Mat Lab R2010a). Из ЭЭГ в фоновом состоянии и при когнитивной деятельности в разных временных условиях с помощью метода независимых компонент, удаляли артефакты и помехи с со-

хранением значимой части ЭЭГ сигнала. В качестве модели, отражающей топографическое строение коры больших полушарий, использовали стандартный анатомический шаблон ICBM152 anatomy. Выделение структур и цитоархитектонических полей Бродмана, на которых были выявлены максимальные статистически значимые различия спектральной мощности (СМ) усредненного ритма, осуществляли с помощью системы координат Монреальского неврологического института (MNI). Математическую обработку полученных данных осуществляли на основе расчета средней спектральной мощности по методу Уэлча, эпоха анализа составила 4 секунды с перекрытием 50%. Полученные значения данного показателя переводили в относительные величины для диапазонов частот тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц) и бета (13-30 Гц) ритмов.

Статистический анализ полученных данных осуществляли в программе IBM SPSS Statistics 22.0. Все изучаемые показатели проходили процедуру проверки на нормальность распределения с применением критерия Шапиро-Уилка. Было установлено, что распределение выборки не является нормальным, в связи с этим далее использовали непараметрические критерии. Оценка достоверности отличий параметров ЭЭГ и успешности выполнения когнитивной задачи студентами в разных временных режимах проводили с использованием непараметрического критерия знаковых рангов Уилкоксона. Статистически значимыми считали отличия при величине вероятности ошибочного принятия нулевой гипотезы $p < 0,05$.

При сравнении изучаемых параметров с учётом пола статистически значимых отличий не было обнаружено, в связи с чем далее будут представлены общие данные по выборке.

Результаты исследования

Результаты эффективности решения когнитивной задачи студентами в разных временных условиях (по количеству допущенных ошибок и объему выполненного задания) представлены в таблице 1. Анализ данных показал, что временные ограничения при поисковом чтении влияют на успешность его выполнения. У всех представителей при введении временного лимита количество ошибок увеличилось более чем в 2,5 раза, объем выполненного задания также достоверно увеличился (табл. 1).

Анализ биоэлектрической активности головного мозга при когнитивной деятельности по сравнению с фоновым состоянием выявил статистически значимые изменения спектров мощности ритмических составляющих ЭЭГ функционально значимых областей (рисунок 1, I-III).

Таблица 1.

Успешность выполнения когнитивной задачи студентами в разных временных условиях

N	Условия выполнения задания	Количество ошибок Me (Q1;Q3)	P	Объем выполненного задания – количество предложений? Me (Q1;Q3)	P
1	Без ограничения времени	1,5 (0,0; 2,2)	0,0001	10,0 (8,7; 12,0)	0,0001
2	С ограничением времени	4,0 (3,0; 6,0)		12,0 (10,0; 14,0)	

Примечание: P - отличия статистически значимые отличия в ситуациях с/без ограничения времени.

Наблюдалось повышение спектральной мощности тета-ритма в районе лобных извилин и затылочной коры (рис. 1-I). Максимальные значения СМ зафиксированы в триангулярной области нижней лобной извилины сорок пятого поля по Бродману, в правом (координаты MNI 56; 31; -1) и в левом (координаты MNI -57; 34; 1) полушариях головного мозга. Также максимальные изменения СМ этого ритма выявлены в латерально–затылочной борозде правой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману, (координаты MNI 22, -105, -2).

При когнитивной деятельности в произвольном темпе по сравнению фоновым состоянием выявлено снижение СМ альфа-ритма (рис. 1-II). Максимальное снижение зафиксировано в первичной соматосенсорной области постцентральной извилины первого (1) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -38; 82) и левого (координаты MNI -10; -37; 81) полушарий головного мозга; первичной моторной коре верхних отделов теменной доли постцентральной извилины седьмого поля по Бродману правого (координаты MNI 8; -78; 54) и левого (координаты MNI -10; -79; 57) полушарий; в зрительной области затылочной доли верхней теменной извилины девятнадцатого (19) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -94; 31) и левого (координаты MNI -7; -101; 19) полушарий; в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману (координаты MNI -30; -101; -5); в средней височной извилине левого полушария двадцать первого (21) поля по Бродману (координаты MNI -71; -25; -13) (рис. 1-II).

Когнитивная деятельность в обычных временных условиях сопровождалась снижением СМ бета-ритма в постцентральной и теменной извилинах (рис.1-III). Максимальное снижение СМ зарегистрировано в первичной соматосенсорной области первого поля по Бродману правого (координаты

MNI 12; -38; 82) и левого (координаты MNI -5; -33; 77) полушарий головного мозга; в первичной моторной коре теменной доли седьмого поля по Бродману правого (координаты MNI 6; -86; 41) и левого (координаты MNI -8; -80; 52) полушарий головного мозга, а также в зрительной области затылочной доли девятнадцатого (19) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -94; 31) и левого (координаты MNI -7; -101; 19) полушарий головного мозга.

Поскольку дефицит времени, оценивается как стресс-фактор, логично предположить, что когнитивная деятельность в условиях цейтнота будет сопровождаться изменениями биоэлектрической активности отделов головного мозга, ответственных за реализацию поискового чтения и в структурах, которые активируются в стрессовых условиях.

При деятельности в условиях лимита времени наблюдалось локальное повышение спектральной мощности тета-ритма в лобных и затылочных участках коры больших полушарий головного мозга (рисунок 2-1). Максимальные значения зарегистрированы в правой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману (координаты MNI 26; -102; -1), а также в триангулярной части сорок пятого поля по Бродману, в правом полушарии головного мозга (координаты MNI 58; 32; 3). При когнитивной деятельности с ограничением времени зафиксировано снижение СМ альфа-ритма, топографически совпадающее с изменениями при когнитивной деятельности без ограничения времени (рис. 2- II).

Наибольшие изменения СМ при деятельности в условиях ограничения времени коснулись бета ритма (рис. 2 – III). Отмечено усиление СМ бета-ритма в латерально–затылочной борозде правой вторичной зрительной области 18 поля по Бродману (координаты MNI 21; -104; -3).

Наиболее информативным в отношении изменений ритмической активности мозга при когнитивной деятельности в разных временных условиях является сравнение показателей БЭА головного мозга при поисковом чтении без и с ограничением времени. Такое сравнение позволит выявить изменения БЭА головного мозга, связанные с ускорением деятельности и эмоциональным (стрессовым) компонентом в ситуации временного лимита. На мэппингах мозга отчетливо видны достоверные изменения (увеличение) СМ по всем изучаемым ритмам ЭЭГ (рис.3).

При деятельности в условиях ограничения времени по сравнению с работой без ограничения времени наблюдалось увеличение СМ тета-ритма в первичной соматосенсорной области первого поля по Бродману правого полушария головного мозга (координаты MNI 20; -22; 77), в первичной моторной коре верхних отделов теменной доли седьмого поля по Бродману правого полушария головного мозга (координаты MNI 15; -22; 79) (рис.3-I)

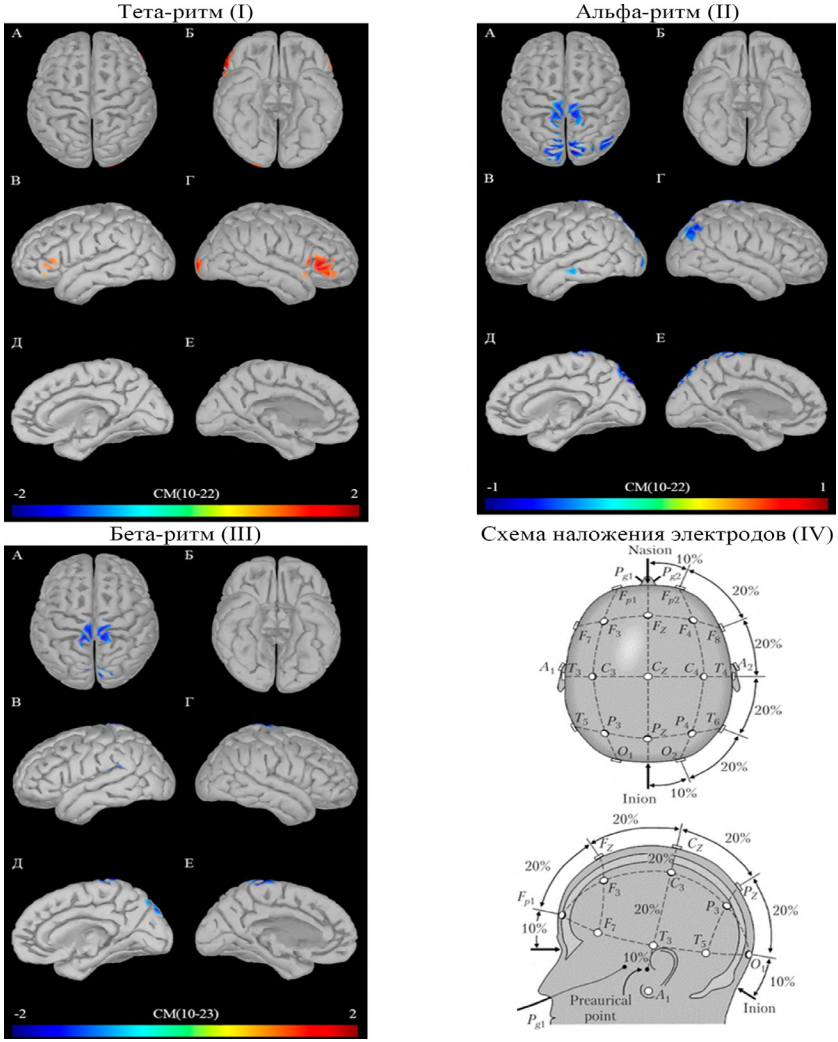
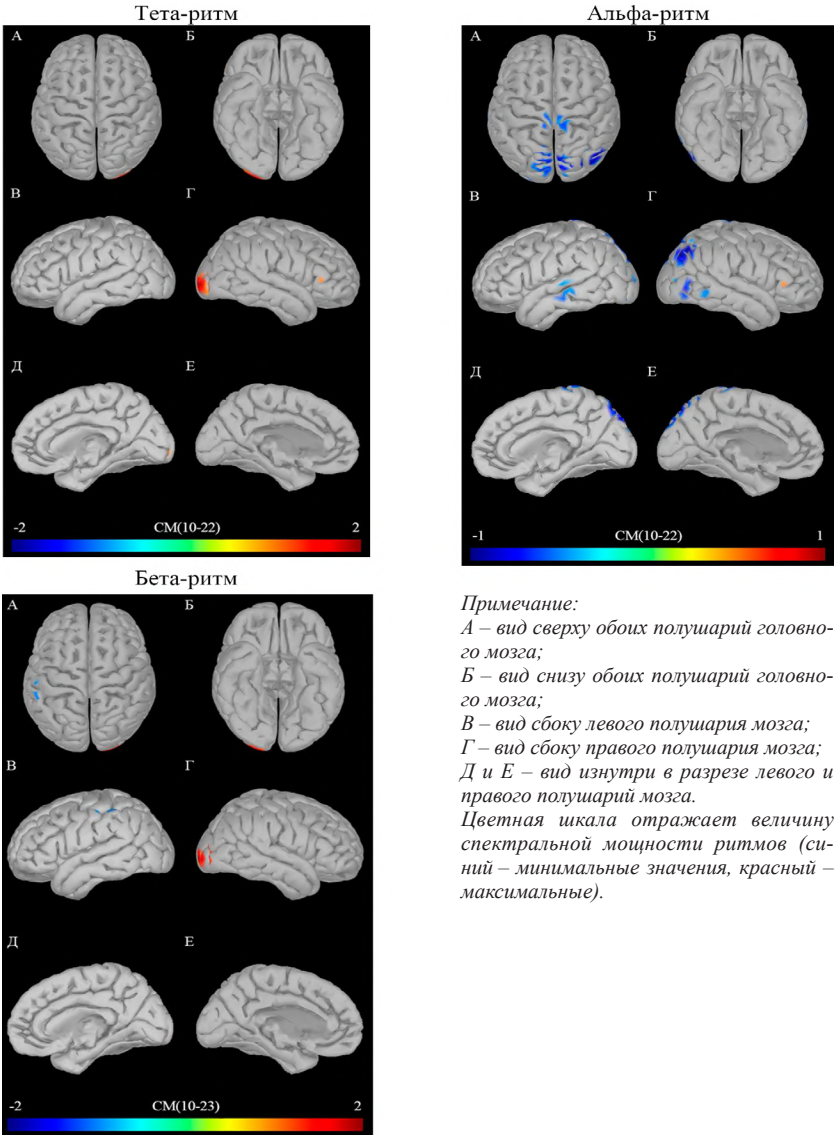


Рис. 1. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи без ограничения времени по сравнению с фоновым состоянием.

Примечание: А - вид сверху обоих полушарий головного мозга; Б – вид снизу обоих полушарий головного мозга; В – вид сбоку левого полушария мозга; Г – вид сбоку правого полушария мозга; Д и Е – вид изнутри в разрезе левого и правого полушарий мозга. Цветная шкала отражает величину спектральной мощности ритмов (синий -минимальные значения, красный – максимальные).



Примечание:
А – вид сверху обоих полушарий головного мозга;
Б – вид снизу обоих полушарий головного мозга;
В – вид сбоку левого полушария мозга;
Г – вид сбоку правого полушария мозга;
Д и Е – вид изнутри в разрезе левого и правого полушарий мозга.
Цветная шкала отражает величину спектральной мощности ритмов (синий – минимальные значения, красный – максимальные).

Рис. 2. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с фоновым состоянием.

Относительно альфа-ритма отмечается достоверное увеличение СМ в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области восемнадцатого поля по Бродману (координаты MNI -49; -86; 1) (рисунок 3-II).

Изменение показателей СМ бета-ритма отражено на рисунке 3-III. Достоверное усиление СМ бета ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с деятельностью в произвольном темпе зафиксировано в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилине: во вторичной зрительной области восемнадцатого поля по Бродману правого (координаты MNI 54; -75; -1) и левого (координаты MNI -51; -82; -2) полушарий головного мозга; в теменной доле (часть области Вернике тридцать девятого поля по Бродману левого полушария (координаты MNI -46; -79; 35); в средней височной извилине двадцать первого поля по Бродману правого (координаты MNI 66; -56; 6) и левого (координаты MNI -65; -59; 1) полушарий головного мозга.

Обсуждение

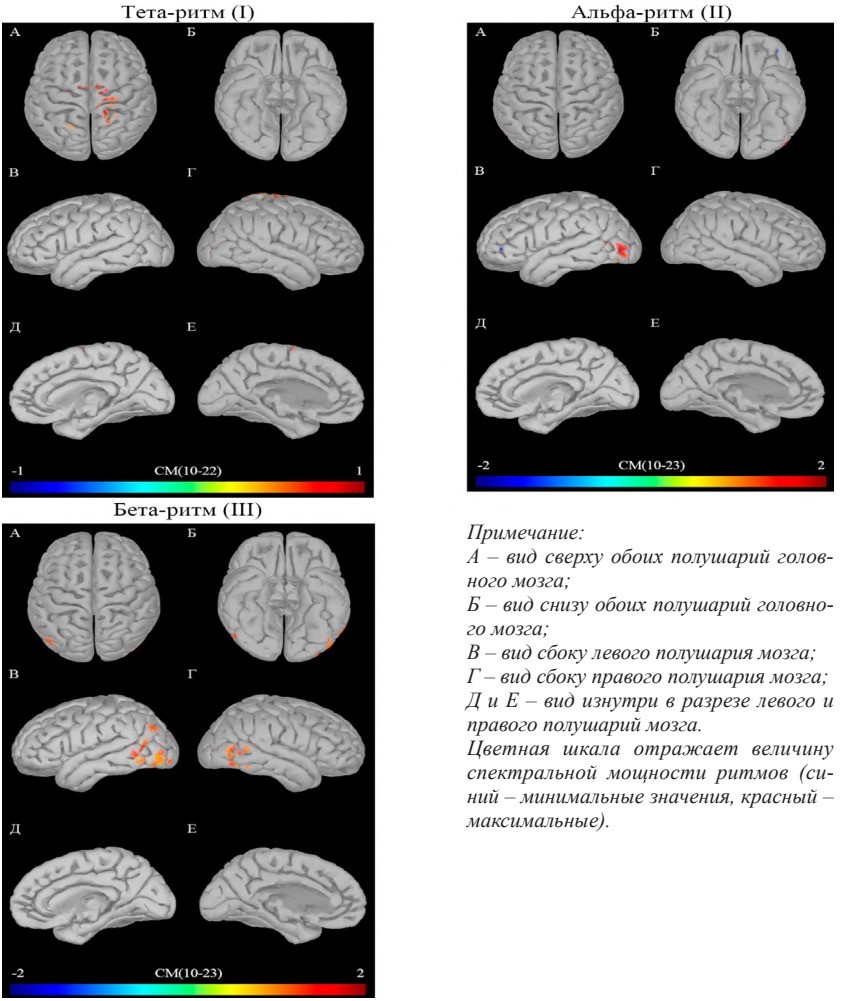
Как показало исследование успешности выполнения когнитивного задания, временные ограничения и визуализация оставшегося времени в виде активного таймера с отсчетом оставшегося времени являются мотивирующим фактором для увеличения скорости/объема решения когнитивной задачи, однако качество выполнения значительно снижается.

Любая когнитивная деятельность сопровождается изменениями БЭА мозга по сравнению с фоном. При поисковом чтении в произвольном ритме выявлены изменения СМ тета-, альфа- и бета-ритмов в специфических для данной деятельности областях полушарий головного мозга.

СМ тета-осцилляций достоверно увеличиваются в речевой и зрительной зонах. Известно, что тета-ритм связан с реализацией когнитивных функций и отражает рабочее напряжение человека, готовность к выполнению задания, повышенный уровень внимания. В научной литературе описаны изменения мощности тета-ритма в 45 поле при осуществлении лексического поиска и принятия лексических решений. Изменения параметров БЭА тета-ритма с такой локализацией связывают с процессом извлечения слов из памяти.

Таким образом, решение поисковой задачи при чтении предложений ожидаемо сопровождается активностью в речевых центрах коры. Статистически значимые изменения параметров спектральной мощности тета-ритма в зрительной зоне коры полушарий головного мозга ожидаемы при восприятии текстовой зрительной информации, поскольку функционально данная область коры связана с формированием зрительного образа и его пространственным расположением [16]. Также можно предположить, что появление

медленных тета-волн при выполнении задания (столкновение с новым, рассогласование) вызвано необходимостью формирования поведенческой адаптации нового типа, что сопровождается повышенной эмоциональностью и увеличением вклада низкодифференцированных систем [4; 6].



Примечание:
А – вид сверху обоих полушарий головного мозга;
Б – вид снизу обоих полушарий головного мозга;
В – вид сбоку левого полушария мозга;
Г – вид сбоку правого полушария мозга;
Д и Е – вид изнутри в разрезе левого и правого полушарий мозга.
Цветная шкала отражает величину спектральной мощности ритмов (синий – минимальные значения, красный – максимальные).

Рис. 3. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с когнитивной деятельностью без временного ограничения.

Снижение СМ альфа-ритма при решении когнитивной задачи без ограничения времени по сравнению с фоном свидетельствует о депрессии ритма покоя в специфических для изучаемой когнитивной деятельности участках коры больших полушарий головного мозга, вероятно, ослабление мощности альфа-диапазона освобождает необходимые для решения задачи области от торможения [10]. Известно, что снижение СМ альфа-ритма в первичной соматосенсорной области связано с получением и интерпретацией информации, которая исходит в том числе от орофациальной мускулатуры. При чтении про себя могут проявляться непроизвольные микродвижения артикуляционных мышц, которые активизируют соматосенсорную область и угнетают альфа-ритм [1]. Снижение СМ альфа-ритма в зрительных областях связано с повышенной нагрузкой при распознавании зрительного образа – при поисковом чтении осуществляется анализ формы, распознавание и различение букв. Участки зрительной ассоциативной коры, локализованной в височной доле, также вовлечены в обработку визуальной информации (поле 21 в средней височной извилине) [9; 12; 24]

Как показали наши исследования, когнитивная деятельность в обычных временных условиях сопровождалась снижением СМ бета-ритма в постцентральной и теменной извилинах. Известно, что бета- ритм является маркером активной когнитивной деятельности, концентрации внимания и процессов памяти [17]. В нашем случае наблюдалось снижение СМ бета активности. Возможно, в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами (фоновое состояние) мозг находится в состоянии ожидания, поддерживая общий уровень активации мозга и диффузное внимание, что и маркируется бета ритмом, а при когнитивной деятельности происходит ингибирование фоновых процессов, в том числе бета активности, и перераспределение ресурсов мозга для выполнения когнитивной задачи [15].

При введении ограничивающего временного фактора в процессе поискового чтения по сравнению с фоновым состоянием, также были зафиксированы изменения СМ тета-, альфа- и бета-ритмов с разной направленностью, локализацией и интенсивностью. Топографически увеличение СМ тета-ритма и снижение СМ альфа-ритма задевают те же участки коры головного мозга, что и при деятельности без временных ограничений, но данные изменения стали более локальны и по тета-ритму смещены в правое полушарие.

Наибольшие изменения СМ при деятельности в условиях ограничения времени коснулись бета-ритма в полях 18 и 19 по Бродману. Вторичные зрительные области (поля 18 и 19) обеспечивают более активную и пол-

ную оценку зрительной информации. Поле 18 также именуется как центр восприятия письменной речи. При выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с фоном, несомненно, увеличивается нагрузка на зрительный анализатор [16].

Сравнение ритмической активности мозга при когнитивной деятельности в разных временных условиях выявило изменения БЭА головного мозга, связанные с эмоциональным (стрессовым) компонентом в ситуации временного лимита. СМ по всем изучаемым ритмам ЭЭГ имели достоверное увеличение.

Усиление осцилляций СМ тета-ритма наблюдалось в первичной соматосенсорной и моторной коре правого полушария головного мозга Активацию тета-ритма традиционно связывают с деятельностью гиппокампа и активацией лобной коры [5; 27]. В процессе деятельности с ограничением времени увеличивается нагрузка на оперативную память, что и вызывает рост СМ тета-ритма. При интенсивном использовании процессов памяти такие изменения могут наблюдаются и в других областях коры головного мозга. Локализация их в теменной коре и постцентральной извилине, вероятно, связана с обработкой сенсорной информации и активацией внимания. Известно, что при усложнении задачи или/и условий ее выполнения тета-активность усиливается, особенно если когнитивная деятельность требует длительного поддержания внимания. Также определенное значение имеют и лимитирующие факторы – ограничение времени работает как стресс-фактор. Выявлено, что в этих условиях происходит выделение кортизола и перераспределение мозговой активности, в том числе по тета-ритму. Смещение этих изменений в правое полушарие связано с его большей чувствительностью к стрессовым воздействиям. Кроме того, повышение мощности тета-ритма в правополушарных отведениях характерно при переходе от решения образных и пространственных к решению вербальных задач. Правое полушарие специализируется на обработке информации, которая выражается не в словах, а в символах и образах. Вероятно, большее увеличение мощности тета-ритма в правом полушарии связано с активностью процессов внимания, так как обследуемый пытался различить, дифференцировать букву на время [21; 22].

Увеличение СМ альфа-ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с аналогичной деятельностью в произвольном ритме зафиксировано в латерально-затылочной борозде левого полушария. Ка известно, альфа-ритм – это ритм спокойного бодрствования с закрытыми глазами. Наличие альфа-ритма при регистрации ЭЭГ наблюдается

в тех областях, которые не занимаются активно обработкой информации в данный момент времени. Однако, увеличение СМ альфа-ритма с данной локализацией может быть связано с концентрацией внимания при более напряженной когнитивной деятельности, что соответствует условиям выполнения поискового чтения с ограничением времени. Локализация этих изменений слева связана со спецификой деятельности – левое полушарие ответственно за вербальные функции (включая чтение и распознавание букв). Кроме того, усиление представленности альфа-ритма связывают с компенсаторными процессами в мозге при деятельности в условиях стресса: повышение торможения посторонних сигналов через альфа-активность для оптимизации работы отделов мозга, ответственных за поисковое чтение в условиях цейтнота [15; 18].

Достоверное усиление СМ бета-ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с деятельностью в произвольном темпе зафиксировано в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилин: во вторичной зрительной области правого и левого полушарий головного мозга; в теменной доле левого полушария и в средней височной извилине правого и левого полушарий головного мозга. Увеличение мощности бета-частот в ЭЭГ указанных областей головного мозга связано с их участием в регуляции уровня бодрствования и внимания, анализе зрительной информации и процессах «категоризации», реакциях на новые стимулы. Все эти процессы активируются не только деятельностью, но и стрессовыми условиями: ограничение времени стимулирует активацию когнитивной деятельности для быстрого выполнения задачи, что сопровождается усилением СМ бета ритма и приводит к более эффективному использованию доступных ресурсов мозга [4, 18] Повышение спектральной мощности бета-ритма в затылочной области, несомненно, связано с возрастающей активностью зрительного анализатора. Одна часть данного центра является проекционной зоной, а другая обеспечивает зрительное ориентирование в пространстве, а также хранение и распознавание уже известных зрительных образов. Повышение СМ бета-ритма в 39-ом поле по Бродману связано с различением письменной речи. Так, например, при повреждении нижней теменной дольки сохраняется зрение, но теряется способность читать (алексия), т. е. анализировать написанные буквы и слагать из них слова и фразы [11]. Также имеются сведения об ингибиторной роли бета-ритма при поисковой когнитивной деятельности: бета-активность растет в специфических для данной деятельности областях полушарий головного мозга, исключая влияние на активность мозга

второстепенных деталей, что позволяет сосредоточиться на решении основной задачи [29]. Характерным признаком проявления бета-активности является и состояние настороженности, волнения при интенсивной умственной деятельности, например, в условиях ограничения времени. Кроме того, ета-избыточность может привести к чрезмерной активации нервных структур и снижению концентрации внимания и эффективности когнитивной деятельности [13].

Заключение

При выполнении поискового задания в процессе чтения, независимо от условий, наблюдаются специфические для данной функции изменения СМ основных ритмов ЭЭГ, которые усиливаются при деятельности с ограничением времени, маркируя тем самым более напряжённую когнитивную деятельность, сопровождаемую эмоциональным компонентом в ответ на стресс. Тета-осцилляции при данной деятельности выражены в первичной соматосенсорной области и в первичной моторной коре верхних отделов теменной доли правого полушария головного мозга; альфа – в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области; бета – в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилин. Такие изменения БЭА головного мозга сопровождают увеличение скорости выполнения когнитивного задания (в пределах 10-20%), но при этом количество ошибок возрастает в 2,5 раза. Очевидно, что деятельность в условиях цейтнота увеличивает нагрузку на рабочую память, перегружая когнитивные ресурсы мозга, интенсифицирует БЭА головного мозга в ответ на стресс, снижая точность выполнения задания.

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.

Список литературы

1. Гуляев, С. А. (2021). Электроэнцефалография и исследования функциональной активности головного мозга. *Русский журнал детской неврологии*,

(4), 59–68. https://doi.org/10.17650/2073-8803-2021-16-4-59-68. EDN: https://elibrary.ru/KASUVX

2. Завалишина, Д. Н., & Ломов, Б. Ф. (1977). Деятельность оператора в условиях дефицита времени. В *Инженерная психология* (с. 190–218). Москва. EDN: https://elibrary.ru/XAPHZT
3. Канеман, Д. (2006). *Внимание и усилие*. Москва: Смысл, 287 с.
4. Каратыгин, Н. А., Коробейникова, И. И., Венерина, Я. А., Венерин, А. А., & Александров, Ю. И. (2022). Связь спектральных характеристик тета-ритма ЭЭГ с результативностью выполнения когнитивного теста «n-back». *Экспериментальная психология*, *15*(2), 95–110. https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150208. EDN: https://elibrary.ru/TVBXJH
5. Кичигина, В. Ф. (2019). Нарушения тета- и гамма-осцилляций в мозге с патологиями, характерными для болезни Альцгеймера и височной эпилепсии. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, *69*(4), 395–412. https://doi.org/10.1134/S0044467719040075. EDN: https://elibrary.ru/MPTKLP
6. Коробейникова, И. И. (2016). Спектральные характеристики тета-ритма ЭЭГ и эффективность интеллектуальной деятельности. *Тюменский медицинский журнал*, (2), 51–55. EDN: https://elibrary.ru/WHMREH
7. Меркулова, А. Г., & Калинина, С. А. (2017). Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к лётной деятельности. *Гигиена и санитария*, (8), 752–755. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755. EDN: https://elibrary.ru/ZGCTDJ
8. Морозова, Л. В., & Мурин, И. Н. (2013). Психофизиологическая специфика восприятия печатного шрифта. *Arctic Environmental Research*, (3), 76–85. EDN: https://elibrary.ru/RTUMHJ
9. Павленко, В. Б., Аликина, М. А., & Махин, С. А. (2018). Взаимосвязь уровней общего и эмоционального интеллекта с амплитудой альфа- и бета-ритмов ЭЭГ покоя. *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, (3), 134–142. EDN: https://elibrary.ru/VLBZQB
10. Поликанова, И. С., Михеев, И. Н., Леонов, С. В., & Мартынова, О. В. (2024). Возрастные особенности динамики альфа-ритма: краткий обзор. *Клиническая и специальная психология*, *13*(4), 29–50. https://psyjournals.ru/journals/cpse/archive/2024_n4/Polikanova_Mikheev_et_al (дата обращения: 27.02.2024). https://doi.org/10.17759/cpse.2024130402. EDN: https://elibrary.ru/EKRUJA
11. Bonzano, L., Bisio, A., Pedullà, L., & Brichetto, G. (2010). Right inferior parietal lobule activity is associated with handwriting spontaneous. *Frontiers in Neuroscience*, 98–107. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186

12. Gundlach, C., Müller, M. M., Nierhaus, T., Villringer, T., & Sehm, A. (2018). Modulation of somatosensory alpha rhythm by transcranial alternating current stimulation at mu-frequency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 72–80. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00432. EDN: https://elibrary.ru/YJXYXS
13. Haegens, S., Osipova, D., Oostenveld, R., & Jensen, O. (2009). Somatosensory working memory performance in humans depends on both engagement and disengagement of regions in a distributed network. *Human Brain Mapping*, *31*, 26–35. https://doi.org/10.1002/hbm.20842
14. Cavanagh, J. F., & Shackman, A. J. (2015). Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: Meta-analytic evidence. *Journal of Physiology — Paris*, *109*, 3–15. https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2014.04.003
15. Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: Gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 186. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186
16. Kawachi, J. (2017). Brodmann areas 17, 18, and 19 in the human brain: An overview. *Brain Nerve*, 48–60. https://doi.org/10.11477/mf.1416200756
17. Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 137–150. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997
18. Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007
19. Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations — signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, *20*, 156–165. https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.015. EDN: https://elibrary.ru/NAPLRN
20. Maule, A. J., Hockey, G. R., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, *104*, 283–301. https://doi.org/10.1016/s0001-6918(00)00033-0
21. Maurer, U., Brem, S., Liechti, M., Maurizio, S., Michels, L., & Brandeis, D. (2015). Frontal midline theta reflects individual task performance in a working memory task. *Brain Topography*, *28*(1), 127–134. https://doi.org/10.1007/s10548-014-0361-y. EDN: https://elibrary.ru/AJVUKM
22. Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167–202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167
23. Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., Dagher, A., & Lupien, S. J. (2010). Stress regulation in the central nervous sys-

tem: Evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations – 2008 Curt Richter Award Winner. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(1), 179–191. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.02.016. EDN: https://elibrary.ru/NZCQOJ

24. Sarter, M., Gehring, W. J., & Kozak, R. (2006). More attention must be paid: The neurobiology of attentional effort. *Brain Research Reviews*, *51*(2), 145–160. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.11.002
25. Sigala, R., Haufe, S., Roy, D., & Dinse, H. R. (2015). The role of alpha-rhythm states in perceptual learning: Insights from experiments and computational models. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 58–67. https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00036
26. Sussman, R. F., & Sekuler, R. (2022). Feeling rushed? Perceived time pressure impacts executive function and stress. *Acta Psychologica*, *229*, 103702. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103702. EDN: https://elibrary.ru/CWTZGU
27. Tan, E., Troller-Renfree, S. V., Morales, S., Buzzell, G. A., McSweeney, M., Antúnez, M., & Fox, N. A. (2024). Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting-state and task-related developmental electroencephalography (EEG) research. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *67*, 101404. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2024.101404. EDN: https://elibrary.ru/YZUPRF
28. Toppi, J., Astolfi, L., Risetti, M., & Anzolin, A. (2018). Different topological properties of EEG-derived networks describe working memory phases as revealed by graph theoretical analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 162–180. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00637
29. Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature Neuroscience*, *14*, 656–661. https://doi.org/10.1038/nn.2773

References

1. Gulyaev, S. A. (2021). Electroencephalography and studies of functional brain activity. *Russian Journal of Child Neurology*, *(4)*, 59–68. https://doi.org/10.17650/2073-8803-2021-16-4-59-68. EDN: https://elibrary.ru/KASUVX
2. Zavalishina, D. N., & Lomov, B. F. (1977). Operator activity under time pressure. In *Engineering Psychology* (pp. 190–218). Moscow. EDN: https://elibrary.ru/XAPHZT
3. Kahneman, D. (2006). *Attention and effort*. Moscow: Smysl, 287 p.
4. Karatygin, N. A., Korobeynikova, I. I., Venerina, Ya. A., Venerin, A. A., & Aleksandrov, Yu. I. (2022). Relationship between spectral characteristics of

EEG theta rhythm and performance in the "n-back" cognitive test. *Experimental Psychology*, *15*(2), 95–110. https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150208. EDN: https://elibrary.ru/TVBXJH

5. Kichigina, V. F. (2019). Disturbances of theta and gamma oscillations in the brain with pathologies characteristic of Alzheimer's disease and temporal lobe epilepsy. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, *69*(4), 395–412. https://doi.org/10.1134/S0044467719040075. EDN: https://elibrary.ru/MPTKLP
6. Korobeynikova, I. I. (2016). Spectral characteristics of EEG theta rhythm and intellectual performance efficiency. *Tyumen Medical Journal*, *(2)*, 51–55. EDN: https://elibrary.ru/WHMREH
7. Merkulova, A. G., & Kalinina, S. A. (2017). Distribution of visual attention in training pilot cadets for flight activities. *Hygiene and Sanitation*, *(8)*, 752–755. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755. EDN: https://elibrary.ru/ZGCTDJ
8. Morozova, L. V., & Murin, I. N. (2013). Psychophysiological specifics of printed font perception. *Arctic Environmental Research*, *(3)*, 76–85. EDN: https://elibrary.ru/RTUMHJ
9. Pavlenko, V. B., Alikina, M. A., & Makhin, S. A. (2018). Relationship between levels of general and emotional intelligence and amplitude of resting-state alpha and beta EEG rhythms. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, *(3)*, 134–142. EDN: https://elibrary.ru/VLBZQB
10. Polikanova, I. S., Mikheev, I. N., Leonov, S. V., & Martynova, O. V. (2024). Age-related features of alpha rhythm dynamics: a brief review. *Clinical and Special Psychology*, *13*(4), 29–50. https://psyjournals.ru/journals/cpse/archive/2024_n4/Polikanova_Mikheev_et_al (accessed: 27.02.2024). https://doi.org/10.17759/cpse.2024130402. EDN: https://elibrary.ru/EKRUJA
11. Bonzano, L., Bisio, A., Pedullà, L., & Brichetto, G. (2010). Right inferior parietal lobule activity is associated with handwriting spontaneous. *Frontiers in Neuroscience*, 98–107. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186
12. Gundlach, C., Müller, M. M., Nierhaus, T., Villringer, T., & Sehm, A. (2018). Modulation of somatosensory alpha rhythm by transcranial alternating current stimulation at mu-frequency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 72–80. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00432. EDN: https://elibrary.ru/YJXYXS
13. Haegens, S., Osipova, D., Oostenveld, R., & Jensen, O. (2009). Somatosensory working memory performance in humans depends on both engagement and disengagement of regions in a distributed network. *Human Brain Mapping*, *31*, 26–35. https://doi.org/10.1002/hbm.20842

14. Cavanagh, J. F., & Shackman, A. J. (2015). Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: Meta-analytic evidence. *Journal of Physiology — Paris*, *109*, 3–15. https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2014.04.003
15. Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: Gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 186. https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186
16. Kawachi, J. (2017). Brodmann areas 17, 18, and 19 in the human brain: An overview. *Brain Nerve*, 48–60. https://doi.org/10.11477/mf.1416200756
17. Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 137–150. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997
18. Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007
19. Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations — signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, *20*, 156–165. https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.015. EDN: https://elibrary.ru/NAPLRN
20. Maule, A. J., Hockey, G. R., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, *104*, 283–301. https://doi.org/10.1016/s0001-6918(00)00033-0
21. Maurer, U., Brem, S., Liechti, M., Maurizio, S., Michels, L., & Brandeis, D. (2015). Frontal midline theta reflects individual task performance in a working memory task. *Brain Topography*, *28*(1), 127–134. https://doi.org/10.1007/s10548-014-0361-y. EDN: https://elibrary.ru/AJVUKM
22. Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167–202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167
23. Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., Dagher, A., & Lupien, S. J. (2010). Stress regulation in the central nervous system: Evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations – 2008 Curt Richter Award Winner. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(1), 179–191. https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.02.016. EDN: https://elibrary.ru/NZCQOJ
24. Sarter, M., Gehring, W. J., & Kozak, R. (2006). More attention must be paid: The neurobiology of attentional effort. *Brain Research Reviews*, *51*(2), 145–160. https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.11.002
25. Sigala, R., Haufe, S., Roy, D., & Dinse, H. R. (2015). The role of alpha-rhythm states in perceptual learning: Insights from experiments and computational mod-

els. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 58–67. https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00036
26. Sussman, R. F., & Sekuler, R. (2022). Feeling rushed? Perceived time pressure impacts executive function and stress. *Acta Psychologica*, *229*, 103702. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103702. EDN: https://elibrary.ru/CWTZGU
27. Tan, E., Troller-Renfree, S. V., Morales, S., Buzzell, G. A., McSweeney, M., Antúnez, M., & Fox, N. A. (2024). Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting-state and task-related developmental electroencephalography (EEG) research. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *67*, 101404. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2024.101404. EDN: https://elibrary.ru/YZUPRF
28. Toppi, J., Astolfi, L., Risetti, M., & Anzolin, A. (2018). Different topological properties of EEG-derived networks describe working memory phases as revealed by graph theoretical analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 162–180. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00637
29. Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature Neuroscience*, *14*, 656–661. https://doi.org/10.1038/nn.2773

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Звягина Наталья Васильевна, канд. биол. наук, доцент заведующий кафедрой биологии человека и биотехнических систем
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
n.zvyagina@narfu.ru

Талеева Анна Ильинична, канд. биол. наук
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.taleeva@narfu.ru

Новоселова Ксения Валерьевна
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
ksen.nik@yandex.ru

Черкасова Анна Сергеевна
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.s.cherkasova@narfu.ru

Чанг Тху Чанг, аспирант
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
trangbo189@yandex.ru

Попов Николай Владимирович, аспирант
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
pnvnick@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya V. Zvyagina, MD, Cand. Sc. (Biology)
Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
n.zvyagina@narfu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8384-0424
SPIN-code: 8090-7591
ResearcherID: ABA-4815-2021
Scopus Author ID: 23669919700

Anna I. Taleeva, Cand. Sc. (Biology)
Northern (Arctic) Federal University
17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
a.taleeva@narfu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9346-6357
SPIN-code: 5850-6715
ResearcherID: ABA-5994-2021
Scopus Author ID: 5720517223

Ksenia V. Novoselova, Postgraduate Studies
Northern (Arctic) Federal University
17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5996-6318
ksen.nik@yandex.ru

Anna S. Cherkasova
Northern (Arctic) Federal University
17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
a.s.cherkasova@narfu.ru
SPIN-code: 6645-9443
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4091-3918
Scopus Author ID: 56993345800

Thu C. Chang, Postgraduate Studies
Northern (Arctic) Federal University
17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

trangbo189@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0660-3569

Nikolay V. Popov, Postgraduate Studies
Northern (Arctic) Federal University
17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
pnvnick@mail.ru
ORCID: http://orcid.org/0009-0009-6220-0490
SPIN-code: 1138-5057

Поступила 17.04.2025 Received 17.04.2025
После рецензирования 14.05.2025 Revised 14.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1345 **EDN: DUQQLH**
УДК 633.111.1:631.524.85

Научная статья

АКТИВНОСТЬ ЛИПОКСИГЕНАЗЫ СЕМЯН И АГРОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ У ЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ ЧАЙНИЗ СПРИНГ (СИНТЕТИК 6Х) ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ И НЕДОСТАТОЧНОМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИИ

М.Д. Пермякова, А.В. Пермяков

Аннотация

Обоснование. Использование интрогрессии сегментов генома диких злаков для сохранения урожайности и функционального качества пшеницы в условиях дефицита воды является актуальной задачей в селекции. Большой интерес представляет интрогрессия генов липоксигеназы (ЛОГ), участвующей в определении качества клейковины и устойчивости пшеницы к засухе.

Цель. Изучение влияния интрогрессии хромосом диких злаков на активность ЛОГ семян и ее сопряженность с агрономическими параметрами пшеницы в условиях разного водообеспечения.

Материалы и методы. Объектами исследования были линии пшеницы Чайниз Спринг (ЧС) с замещением гомологичных хромосом от гексаплоида Синтетик 6х (Син6х), содержащего субгеномы от *Triticum dicoccoides* (AABB) и *Aegilops tauschii* (DD). Активность ЛОГ и 9 агрономических показателей были изучены в условиях оптимального водного режима и имитации почвенной засухи.

Результаты. В условиях засухи активность ЛОГ положительно коррелировала со скоростью агрегации белков, массой зерна в колосе и крупностью зерна. Замещение хромосом 4D и 5D, несущих известные гены семенной

ЛОГ, способствовало увеличению скорости агрегации клейковинных белков и сохранению высокого уровня содержания клейковины. При этом в контроле продуктивность колоса снижалась, а под влиянием засухи увеличивалась. Наиболее выражен этот эффект был у линии ЧС(Син6х 5D) с высокой активностью ЛОГ. Линия ЧС(Син6х 4D) с низкой активностью ЛОГ в меньшей мере снижала продуктивность колоса при оптимальном водоснабжении и показала устойчивость параметров продуктивности колоса в условиях засухи.

Заключение. Интрогрессия хромосомы 4D от *Ae. tauschii* может быть полезна для создания генотипов пшеницы, сочетающих в себе высокое качество клейковины и устойчивость к засухе без существенного отрицательного действия на продуктивность зерна.

Ключевые слова: липоксигеназа; пшеница; *Aegilops tauschii*; интрогрессия; водный дефицит; устойчивость к засухе

Для цитирования. Пермякова, М. Д., & Пермяков, А. В. (2025). Активность липоксигеназы семян и агрономические параметры у замещенных линий пшеницы Чайниз Спринг (Синтетик 6Х) при оптимальном и недостаточном водообеспечении. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 76-93. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1345

Original article

SEED LIPOXYGENASE ACTIVITY AND AGRONOMIC PARAMETERS IN THE SUBSTITUTION WHEAT LINES CHINESE SPRING (SYNTHETIC 6X) UNDER OPTIMAL AND DEFICIENT WATER SUPPLY

M.D. Permyakova, A.V. Permyakov

Abstract

Background. The use of introgression of wild cereal genome segments to maintain the yield and functional quality of wheat under water deficit is a topical task in breeding. Of great interest is the introgression of genes of lipoxygenase (LOX), which is involved in determining gluten quality and drought resistance in wheat.

Purpose. To study the effect of introgression of wild cereal chromosomes on the seed LOX activity and its association with agronomic parameters of wheat under different water supply.

Materials and methods. The objects of the study were the wheat lines cv. Chinese Spring (CS) with the substitution of homologous chromosomes from the hexaploid Synthetic 6x (Syn6x), which contains sub genomes from *Triticum dicoccoides* (AABB) and *Aegilops tauschii* (DD). The LOX activity and 9 agronomic parameters were studied under optimal water regime and simulated soil drought.

Results. Under drought, LOX activity was positively correlated with the rate of gluten proteins aggregation, grain weight per ear and grain size. Substitution of 4D and 5D chromosomes, carrying known genes of seed LOX contributed to an increase in the aggregation rate and maintenance of a high level of gluten content. At the same time, the productivity of the ear decreased under control, but increased under drought. This effect was most pronounced in the line CS(Sin6x 5D) with high LOX activity. The line Ch(Sin6x 4D) with low LOX activity reduced ear productivity to a lesser extent under optimal water supply, and showed resistance of ear productivity parameters under drought.

Conclusion. The introgression of the 4D chromosome from *Ae. tauschii* may be useful for the development of wheat genotypes combining high gluten quality and drought resistance without large detrimental effects on grain yield.

Keywords: lipoxygenase; wheat; *Aegilops tauschii*; introgression; water deficit; drought resistance

For citation. Permyakova, M. D., & Permyakov, A. V. (2025). Seed lipoxygenase activity and agronomic parameters in the substitution wheat lines Chinese Spring (Synthetic 6X) under optimal and deficient water supply. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 76-93. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1345

Введение

Пшеница *Triticum aestivum* L. – одна из основных продовольственных культур в мире, поэтому сохранение ее урожайности и хлебопекарных свойств в разных экологических условиях является актуальной задачей. Значительная площадь посевов пшеницы находится в зоне недостаточного или неустойчивого увлажнения. Учитывая огромные потери урожая, вызванные засухой, существует настоятельная необходимость в повышении устойчивости пшеницы к дефициту воды [14]. Для этого в селекционных программах применяется интрогрессия фрагментов генома диких видов, отличающихся генетическим разнообразием и адаптивностью к широкому спектру неблагоприятных факторов [6].

Липоксигеназа (линолеат: кислород оксидоредуктаза, КФ 1.13.11.12, ЛОГ) катализирует присоединение молекулярного кислорода к полиненасыщенным

жирным кислотам с образованием гидроперекисей жирных кислот. ЛОГ играет важную роль в метаболизме растений, влияя на их рост, развитие и устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам [19]. ЛОГ семян пшеницы является одним из факторов, определяющих ее функциональное качество [11]. Этот фермент участвует в окислении липидов на всех этапах образования, созревания, переработки или хранения зерна. Полезные свойства липоксигеназных реакций включают образование дисульфидных связей, способствующее полимеризации белков при формировании клейковины [17]. Известно, что наиболее существенный вклад в активность ЛОГ семян пшеницы вносят гены *TaLOX1* и *TaLOX2*, локализованные в хромосомах 4 и 5 гомеологических групп, хорошо изученные на молекулярном уровне [10].

При адаптации к водному дефициту важная роль принадлежит продуктам липоксигеназного пути - оксилипинам [9; 18], таким как 12-оксофитодиеновая кислота (12-ОФДК), жасмоновая кислота (ЖАК) и ее производные. Функции этих оксилипинов включают сигнализирование, инициирование образования стрессовых белков, регуляцию роста и ускорение старения [20]. Ранее мы показывали, что ЛОГ проростков и листьев пшеницы участвовала в ее устойчивости к засухе, а интрогрессия сегментов генома *Ae. tauschii,* в геноме мягкой пшеницы положительно влияла на адаптацию пшеницы к водному дефициту [2].

В настоящей работе впервые было изучено влияние интрогрессии хромосом *Ae. tauschii* на активность ЛОГ семян пшеницы и ее сопряженность с агрономическими параметрами в условиях разного водообеспечения. Для этого мы использовали линии пшеницы сорта Чайниз Спринг (ЧС) с замещением гомологичных хромосом от искусственного гексаплоида Синтетик 6х (Син6х), содержащего субгеномы А и В от *Triticum dicoccoides* и субгеном D от *Ae. tauschii*. Для изучения селекционного потенциала замещенных линий (ЗЛ) были выбраны линии с замещением хромосом 4D и 5D от *Ae. tauschii*. Наш выбор был обусловлен тем, что этот дикий злак является источником генов адаптации к стрессам и качества зерна одновременно [13], а также тем, что в хромосомах пшеницы 4D и 5D локализованы известные гены ЛОГ семян [10].

Материалы и методы

Объекты исследования

Были изучены гексаплоидная пшеницы сорта Чайниз Спринг, синтетический гексаплоид Синтетик 6х и ЗЛ пшеницы ЧС(Син6х) **по** всем хромосомам, за исключением 2А, 4А, 6В и 7А. Набор **ЗЛ** ЧС/Син6х был создан в

Институте селекции растений (Кэмбридж, Великобритания). Каждая линия несет 20 хромосомных пар сорта ЧС (реципиент) и одну хромосомную пару от Син6х (донор) [15]. Донор хромосом Синтетик 6х, искусственно создан скрещиванием диких предков пшеницы *T. dicoccoides* и *Ae. tauschii* [16]. ЗЛ ЧС(Син6х) по хромосомам подгеномов А и В несут интрогрессивную пару хромосом от *T. dicoccoides*, а ЗЛ по хромосомам подгенома D - от *Ae. tauschii.*

Условия выращивания растений

Растения выращивали в почвенном субстрате (гумус: песок: торфяная смесь, в соотношении 1:1:1) в контролируемых условиях теплицы: 16-часовой фотопериод, влажность воздуха – 60 % и температурный режим – 23°С/16°С (день/ночь). Растения (по 10 - 15 зерен на образец) выращивали в сосудах Митчерлиха, заполненных почвенным субстратом (4 кг), при двух режимах водообеспечения – оптимальном и вододефицитном. Оптимальный режим соответствовал 60 %-му, а дефицитный – 30 %-му содержанию воды от полной почвенной влагоемкости, которую определяли, как описано в руководстве [1]. Водный режим поддерживали весовым методом, взвешивание проводили трижды в неделю. Дефицитный водный режим создавали, начиная со стадии 3 листьев, и поддерживали до окончания эксперимента. Семена перед посевом стерилизовали обработкой 70% этанолом в течение 1-2 мин. Семена Синтетика 6х и линии ЧС(Син6х 5D) подвергали низкотемпературной (4ºС) влажной яровизации в течение месяца.

Получение ферментных экстрактов и определение содержания белка

Для получения экстракта семенной ЛОГ спелые зерновки размалывали в лабораторном диспергаторе P/FG-0,3 (Россия) в течение 5 мин. Навески непросеянной муки (0,1г) экстрагировали 0,1 М трис-HCl буферным раствором с pH 7,5, содержащим 1 мМ ЭДТА в соотношении 1:10, в течение 30 мин. Гомогенат центрифугировали при 8000 g в течение 30 мин. Супернатант, содержащий растворимые изоформы ЛОГ семян использовали для определения содержания белка и активности ЛОГ.

Определение активности ЛОГ

Активность ЛОГ определяли по модифицированной методике [21], измеряя скорость образования пероксидов жирных кислот на спектрофотометре Hitachi U-1100 (Hitachi Ltd.,Токио, Япония) при длине волны 234 нм. Субстратом служила эмульсия линолевой кислоты в этаноле (1:1), растворенная в 0,1 М трис-HCl буферном растворе, pH 7,5. Концентрация субстрата в реакционной смеси 56,7 мкМ/мл. К трем мл растворенного субстрата вносили 0,05 мл экстракта ЛОГ. За единицу липоксигеназной активности принимали изменение оптической плотности на 0,01 за 1 мин в сравнении с контроль-

ным вариантом опыта, не содержащим ферментного экстракта. Удельную активность выражали в единицах активности (Е) на мг белка. Содержание белка в экстрактах муки определяли по методу Брэдфорд [5].

Определение агрономических параметров

Были определены параметры: масса побега в стадии кущения растений (МП кущ) в г; масса побега в стадии цветения растений (МП цвет) в г; длина колоса (ДК) в см; количество зерен в главном колосе (КЗК); масса зерна в главном колосе (МЗК) в г; масса 1000 зерен (М1000з) в г; крупность зерна (КЗ), как отношение МЗК/ КЗК.

Клейковину отмывали вручную до исчезновения реакции на крахмал (йодная проба). Содержание сырой клейковины (ССК) определяли в % к первоначальному весу муки. Скорость агрегации клейковинных белков (САБ) вычисляли по методу Аракавы и Юнезавы [4]. В слабых растворах уксусной кислоты при добавлении 0,1М трис-HCL-буфера происходит агрегация клейковинных белков, проявляющаяся в помутнении раствора, интенсивность которого измеряли на спектрофотометре Hitachi U-1100 при длине волны 350 нм.

Статистическая обработка результатов

Представлены средние значения двух независимых экспериментов (вегетаций). Каждый из независимых экспериментов проводили в 3-кратных биологических и 4-кратных аналитических повторностях. Для обработки полученных результатов применяли программу Microsoft Excel 2000. Рассчитывали средние значения и ошибки выборочной средней ($\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$). Сопряженность активности ЛОГ с другими параметрами оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона. Значимость коэффициентов корреляции и различий средних значений параметров между сортом-реципиентом, донором хромосом и ЗЛ оценивали по t-критерию Стьюдента. Отношение Засуха/контроль, показывающее % сохранения уровня значений каждого параметра под влиянием водного дефицита для каждого генотипа, рассчитывали как среднее значение двух вегетаций.

Результаты

Активность липоксигеназы семян и агрономические параметры у пшеницы Чайниз Спринг, Синтетик 6х и ЗЛ ЧС(Син6х)

В таблице 1 представлены средние значения двух вегетаций по изученным параметрам у сорта-реципиента ЧС и донора хромосом гексаплоида Син6х, а также размах значений и средние значения в наборе ЗЛ ЧС(Син6х). В контроле по уровню активности ЛОГ сорт-реципиент не

отличался от донора хромосом, а в условиях засухи превосходил его. Под влиянием водного дефицита активность ЛОГ у сорта ЧС увеличивалась на 39,8%, а у Син6х снижалась на 44,5%.

Независимо от условий водообеспечения Син6х уступал ЧС по большинству параметров (МК, количество и масса зерна в колосе, М1000з), за исключением длины колоса, содержания сырой клейковины и скорости агрегации белков. В контроле эти параметры были выше у Син6х. В условиях засухи значения параметра ДК снижались у обоих генотипов и значимо не различались. Под влиянием засухи ССК вдвое увеличивалось у ЧС, а у Син6х увеличение наблюдалось только на 18,5%. В результате содержание клейковины в условиях засухи у обоих генотипов было на одном уровне, статистически не различаясь. Под влиянием засухи скорость агрегации белков у Син6х снижалась на 79%, а у ЧС возрастала на 7913 %, значительно превышая уровень значений донора хромосом. В наборе ЗЛ наблюдали большой размах значений всех параметров, как в контрольном варианте, так и в условиях засухи, а также отношения Засуха/Контроль.

Эффект замещения хромосом от Син6х в геноме пшеницы ЧС по уровню активности растворимой ЛОГ семян отличался в зависимости от водного режима. При оптимальных условиях он проявился у одной линии - с замещением хромосомы 4D, а в условиях засухи, кроме ЗЛ по хромосоме 4D, еще у пяти ЗЛ – по хромосомам 1D, 2B, 3A, 3B, 4B (рис.1). Это свидетельствуют о том, что многие хромосомы участвуют в генетическом контроле активности ЛОГ семян, и о том, что ее генетическая регуляция при водном дефиците более сложная.

Таблица 1.

Активность липоксигеназы, компоненты урожая, содержание клейковины и агрегирующая способность белков у пшеницы Чайниз Спринг, Синтетик 6х и замещенных линий Чайниз Спринг (Синтетик 6х) при разных режимах водообеспечения

Параметры	ЧС	Син6х	ЗЛ ЧС(Син6х)			
			min	max	max/ min	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$
Контроль						
ЛОГ	75,2 ± 7,2	60,6 ±1,4	51,6 ± 0,1	134,0 ± 7,8	2,6	95,2 ± 27,2
МП кущ.	4,6 ± 0,3	2,0 ± 0,1**	1,8 ± 0,0	4,6 ± 0,1	2,6	3,2 ± 0,6
МП цвет.	16,8 ± 1,1	5,7 ± 0,2***	10,2 ± 0,1	22,8 ± 0,3	2,2	15,7 ± 3,1
ДК	6,6 ± 0,2	9,5 ± 0,6*	5,8 ± 0,3	11,2 ± 0,2	1,9	7,2 ± 1,0
МК	1,7 ± 0,07	0,9 ± 0,01***	0,4 ± 0,0	1,7 ± 0,1	4,3	1,4 ± 0,2
КЗК	45,2 ± 2,5	18,4 ± 0,3***	4,8 ± 0,1	43,8 ± 0,9	9,1	33,7 ± 6,0

МЗК	1,4 ± 0,1	0,5 ± 0,0***	0.5 ± 0.0	1,6 ± 0,0	3,0	1,1 ± 0,1
КЗ	0,03± 0,0	0,02 ± 0,0	0,03 ± 0,0	0,1 ± 0,0	2,2	0,04 ± 0,01
М1000з	31,4 ± 1,4	26,6 ± 2,5*	25,7 ± 0,1	38,3 ± 0,1	1,5	33,9 ± 0,8
ССК	30,0 ± 2,5	60,7 ±4,1***	30,0 ± 2,2	57,9 ± 3,5	1,9	43,9± 3,3
САБ	1,5 ± 0,1	92,5 ± 0.7***	1,4 ± 0,1	48,4 ± 1,1	34,6	13,7 ± 10,1
Засуха						
ЛОГ	104,1± 6,3	28,2±5,3***	42,5 ± 4,0	158,0 ± 9,8	3,7	106,4 ± 28,1
МП кущ.	2,5 ± 0,1	1,1 ± 0,0***	2,0 ± 0,1	3,9 ± 0,1	1,9	3,1 ± 0,6
МП цвет.	8,9 ± 0,1	3,6 ± 0,2***	5,0 ± 0,2	12,2 ± 0,8	2,4	8,6 ± 1,5
ДК	4,8 ± 0,3	5,6 ± 0,4	3.9 ± 0.3	6,8 ± 0,1	1,7	5,1 ± 0,6
МК	0,6 ± 0,0	0,4 ± 0,0**	0,4 ± 0,0	0,8 ± 0,0	2,0	0.6 ± 0.1
КЗК	18,2 ± 1,0	10,2 ± 0,8**	9,8 ± 0,3	23,4 ± 1,1	2,4	17.7 ± 2.1
МЗК	0,5 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0.7 ± 0.1	3,0	0,5 ± 0,1
КЗ	0,03± 0,00	0,03 ± 0,00	0,02± 0,0	0,09± 0,01	3,7	0.04± 0.01
М1000з	29,1 ± 2,7	21,9 ± 4,3	14,4 ± 0,0	35,4 ± 0,0	2,5	27,7 ± 1,1
ССК	60,7 ±4,7	68,6 ± 4,9	32,1 ± 2,1	71,4 ± 5,2	2,2	51,7 ± 4,5
САБ	118,7± 0,9	19,7 ± 0,2***	1,5 ± 0,1	290,6 ± 2,5	193,7	104,9 ± 76,8
Засуха/контроль %						
ЛОГ	139.8	46.5***	82.3	135.4	1,6	111,6 ± 15,4
МП кущ.	53.7	56.4	42.5	153.9	3,6	101,6 ± 26,1
МП цвет.	53.2	62.9*	27.9	85.9	3,1	58,8 ± 19,3
ДК	72.7	58.9	59.5	95.0	1,6	72,8 ± 6,0
МК	12.5	7.1	6.8	13.6	2,0	12,0 ± 1,6
КЗК	40.5	54	41.5	204.2	4,9	61,0 ± 17,2
МЗК	39.3	43.8	12.4	58.5	4,7	43.1 ± 7.5
КЗ	87.1	104.0	47.6	245.0	5,1	99,4 ± 38,1
М1000з	96.5	82.3	40.9	97.0	2,4	80,8 ± 9,6
ССК	202.4	118.5***	77.6	157.1	2,0	114,7 ± 20,1
САБ	7913	21***	33	5573	168,9	1552 ± 1497

ЧС - Чайниз Спринг, Син6х - Синтетик6х, ЗЛ – линии с замещением гомологичных хромосом от Син6х на генетическом фоне ЧС. ЛОГ – активность растворимой липоксигеназы семян, ДК – длина колоса, МК – масса колоса, КЗК – тколичество зерен в колосе, МЗК – масса зерна в колосе, КЗ –крупность зерна (МЗК/КЗК), М1000з – масса 1000 зерен, ССК – содержание сырой клейковины, САБ – скорость агрегации белков. В таблице даны средние значения двух независимых экспериментов ± средняя ошибка выборочной средней. *, **, *** - статистическая значимость различий между ЧС и Син6х при $P < 0,05; 0,01; 0,001$.

Большинство ЗЛ по уровню ферментативной активности в контроле превосходили ЧС или не отличались от него (рис.1). В условиях засухи среди ЗЛ наблюдался большой полиморфизм по этому признаку. Уровни активности ЛОГ у ЗЛ по хромосомам 1B, 5A, 5B, 6D и 7D были статистически значимо выше, а у ЗЛ по хромосомам 1D, 2B, 3A, 3B, 4B и 4D были ниже уровней сорта-реципиента. Линия с замещением хромосомы 4D независи-

мо от условий водообеспечения показала уровень активности ЛОГ более низкий, чем ЧС.

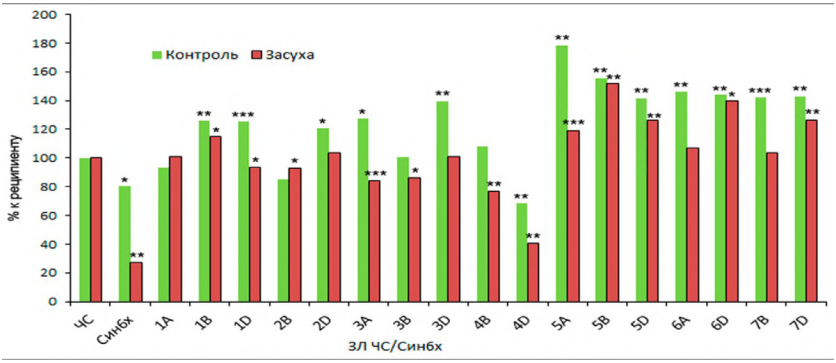


Рис. 1. Активность липоксигеназы семян у синтетического гексплоида Синтетик 6х и замещенных линий Чайниз Спринг(Синтетик 6х) относительно сорта - реципиента в разных условиях водообеспечения.

ЧС - Чайниз Спринг; Синбх – Синтетик 6х; ЗЛ – линии с замещением гомологичных хромосом от Синбх на генетическом фоне ЧС. *, **, *** - статистическая значимость различий с сортом-реципиентом при $P < 0,05; 0,01; 0,001$.

Влияние интрогрессии хромосом 4D и 5D от Ae. tauschii в геноме пшеницы сорта Чайниз Спринг на активность ЛОГ семян и агрономические параметры

В контроле (рис. 2, Контроль) линия, несущая хромосому 4D от *Ae. tauschii*, отличалась от сорта-реципиента более низкой активностью ЛОГ и параметров зерновой продуктивности, за исключением КЗ и М1000з. Содержание клейковины и агрегирующая способность белков были значительно выше, чем у реципиента. Линия, несущая хромосому 5D от *Ae. tauschii* отличалась от ЧС очень низким уровнем параметров МК, КЗК, МЗК, высоким уровнем активности ЛОГ и ССК и очень высокой САБ.

В условиях водного дефицита (рис. 2, Засуха) обе линии отличались от сорта-реципиента низкой массой побега в стадии цветения и высокой САБ. Линия ЧС(Синбх4D) имела уровень активности ЛОГ значительно ниже, чем у ЧС, и не отличалась от него по параметрам продуктивности зерна и ССК. Линия ЧС(Синбх5D) имела более высокий уровень ферментативной активности и САБ, однако масса колоса, количество и масса зерен в колосе в условиях засухи оставались ниже, чем у ЧС, несмотря на лучшее, чем у ЧС сохранение уровня их значений в условиях засухи (рис. 2, Засуха/Контроль). По отношению Засуха/Контроль для параметров МК, КЗК и МЗК линия с замещением хромосомы 5D превышала уровень реципиента в 3-5 раз.

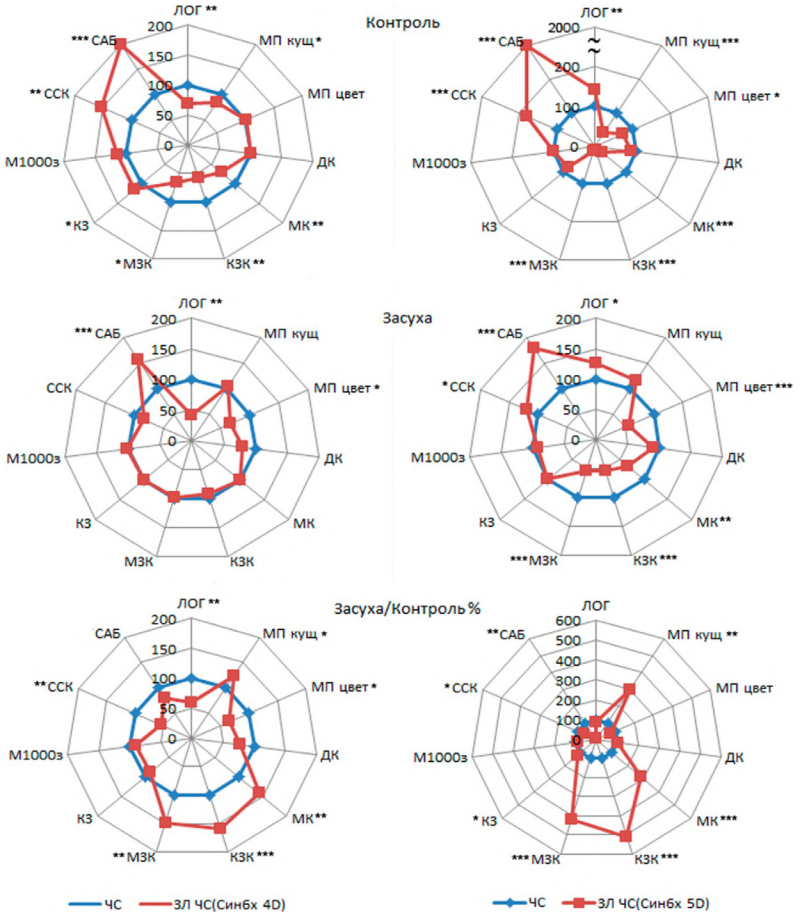


Рис. 2. Активность липоксигеназы семян и агрономические параметры у линий пшеницы сорта Чайниз Спринг с замещением хромосом 4D и 5D от синтетического гексаплоида Синтетик 6х относительно сорта-реципиента в разных условиях водообеспечения.

ЧС - Чайниз Спринг; ЗЛ ЧС(Синбх 4D) и ЗЛ ЧС(Синбх 5D) – линии с замещением гомологичных хромосом от Синтетик 6х на генетическом фоне ЧС. *, **, *** - статистическая значимость различий с сортом-реципиентом при $P < 0,05; 0,01; 0,001$.

ЛОГ – активность растворимой липоксигеназы семян, МП кущ – масса побега в стадии кущения растений, МП цвет – масса побега в стадии цветения растений, ДК – длина колоса, МК – масса колоса, КЗК – количество зерен в колосе, МЗК – масса зерна в колосе, КЗ – крупность зерна (МЗК/КЗК), М1000з – масса 1000 зерен, ССК – содержание сырой клейковины, САБ – скорость агрегации клейковинных белков.

Взаимосвязь между активностью ЛОГ семян и агрономическими параметрами

В наборе ЗЛ ЧС/Син6х в контрольных условиях ферментативная активность не имела статистически значимых корреляционных связей ни с одним из изученных параметров. В условиях засухи активность ЛОГ показала положительные корреляции со скоростью агрегации клейковинных белков, массой зерен в колосе и крупностью зерна (таблица 2).

Таблица 2.

Корреляция Пирсона между активностью ЛОГ семян и агрономическими параметрами в условиях засухи.

ЛОГ	САБ	МЗК	КЗ
Засуха	0,43**	0,44**	0,46**

САБ – скорость агрегации белков, МЗК – масса зерна в колосе, КЗ – крупность зерна. ** –статистическая значимость коэффициентов корреляции при $P < 0,01$; $n = 38$.

Обсуждение результатов

ЛОГ находится в большом количестве в семенах растений. Оксилипиновый и транскриптомный анализы показали, что во время позднего созревания семени происходит накопление продуктов семенных ЛОГ 12-ОФДК, ЖАК и ЖАК-Иле. Эти оксилипины выступали в качестве сигнальных молекул, играя важную роль при определении состояния «покой-прорастание», влияя на процессы развития семян [8], а также при защите от патогенов [7].

Ранее нами было показано, что ЛОГ семян пшеницы не только участвует в полимеризации запасных белков клейковины, но также была связана с липид-белковыми взаимодействиями на границе раздела между поверхностью крахмальных гранул и белковых тел, определяющих текстуру зерна [17]. В данной работе мы изучили влияние интрогрессии хромосом от диких злаков и дефицита воды на активность ЛОГ семян и агрономические признаки пшеницы сорта Чайниз Спринг. Активность ЛОГ различалась у родителей ЗЛ: была выше при оптимальном водном режиме и значительно возрастала у ЧС в условиях засухи, а у Син6х, напротив – снижалась. Такая же тенденция наблюдалась и по скорости агрегации клейковинных белков. Под влиянием засухи изначально невысокий уровень значений параметров ССК и САБ многократно увеличивался у ЧС. Син6х, напротив, имел высокие уровни значений этих параметров при оптимальном водоснабжении, а в условиях засухи незначительно увеличивал ССК и многократно снижал САБ.

Также была выявлена положительная корреляционная связь между ферментативной активностью и агрегирующей способностью белков. Эти факты

подтверждают участие растворимой семенной формы фермента в процессе агрегации запасных белков при формировании клейковины, усиливающегося в условиях засухи у сорта ЧС, и снижающегося у синтетической пшеницы. Возможно, вовлечение ЛОГ семян в формирование клейковины и качество зерна связано с сигнальным путем ЖАК. Было показано, что транскрипционный фактор TaNAC019 регулировал накопление глютенина и крахмала, образование клейковины, а также размер и вес семян [12]. Этот транскрипционный фактор, оказывающий большое влияние на качество зерна, является известным компонентом жасмонатного сигналинга ответа на засуху [9].

Вид *Ae. tauschii*, дикий предок генома D пшеницы является важным генетическим ресурсом для ее улучшения. Анализ генома *Ae. tauschii* выявил расширение агрономически значимых семейств генов, связанных с устойчивостью к болезням, абиотическому стрессу и хлебопекарным качеством зерна [13]. Мы изучили селекционный потенциал линий с интрогрессией хромосом 4D и 5D от этого злака, в которых локализованы известные гены семенных ЛОГ [10].

Независимо от условий водообеспечения замещение обеих хромосом, как 4D, так и 5D, статистически значимо не влияло на МП кущ, ДК, КЗ, М1000з. Снижение параметров продуктивности колоса (МК, КЗК, МЗК) в контроле и увеличение уровня значений этих параметров в условиях засухи проявилось при замещении обеих хромосом.

Генетический материал от *Ae. tauschii* по-разному влиял на активность ЛОГ при замещении хромосом 4D и 5D: замещение хромосомы 4D снижало, а замещение хромосомы 5D увеличивало ферментативную активность независимо от водного режима. Вероятно семенные ЛОГ от *Ae. tauschii* способствовали снижению параметров продуктивности колоса при нормальном водообеспечении, но увеличивали уровень значений этих параметров под влиянием засухи. Наиболее выражен этот эффект был у линии с замещением хромосомы 5D, имеющей высокий уровень ферментативной активности. Линия с замещением хромосомы 4D с низким уровнем активности ЛОГ, в меньшей мере снижала продуктивность колоса при оптимальном водоснабжении, и показала меньшую устойчивость этих параметров условиях засухи.

Известно, что дефицит воды увеличивает количество и качество клейковины в семенах пшеницы, но снижает зерновую продуктивность [3]. Интрогрессия хромосом 4D и 5D от *Ae. tauschii* в геноме ЧС повышала зерновую продуктивность в условиях засухи, способствовала увеличению уровня содержания клейковины в контроле и сохранению его высоким в условиях засухи, и независимо от водного режима значительно увеличивала агрегирующую способность клейковинных белков.

Применение интрогрессии в хромосоме 4D от *Ae. tauschii* при подборе соответствующего реципиента может быть полезным с целью создания генотипов пшеницы, сочетающих в себе высокое качество клейковины и устойчивость к засухе без значительных последствий для зерновой продуктивности. Изучение интрогрессии благоприятных аллелей генов ЛОГ от диких злаков, может стать новым перспективным направлением для использования в селекции пшеницы.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках Госзадания ГБС РАН, № проекта 0277-2025-0006.

Благодарности. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП "Биоаналитика" Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН. Семена для исследования любезно предоставлены Т.А. Пшеничниковой (Институт Цитологии и Генетики СО РАН, Новосибирск, Россия).

Список литературы

1. Журбицкий, З. И. (1968). *Теория и практика вегетационного метода*. Москва: Наука, 260 с.
2. Пермякова, М. Д., Пермяков, А. В., Осипова, С. В., & Пшеничникова, Т. А. (2012). Липоксигеназы листьев пшеницы, выращенной в условиях разного водообеспечения. *Прикладная биохимия и микробиология*, *48*(1), 1−6. https://doi.org/10.1134/S0003683812010139. EDN: https://elibrary.ru/PDGRKD
3. Ali, N., & Akmal, M. (2022). Wheat growth, yield, and quality under water deficit and reduced nitrogen supply: A review. *Gesunde Pflanzen*, *74*, 371–383. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00615-w. EDN: https://elibrary.ru/MVJCNB
4. Arakawa, T., & Yonezawa, D. (1975). Compositional difference of wheat flour glutens in relation to their aggregation behaviors. *Agricultural and Biological Chemistry*, *39*(11), 2123–2128.
5. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
6. Burgarella, C., Barnaud, A., Kane, N. A., Jankowski, F., Scarcelli, N., Billot, C., Vigouroux, Y., & Berthouly-Salazar, C. (2019). Adaptive introgression: An untapped evolutionary mechanism for crop adaptation. *Frontiers in Plant Science*, *10*:4. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00004. EDN: https://elibrary.ru/NWESCT

7. Burow, G. B., Gardner, H. W., & Keller, N. P. (2000). A peanut seed lipoxygenase responsive to *Aspergillus* colonization. *Plant Molecular Biology*, *42*(5), 689–701. https://doi.org/10.1023/a. EDN: https://elibrary.ru/AGMSDZ
8. Dave, A., Hernández, M. L., He, Z., Andriotis, V. M. E., Vaistij, F. E., Larson, T. R., & Graham, I. A. (2011). 12-Oxo-phytodienoic acid accumulation during seed development represses seed germination in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, *23*(2), 583–599. https://doi.org/10.1105/tpc.110.081489
9. De Ollas, C., & Dodd, I. C. (2016). Physiological impacts of ABA-JA interactions under water limitation. *Plant Molecular Biology*, *91*(6), 641–650. https://doi.org/10.1007/s11103-016-0503-6. EDN: https://elibrary.ru/WUQSPD
10. Feng, B., Dong, Z., Xu, Z., An, X., Qin, H., Wu, N., Wang, D., & Wang, T. (2010). Molecular analysis of lipoxygenase (LOX) genes in common wheat and phylogenetic investigation of LOX proteins from model and crop plants. *Journal of Cereal Science*, *52*, 387–394. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.06.019
11. Filip, E., Woronko, K., Stępień, E., & Czarniecka, N. (2023). An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(8):7524. https://doi.org/10.3390/ijms24087524. EDN: https://elibrary.ru/YKTETY
12. Gao, Y., An, K., Guo, W., Chen, Y., Zhang, R., Zhang, X., Chang, S., Rossi, V., Jin, F., Cao, X., Xin, M., Peng, H., Hu, Z., Guo, W., Du, J., Ni, Z., Sun, Q., & Yao, Y. (2021). The endosperm-specific transcription factor TaNAC019 regulates glutenin and starch accumulation and its elite allele improves wheat grain quality. *The Plant Cell*, *33*(3), 603–622. https://doi.org/10.1093/plcell/koaa040. EDN: https://elibrary.ru/OZFOCP
13. Jia, J., Zhao, S., Kong, X., Li, Y., Zhao, G., He, W., Appels, R., Pfeifer, M., Tao, Y., Zhang, X., Jing, R., Zhang, C., Ma, Y., Gao, L., Gao, C., Spannagl, M., Mayer, K. F. X., Li, D., Pan, S., Zheng, F., Hu, Q., Xia, X., Li, J., Liang, Q., Chen, J., Wicker, T., Gou, C., Kuang, H., He, G., Luo, Y., Keller, B., Xia, Q., Lu, P., Wang, J., Zou, H., Zhang, R., Xu, J., Gao, J., Middleton, C., Quan, Z., Liu, G., Wang, J., International Wheat Genome Sequencing Consortium, Yang, H., Liu, X., He, Z., Mao, L., & Wang, J. (2013). *Aegilops tauschii* draft genome sequence reveals a gene repertoire for wheat adaptation. *Nature*, *496*(7443), 91–95. https://doi.org/10.1038/nature12028
14. Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, *654*, 811–821. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.434. EDN: https://elibrary.ru/NZEZJT
15. Nicholson, P., Rezannor, H. N., & Worland, A. J. (1993). Chromosomal location of resistance to *Septoria nodorum* in a synthetic hexaploid wheat determined by

the study of chromosomal substitution lines in 'Chinese Spring' wheat. *Plant Breeding*, *110*(3), 177–184. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1993.tb00575.x
16. McFadden, E. S., & Sears, E. R. (1946). The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. *Journal of Heredity*, *37*(3), 81–89. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105590. EDN: https://elibrary.ru/IRNIRV
17. Osipova, S. V., Permyakova, M. D., & Permyakov, A. V. (2012). The role of non-prolamine proteins and LMW redox agents in protein folding and polymerization in wheat grains and the influence on baking quality parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(49), 12 065–12 073. https://doi.org/10.1021/jf303513m. EDN: https://elibrary.ru/RGIJXL
18. Savchenko, T., Kolla, V. A., Wang, C.-Q., Nasafi, Z., Hicks, D. R., Phadungchob, B., Chehab, W. E., Brandizzi, F., Froehlich, J., & Dehesh, K. (2014). Functional convergence of oxylipin and abscisic acid pathways controls stomatal closure in response to drought. *Plant Physiology*, *164*(3), 1151–1160. https://doi.org/10.1104/pp.113.234310. EDN: https://elibrary.ru/UEEXAV
19. Viswanath, K. K., Varakumar, P., Pamuru, R. R., Basha, S. J., Mehta, S., & Rao, A. D. (2020). Plant lipoxygenases and their role in plant physiology. *Journal of Plant Biology*, *63*, 83–95. https://doi.org/10.1007/s12374-020-09241-x. EDN: https://elibrary.ru/EQGTDB
20. Wasternack, C., & Feussner, I. (2018). The oxylipin pathways: Biochemistry and function. *Annual Review of Plant Biology*, *69*, 363–386. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040440. EDN: https://elibrary.ru/XVGTHV
21. Zimmerman, D. C., & Vick, B. A. (1970). Hydroperoxide isomerase: A new enzyme of lipid metabolism. *Plant Physiology*, *46*(3), 445–453. https://doi.org/10.1104/pp.46.3.445

References

1. Zhurbitsky, Z. I. (1968). *Theory and practice of the vegetation method*. Moscow: Nauka, 260 p.
2. Permyakova, M. D., Permyakov, A. V., Osipova, S. V., & Pshenichnikova, T. A. (2012). Lipoxygenases of wheat leaves grown under different water supply conditions. *Applied Biochemistry and Microbiology*, *48*(1), 1–6. https://doi.org/10.1134/S0003683812010139. EDN: https://elibrary.ru/PDGRKD
3. Ali, N., & Akmal, M. (2022). Wheat growth, yield, and quality under water deficit and reduced nitrogen supply: A review. *Gesunde Pflanzen*, *74*, 371–383. https://doi.org/10.1007/s10343-021-00615-w. EDN: https://elibrary.ru/MVJCNB
4. Arakawa, T., & Yonezawa, D. (1975). Compositional difference of wheat flour glutens in relation to their aggregation behaviors. *Agricultural and Biological Chemistry*, *39*(11), 2123–2128.

5. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*, 248–254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999
6. Burgarella, C., Barnaud, A., Kane, N. A., Jankowski, F., Scarcelli, N., Billot, C., Vigouroux, Y., & Berthouly-Salazar, C. (2019). Adaptive introgression: An untapped evolutionary mechanism for crop adaptation. *Frontiers in Plant Science*, *10*:4. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00004. EDN: https://elibrary.ru/NWESCT
7. Burow, G. B., Gardner, H. W., & Keller, N. P. (2000). A peanut seed lipoxygenase responsive to *Aspergillus* colonization. *Plant Molecular Biology*, *42*(5), 689–701. https://doi.org/10.1023/a. EDN: https://elibrary.ru/AGMSDZ
8. Dave, A., Hernández, M. L., He, Z., Andriotis, V. M. E., Vaistij, F. E., Larson, T. R., & Graham, I. A. (2011). 12-Oxo-phytodienoic acid accumulation during seed development represses seed germination in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, *23*(2), 583–599. https://doi.org/10.1105/tpc.110.081489
9. De Ollas, C., & Dodd, I. C. (2016). Physiological impacts of ABA-JA interactions under water limitation. *Plant Molecular Biology*, *91*(6), 641–650. https://doi.org/10.1007/s11103-016-0503-6. EDN: https://elibrary.ru/WUQSPD
10. Feng, B., Dong, Z., Xu, Z., An, X., Qin, H., Wu, N., Wang, D., & Wang, T. (2010). Molecular analysis of lipoxygenase (LOX) genes in common wheat and phylogenetic investigation of LOX proteins from model and crop plants. *Journal of Cereal Science*, *52*, 387–394. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.06.019
11. Filip, E., Woronko, K., Stępień, E., & Czarniecka, N. (2023). An overview of factors affecting the functional quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(8):7524. https://doi.org/10.3390/ijms24087524. EDN: https://elibrary.ru/YKTETY
12. Gao, Y., An, K., Guo, W., Chen, Y., Zhang, R., Zhang, X., Chang, S., Rossi, V., Jin, F., Cao, X., Xin, M., Peng, H., Hu, Z., Guo, W., Du, J., Ni, Z., Sun, Q., & Yao, Y. (2021). The endosperm-specific transcription factor TaNAC019 regulates glutenin and starch accumulation and its elite allele improves wheat grain quality. *The Plant Cell*, *33*(3), 603–622. https://doi.org/10.1093/plcell/koaa040. EDN: https://elibrary.ru/OZFOCP
13. Jia, J., Zhao, S., Kong, X., Li, Y., Zhao, G., He, W., Appels, R., Pfeifer, M., Tao, Y., Zhang, X., Jing, R., Zhang, C., Ma, Y., Gao, L., Gao, C., Spannagl, M., Mayer, K. F. X., Li, D., Pan, S., Zheng, F., Hu, Q., Xia, X., Li, J., Liang, Q., Chen, J., Wicker, T., Gou, C., Kuang, H., He, G., Luo, Y., Keller, B., Xia, Q., Lu, P., Wang, J., Zou, H., Zhang, R., Xu, J., Gao, J., Middleton, C., Quan, Z., Liu, G., Wang, J., International Wheat Genome Sequencing Consor-

tium, Yang, H., Liu, X., He, Z., Mao, L., & Wang, J. (2013). *Aegilops tauschii* draft genome sequence reveals a gene repertoire for wheat adaptation. *Nature*, *496*(7443), 91–95. https://doi.org/10.1038/nature12028

14. Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, *654*, 811–821. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.434. EDN: https://elibrary.ru/NZEZJT
15. Nicholson, P., Rezannor, H. N., & Worland, A. J. (1993). Chromosomal location of resistance to *Septoria nodorum* in a synthetic hexaploid wheat determined by the study of chromosomal substitution lines in 'Chinese Spring' wheat. *Plant Breeding*, *110*(3), 177–184. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1993.tb00575.x
16. McFadden, E. S., & Sears, E. R. (1946). The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. *Journal of Heredity*, *37*(3), 81–89. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105590. EDN: https://elibrary.ru/IRNIRV
17. Osipova, S. V., Permyakova, M. D., & Permyakov, A. V. (2012). The role of non-prolamine proteins and LMW redox agents in protein folding and polymerization in wheat grains and the influence on baking quality parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *60*(49), 12 065–12 073. https://doi.org/10.1021/jf303513m. EDN: https://elibrary.ru/RGIJXL
18. Savchenko, T., Kolla, V. A., Wang, C.-Q., Nasafi, Z., Hicks, D. R., Phadungchob, B., Chehab, W. E., Brandizzi, F., Froehlich, J., & Dehesh, K. (2014). Functional convergence of oxylipin and abscisic acid pathways controls stomatal closure in response to drought. *Plant Physiology*, *164*(3), 1151–1160. https://doi.org/10.1104/pp.113.234310. EDN: https://elibrary.ru/UEEXAV
19. Viswanath, K. K., Varakumar, P., Pamuru, R. R., Basha, S. J., Mehta, S., & Rao, A. D. (2020). Plant lipoxygenases and their role in plant physiology. *Journal of Plant Biology*, *63*, 83–95. https://doi.org/10.1007/s12374-020-09241-x. EDN: https://elibrary.ru/EQGTDB
20. Wasternack, C., & Feussner, I. (2018). The oxylipin pathways: Biochemistry and function. *Annual Review of Plant Biology*, *69*, 363–386. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040440. EDN: https://elibrary.ru/XVGTHV
21. Zimmerman, D. C., & Vick, B. A. (1970). Hydroperoxide isomerase: A new enzyme of lipid metabolism. *Plant Physiology*, *46*(3), 445–453. https://doi.org/10.1104/pp.46.3.445

ВКЛАД АВТОРОВ

Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Пермякова Марина Диомидовна, д.б.н, старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Сибирский институт физиологии и биохимии растений (СИФИБР СО РАН)
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
marperm@rambler.ru

Пермяков Алексей Викторович, к.б.н., старший научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Сибирский институт физиологии и биохимии растений (СИФИБР СО РАН)
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
APerm@sifibr.irk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Marina D. Permyakova, Dr. Sc. (Biol.), Senior Researcher
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SIPPB SB RAS)
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
marperm@rambler.ru
SPIN-code: 8432-1006
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0259-8531
ResearcherID: J-4393-2018
Scopus Author ID: 6506067295

Alexey V. Permyakov, Cand. Sc. (Biol.), Senior Researcher
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (SIPPB SB RAS)
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
APerm@sifibr.irk.ru
SPIN-code: 1033-971
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0259-8531
Scopus Author ID: 6701308223

Поступила 05.05.2025 Received 05.05.2025
После рецензирования 23.06.2025 Revised 23.06.2025
Принята 02.07.2025 Accepted 02.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1360 **EDN: FPDTJC**
УДК 634.124:634.11:577.114

CC BY NC ND

Научная статья

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОВ В ПЛОДАХ M. *BACCATA* (L.) BORKH. И ЕЕ ГИБРИДНЫХ СОРТОВ С M. *DOMESTICA* BORKH.

Е.Г. Рудиковская, З.О. Ставицкая, Л.В. Дударева, Н.В. Семёнова, Н.Б. Катышева, А.В. Рудиковский

Аннотация

Обоснование. Сведения о составе и содержании углеводов в плодах широко распространенных в холодном климате гибридных сортов *Malus baccata* (L.) Borkh. и *Malus domestica* Borkh. представляют интерес как с фундаментальной точки зрения - для оценки наследования этих признаков в поколениях гибридов, так и с практической - в качестве маркера для отбора гибридов с улучшенными вкусовыми качествами. Однако подробный анализ содержания таких компонентов в плодах гибридов слабо изучен.

Цель. Сравнительный анализ углеводного состава в тканях плодов *M. baccata* (L.) Borkh. и её гибридных сортов с *M. domestica* Borkh.

Материалы и методы. Исследование количественного и качественного состава пектинов проводили методами УФ– и ИК спектроскопии; простых углеводов – методом ВЭЖХ.

Результаты. Показано, что в тканях плодов гибридных генотипов содержание фруктозы составляло от 36% до 70% от суммы сахаров. В плодах *M. baccata* доминирующими растворимыми углеводами были транспортные: сорбитол и сахароза. В процессе гибридизации содержание сорбитола в плодах заметно снижалось (минимум у яблони домашней). У большинства генотипов содержание протопектина было выше, чем водорастворимой пектиновой фракции. Наиболее высокое общее содержание пектинов было обнаружено в плодах *M. baccata*. Этерификация обеих фракций пектина в тканях всех исследованных генотипов была высокой - выше 50%. Размер клеток плодов гибридов был небольшим по сравнению *M. domestica*, и в среднем составлял 17-25 мкм. Размер клеток не коррелировал с размером плодов.

Заключение. Вероятно, высокое содержание пектинов, степени их этерификации и размер клеток является одной из причин формирования устойчивости исследованных генотипов к патогенам.

Ключевые слова: *Malus baccata*; гибридные сорта; углеводы; пектины

Для цитирования. Рудиковская, Е. Г., Ставицкая, З. О., Дударева, Л. В., Семёнова, Н. В., Катышева, Н. Б., & Рудиковский, А. В. (2025). Сравнительный анализ состава и содержания углеводов в плодах *M. baccata* (L.) Borkh. и ее гибридных сортов с *M. domestica* Borkh. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 94-114. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1360

Original article

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND CARBOHYDRATE CONTENT IN THE FRUITS OF M. *BACCATA* (L.) BORKH. AND ITS HYBRID VARIETIES WITH M. *DOMESTICA* BORKH.

E.G. Rudikovskaya, Z.O. Stavitskaya, L.V. Dudareva, N.V. Semenova, N.B. Katysheva, A.V. Rudikovskii

Abstract

Background. Research studies of the composition and content of carbohydrates in fruits of the hybrid varieties *Malus baccata* (L.) Borkh. and *Malus domestica* Borkh., which are widespread in cold climates, are important both from a fundamental point of view - for assessing the inheritance of these traits in hybrid generations, and from a practical point of view - as a marker for selecting hybrids with improved taste qualities. However, a detailed analysis of the carbohydrate content of these hybrids is poorly studied.

Purpose. Comparative analysis of the carbohydrate composition in the fruit tissues of *M. baccata* (L.) Borkh. and its hybrid varieties with *M. domestica* Borkh.

Materials and methods. The study of the quantitative and qualitative composition of pectins was carried out using UV and IR spectroscopy; simple carbohydrates - using HPLC.

Results. It was shown that in the hybrid genotypes fruit tissues the fructose content varied from 36% to 70% of the total sugars. In the tissues of *M. baccata* fruits the dominant soluble carbohydrates were sorbitol and sucrose. As a result of hybridization, the sorbitol content in fruits decreased significantly (minimum

content was found in *M. domestica* fruits). In most genotypes, the protopectin content was higher than content of water-soluble pectin fractions. The highest total pectin content was found in *M. baccata* fruits. The esterification of both pectin fractions in the tissues of all genotypes was high—above 50%. The cell size of the hybrids fruits was small compared to *M. domestica* sell size, varied from 17 to 25 μm. For all the types, cell size did not correlate with fruit size.

Conclusion. It is possible that combination of high pectin content, esterification degree and smaller cell size is one of the reasons for the resistance of the studied genotypes to pathogens.

Keywords: *Malus baccata*; hybrid varieties; carbohydrates; pectins

For citation. Rudikovskaya, E. G., Stavitskaya, Z. O., Dudareva, L. V., Semenova, N. V., Katysheva, N. B., & Rudikovskii, A. V. (2025). Comparative analysis of the composition and carbohydrate content in the fruits of *M. baccata* (L.) Borkh. and its hybrid varieties with *M. domestica* Borkh. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 94-114. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1360

Введение

Яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.) является одной из самых распространенных садовых культур. Высокий адаптивный потенциал и экологическая пластичность позволяют выращивать её практически по всему миру. Длительный селекционный процесс в отношении яблони позволил радикально улучшить исходный дикий вид *Malus sieversii* (Ledeb.) M.Roem. в отношении вкуса плодов, увеличения их размеров и урожайности. В связи с изменением климата земледельческих регионов, увеличением населения Земли, появлением новых биотипов фитопатогенов, приходится осваивать новые сельскохозяйственные территории, поэтому селекция плодовых культур продолжает стремительно развиваться. Помимо классического селекционного отбора, появляются новые генетические инструменты улучшения сортов, такие как, например, CRISPR, маркерная селекция.

В селекционных работах дикие виды яблони продолжают оставаться ценным биологическим ресурсом для использования в качестве источника генов устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам. Одним из перспективных в этом отношении видов является яблоня сибирская (*Malus baccata* (L.) Borkh.). Природные ареалы её обитания находятся в Восточной Сибири, Монголии и Северном Китае. Под давлением факторов внешней среды (зимние температуры до -50°C, короткий вегетационный период, суточные перепады температур) произошел естественный

отбор растений, обладающих высокой зимостойкостью, скороплодностью, устойчивостью к некоторым грибковым заболеваниям (парша) и т.д. [2; 3]. В процессе селекции, генный материал *M. baccata* был введен в *M. domestica*, что позволило адаптировать полученные гибриды к условиям резко континентального климата.

В настоящее время существует большое количество гибридных сортов (F1, F2, F3 и т.д.) яблони сибирской с яблоней домашней. Несмотря на то, что такие растения широко распространены в Сибири, за пределами России они известны мало. Следует отметить, что, помимо ценных сельскохозяйственных качеств (уникальной зимостойкости, скороплодности и устойчивости к ряду фитопатогенов), они обычно наследуют от яблони сибирской характерный, «сибирский» вкус плодов.

Как известно, вкус плодов, и яблок в том числе, определяется количеством и сочетанием различных типов углеводов. Например, в тканях плодов *M. domestica* основными сахарами являются фруктоза, глюкоза, сахароза. Необходимо отметить, что разные виды и сорта яблок, а также одни и те же сорта, выросшие в разных экологических условиях, могут отличаться по качественному и количественному составу углеводов, а значит и по вкусу. Помимо растворимых углеводов плоды яблони в большом количестве содержат пектиновые вещества, влияющие на текстуру плодов. Пектины представляют собой сложные структурные полимеры, участвующие в формировании клеточной стенки растений и играющие важную роль в процессах роста и растяжения клеток. В зависимости от степени полимеризации и других параметров, пектиновые вещества в клетке могут быть представлены в виде различных фракций, например, в виде нерастворимого протопектина, пектиновой кислоты и некоторых других. Структура, количественный и химический состав пектиновых веществ различается как у разных видов растений, так и у разных органов одного растения. Такие их свойства как различная степень этерификации, молекулярная масса, содержание ацетильных групп позволяет использовать пектины в качестве гелеобразователя, загустителя и стабилизатора в производстве кондитерских изделий, джемов, соков. Эти свойства также обуславливают фармакологическую активность пектинов, поэтому они активно применяются в фармацевтической промышленности в качестве сорбентов, для капсулирования лекарств и т.д. Информация о составе и содержании углеводов в плодах яблони сибирской и её гибридных сортов с яблоней домашней может быть полезной как с фундаментальной точки зрения - для оценки наследования этих признаков в поколениях гибридов, так и с

практической - в качестве маркера для отбора гибридов с улучшенными вкусовыми качествами.

Представленные в литературе сведения об углеводном составе тканей плодов рода Malus касаются, в основном, представителей вида *яблоня домашняя*. Есть ряд исследований, посвященных углеводному составу диких представителей рода, произрастающих на территории Китая, Индии, стран Центральной Азии. Однако информации об изучении биохимического состава сортов, принадлежащих к гибридам яблони сибирской и крупноплодных представителей яблони домашней крайне мало.

Цель. Сравнительный анализ углеводного состава (растворимых сахаров и пектинов) в тканях плодов *M. baccata* (L.) Borkh. и её гибридных сортов с *M. domestica* Borkh.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были использованы плоды *M. baccata,* гибридных сортов яблони сибирской - Алтайское румяное, Живинка, Красноярское зимнее, Красноярской сладкое, Пепинчик красноярский, Неженка, Пальметта, Подарок БАМу, Ранетка пурпуровая, Добрыня, Сибирский сувенир, представители *M. domestica* - Чудное, Раннее Болоняева, выращенных на территории Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской Академии наук (55°42′27″ N 37°31′38″ E). Плоды для анализа отбирались на стадии биологической зрелости, в течение 4 лет - 2018, 2020, 2021 и 2022 годах.

Выделение и анализ растворимых сахаров

Навеску растительных тканей массой 0,2-0,3 г фиксировали в жидком азоте и гомогенизировали в 10 мл 80%-ного этанола. Раствор количественно переносили в центрифужные пробирки, озвучивали в течение 10 минут при температуре 15°C в ультразвуковой ванне (Сапфир, Россия) и центрифугировали (центрифуга Allegra 64R, Beckman Coulter Life Sciences, США) в течение 10 минут при температуре 15°C, 8000 об/мин. Надосадочную жидкость переливали в колбы с круглым дном и выпаривали досуха на роторном испарителе при температуре 55°C. Затем объём пробы доводили до 1 мл деионизированной водой и образцы очищали методом твердофазной экстракции на концентрирующих картриджах Диапак-Амин. Предварительно картриджи промывали последовательно 5 мл ацетонитрила и 5 мл деионизированной воды. После измерения объёма очищенного раствора аликвоту в 200

мкл переносили в эппендорф и смешивали с 600 мкл ацетонитрила (Криохром, Россия, сорт 0).

Комплекс растворимых сахаров исследовали методом ВЭЖХ на приборе Shimadzu LC-10 ATvp (Япония), колонка SUPELCOSIL LC-NH_2, 5 мкм, размеры колонки: 25 см × 4,6 мм (Merk, Германия). Неподвижной фазой была модифицированная фаза NH2, в качестве подвижной фазы использовали 75% ацетонитрил в деионизированной воде. Режим элюирования- изократический, скорость потока элюента составляла 1 мл/мин при t=25°C. Соединения идентифицировали с использованием времени удерживания стандартных образцов: сахарозы, фруктозы, сорбита, галактозы, глюкозы («НеваРеактив», Россия), а также методом добавок.

Выделение пектиновых фракций

Образец растительного сырья (5 г) гомогенизировали с добавлением 25 мл 96%-ного этанола, нагретого до 85°C, затем озвучивали в течение 10 минут в ультразвуковой ванне (Сапфир, Россия). Полученный раствор нагревали в течение 20 минут на водяной бане с воздушным холодильником. Далее центрифугировали (центрифуга Allegra 64R, Beckman Coulter Life Sciences, США) в течение 10 минут при 8000 об/мин, удаляли надосадочную жидкость. К полученному осадку добавляли 25 мл деионизованной воды, нагретой до 45°C, затем повторно нагревали в течение 1 часа на водяной бане с воздушным холодильником и снова центрифугировали в течение 10 минут при 8000 оборотах в минуту. Супернатант количественно переносили в мерные пробирки, измеряя объём полученной водорастворимой фракции пектина.

Для получения фракции протопектина оставшийся осадок смешивали с 20 мл 0,3 Н соляной кислоты, нагревали в течение 30 минут на кипящей водяной бане с воздушным холодильником и центрифугировали в течение 10 минут при скорости 8000 об/мин. Супернатант сливали в мерную колбу. Оставшийся осадок промывали горячей водой, измеряли получившийся объём и смешивали с раствором 1% лимоннокислого аммония в соотношении 1:1, а затем снова нагревали на водяной бане в течение 30 минут и центрифугировали. Супернатант приливали к предыдущему экстракту и измеряли объём.

Количественное определение пектиновых веществ

Содержание пектиновых веществ определяли карбазольным методом [21]. Перед этим деметоксилирование проводили следующим способом: 10 мл пектинового экстракта смешивали с 10 мл 0,05 Н раствора NaOH и оставляли при комнатной температуре на 30 минут. После этого к раствору добавляли 10 мл 0,05 Н HCl.

Из каждого образца по 3 мл экстракта переносили в стеклянную пробирку, куда по капле добавляли 3 мл 0,25%-ного раствора $Na_2B_4O_7 \times 10\ H_2O$ в концентрированной H_2SO_4. Пробирки тщательно встряхивали и охлаждали на льду. Пробирки с образцами помещали на кипящую водяную баню на 6 минут, а затем снова охлаждали на льду. К охлажденным образцам добавляли 100 мкл 0,2%-ного раствора карбазола и кипятили на водяной бане 10 минут, затем снова охлаждали на льду. Содержание пектиновых веществ анализировали спектрофотометрическим методом на приборе Hitachi U-1100 (Япония) при длине волны 535 нм. Для построения калибровочной кривой использовали известные концентрации галактуроновой кислоты (Sigma-Aldrich, США).

Степень этерификации (DE) образцов пектина оценивали методом ИК-спектрофотометрии на приборе FT-IR Spectrum One (Perkin Elmer, США), оснащенном программой Quant+ с возможностью количественного анализа компонентов в сложных смесях. Спектры регистрировались в режиме пропускания в диапазоне волновых чисел 4000-400 $см^{-1}$ с разрешением 4 $см^{-1}$.

Для расчета DE использовали формулу [4]:

$$DE\ (\%) = \frac{A_{1730}}{A_{1730} + A_{1600}}.$$

Определение размера клеток

Размер клеток определяли при помощи светового микроскопа Carl Zeiss Jena (Германия).

Статистическая обработка результатов

Ткани одного плода рассматривали как одну биологическую повторность. Каждый опыт проводили в 3−4 биологических повторностях. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета Microsoft Excel 2016. Для всех случаев приведены средние значения и их стандартные ошибки. Достоверность различий между вариантами определяли с помощью t-критерия Стьюдента ($P \leq 0,5$).

Результаты и обсуждение

По результатам, представленным в Таблице 1, можно видеть, что в процессе гибридизации размер плодов существенно увеличивается. Так, если вес плодов яблони сибирской составлял в среднем 0,75 г, то в гибридах первого поколения этот показатель составлял до 20-30 г и до 70 г в гибридах второго поколения (сорта Неженка и Алтайское румяное).

Таблица 1.

Морфологические характеристики исследованных генотипов

Генотип	Степень гибридизации	Вес плодов, г	Размер клеток, мкм
Яблоня сибирская	*M. baccata*	0,75-1	17,10±3,27
Ранетка пурпуровая	F1	7-10	49,39±10,74
Добрыня	F1	6-10	31,19±6,25
Сибирский сувенир	F1	21-38	18,99±2,33
Пальметта	F1	25-33	23,08±3,45
Красноярское зимнее	F2	35-40	19,30±2,93
Красноярский пепинчик	F2	15-20	19,69±2,63
Красноярское сладкое	F2	50-60	20,05±3,16
Живинка	F2	12-15	19,86±4,23
Подарок БАМу	F2	9-10	17,68±2,63
Алтайское румяное	F2	55-70	24,73±3,40
Неженка	F3	48-50	21,98±3,03
Чудное	*M. domestica*	40-70	22,8±3,07
Раннее Болоняева	*M. domestica*	75-120	23,87±3,81

Следует отметить, большой разброс значений размеров клеток у разных генотипов. От 17,10 мкм у яблони сибирской и 17,68 у Подарок БАМу до 49,39 мкм у Ранетки пурпуровой и 31,19 мкм у Добрыни. Размер клеток у гибридов не коррелировал с размером плодов. Вполне возможно, что по параметру размера клеток у гибридов F1 проявляется эффект гетерозиса. Размеры клеток плодов в поколениях F2, F3 и группе яблони домашней примерно одинаковы, в среднем составляют около 22-23 мкм.

Таблица 2.

Содержание пектиновых фракций (мг/г сырого веса) и степень их этерификации (%) в тканях плодов исследованных генотипов

Вид	Водорастворимый пектин, мг/г сырого веса	DE, %	Протопектин, мг/г сырого веса	DE, %
Яблоня сибирская	0,067±0,020	53	0,188±0,023	57
Ранетка пурпуровая	0,078±0,014	69	0,137±0,014	58
Добрыня	0,023±0,009	54	0,165±0,052	64
Сибирский сувенир	0,057±0,010	68	0,019±0,015	64
Пальметта	0,014±0,006	56	0,047±0,025	58
Красноярское зимнее	0,030±0,003	71	0,055±0,009	68
Красноярский пепинчик	0,075±0,001	57	0,163±0,038	64

Красноярское сладкое	0,043±0,003	76	0,079±0,034	71
Живинка	0,023±0,001	56	0,036±0,002	70
Подарок БАМу	0,062±0,003	57	0,041±0,025	65
Алтайское румяное	0,049±0,002	67	0,042±0,003	68
Неженка	0,028±0,001	73	0,045±0,008	69
Чудное	0,041±0,013	60	0,062±0,004	58
Раннее Болоняева	0,006±0,004	58	0,019±0,006	60

Данные, представленные в Таблице 2, показывают, что в тканях плодов яблони сибирской наблюдается самое большое содержание протопектина (ПП) – 0,188 мг/г сырого веса, и достаточно высокое содержание водорастворимого пектина (ВрП) – 0,067 мг/г сырого веса. Однако, степень этерификации у пектинов яблони сибирской в обоих фракциях довольно высокая, в среднем от 53% до 57%.

В группе генотипов F1 наблюдали большой разброс значений содержания как ВРП, так и ПП. Наименьшее содержание ВрП – 0,019 мг/г сырого веса отмечено в тканях плодов Пальметты, наибольшее - 0,078 мг/г сырого веса, в плодах Ранетки пурпуровой. Наибольшим содержанием протопектина также отличались ткани плодов Ранетки пурпуровой и Добрыни – 0,137 и 0,165 мг/г сырого веса соответственно. А наименьшее содержание ПП в группе F1 характерно для тканей плодов Сибирского сувенира – 0,019 мг/г сырого веса. На основании представленных данных, а также анализа морфометрических характеристик плодов, можно предположить, что сорта Пальметта и Сибирский сувенир не являются гибридами первого поколения. Данное заключение основывается на том, что фенотипические и биохимические признаки этих сортов не соответствуют ожидаемым характеристикам гибридов F1, что подтверждается статистическими методами и сравнительным анализом с контрольными образцами.

Степень этерификации в гибридах F1 довольно высокая, в среднем составляет 61-62 % как в ВрП, так и в ПП. Наибольшая степень этерификации отмечается в ВрП плодов Ранетки пурпуровой, Сибирского сувенира; ПП – Добрыни и Сибирского сувенира.

В группе генотипов F2 наблюдали схожие между собой показатели содержания пектиновых веществ. В среднем, содержание ВрП составляет 0,05 мг/г сырого веса, а ПП-0,07 мг/г сырого веса. Наибольшим содержанием как ВрП, так и ПП выделялся сортовой гибрид Красноярский пепинчик – в тканях его плодов содержалось 0,075 мг/г и 0,163 мг/г сырого веса, соответственно. Наименьшим содержанием обеих пектиновых фракций характеризовался сорт

Живинка-0,023 и 0,036 мг/г сырого веса соответственно. В поколении F3 наблюдается достаточно высокая степень этерификации пектиновых фракций во всех исследованных генотипах, и в среднем она составляла 64% в ВрП и 68% в ПП. Самая высокая степень этерификации наблюдалась в генотипах Красноярское зимнее, Красноярское сладкое, Алтайское румяное.

Представитель F3 – генотип Неженка, имел относительно низкое содержание пектинов обеих фракций. Однако степень этерификации как ВрП, так и ПП была высокая – 73% и 69%, соответственно. Оба представителя яблони домашней имели свои особенности в содержании пектинов. У сорта Чудное наблюдали характерное для поколений F1 и F2 содержание пектина в его плодах, а ткани плодов сорта Раннее Болоняева имели минимальное относительно других генотипов содержание пектиновых веществ - 0,006 мг/г сырого веса ВрП и 0,019 мг/г мг/г сырого веса ПП. Этерификация в обоих генотипах наблюдалась довольно высокая – 58-60%.

Как видно из Таблицы 3, в тканях плодов яблони сибирской основные растворимые углеводы были в основном представлены сорбитолом и сахарозой. Содержание сорбитола достигало 24%, сахарозы – 55% от суммы сахаров. Доминирующим растворимым углеводом в тканях всех остальных исследованных генотипов, была фруктоза, её содержание варьировалось от 36% до 70%. Что касается абсолютного содержания сахаров в тканях плодов гибридов, их определяли отдельно для кожуры и пульпы.

Таблица 3.

Содержание растворимых углеводов (мг/г сырого веса) в тканях плодов исследованных генотипов

Генотип	Кожура				Пульпа			
	Фруктоза	Сорбитол	Глюкоза	Сахароза	Фруктоза	Сорбитол	Глюкоза	Сахароза
Яблоня сибирская	0,93±0,14	2,33±0,31	2,15±0,48	4,71±0,81	1,12±0,18	2,27±0,27	-	5,91±0,66
Ранетка пурпуровая	5,48±1,94	1,34±0,52	5,62±2,21	-	5,56±0,98	1,14±0,20	5,03±1,19	-
Добрыня	2,89±0,06	1,01±0,06	1,51±0,02	1,31±0,12	5,04±0,75	1,31±0,16	2,94±0,23	1,67±0,28
Сибирский сувенир	4,45±1,23	0,14±0,20	0,39±0,55	3,16±1,17	4,79±0,90	0,97±0,23	-	1,98±0,73
Пальметта	4,24±2,85	0,676±0,73	4,182±2,77	3,12±0,15	4,37±2,78	0,80±0,73	1,70±0,15	1,16±0,11
Красноярское зимнее	7,60±1,28	1,38±0,48	0,67±0,31	0,47±0,67	7,93±0,89	1,61±0,48	2,67±0,31	1,62±0,46
Красноярский пепинчик	4,64±1,05	1,37±1,00	1,09±0,51	3,99±1,17	6,97±1,20	3,47±1,03	0,46±0,17	1,22±0,34

Красноярское сладкое	1,44±0,17	-	-	3,13±0,34	3,71±1,48	2,26±0,07	0,66±0,08	2,75±1,73
Живинка	3,36±0,05	0,28±0,05	0,25±0,06	3,62±0,62	4,75±0,34	0,33±0,07	0,25±0,02	3,53±0,82
Подарок БАМу	4,76±3,32	1,00±1,43	2,40±4,22	1,09±0,47	4,54±1,03	2,33±0,83	0,72±0,22	2,35±0,91
Алтайское румяное	5,38±2,38	1,38±0,92	-	3,03±1,07	4,20±0,87	0,85±0,39	-	3,26±2,45
Неженка	4,22±1,10	0,09±0,12	0,72±0,85	1,12±0,16	5,01±1,46	0,18±0,13	0,14±0,20	4,63±6,54
Чудное	1,27±0,13	0,15±0,05	0,15±0,09	2,56±0,15	3,45±0,09	0,48±0,04	0,68±0,15	4,34±0,34
Раннее Болоняева	4,51±3,50	0,11±0,03	0,38±0,16	1,39±0,29	5,66±3,75	0,75±0,24	0,82±0,24	5,42±1,83

В поколении F1 самым высоким содержанием сорбита как в кожуре, так и в пульпе – 1,34 мг/г и 1,14 мг/г сырого веса, соответственно, отличалась Ранетка пурпуровая. Самый высокий уровень глюкозы наблюдали также в тканях плодов Ранетки пурпуровой – до 5,62 мг/г и кожуре сорта Пальметта – 4,18 мг/г.

В поколении F2 самое высокое содержание фруктозы наблюдали в тканях плодов Красноярского зимнего – 7,6 мг/г в кожуре и 7,93 мг/г в пульпе, соответственно, пульпе Красноярского пепинчика – 6,97 мг/г и кожуре Алтайского румяного – 5,38 мг/г.

Высокое содержание сорбитола наблюдали также в тканях Красноярского зимнего – 1,38 мг/г в кожуре и 1,61 мг/г в пульпе, Красноярского пепинчика – 1,37 мг/г и 3,47 мг/г соответственно. Содержание глюкозы во всех генотипах F2 было ниже, чем в поколении F1 и яблоне сибирской.

Содержание сахарозы в кожуре генотипов F2 варьировало от 0,74 мг/г до 3,99 мг/г, в пульпе – от 1,22 мг/г до 3,53 мг/г.

Ткани генотипа F3 Неженка и генотипы яблони домашней отличались низким содержанием сорбитола – от 0,09 мг/г до 0,15 мг/г в кожуре и от 0,15 мг/г до 0,48 мг/г в пульпе; глюкозы – то 0,15 мг/г до 0,72 мг/г в кожуре и 0,14 мг/г – 0,68 мг/г в пульпе.

Как известно, углеводы являются продуктом фотосинтеза и одним из основных компонентов тканей растений. Фотоассимилянты в виде транспортных форм (сорбитол и сахароза) перемещаются из листьев в аттрагирующие ткани плодов и участвуют в процессе их роста и развития. Растворимые сахара обеспечивают плоды энергией для поддержания клеточного деления и последующего роста клеток. Стадия пролиферации в плодах яблонь завершается примерно через 4 недели после опыления [21]. После чего накопленный сорбит и сахароза, поступившие в незрелые плоды, могут конвертироваться в запасающие углеводы, такие как фруктоза

и глюкоза; полимеризоваться в компоненты клеточной стенки (пектин, лигнин); в зависимости от потребностей растения, метаболизироваться в другие соединения, такие как, например, аскорбиновая кислота.

Установлено, что плоды яблони сибирской в отличие от яблони домашней, имеют очень высокое содержание АК, сравнимое с таковым в плодах красной смородины и облепихи [6; 8]. Следует отметить, что ткани плодов исследованных гибридных генотипов содержали меньше АК, чем плоды яблони сибирской, но гораздо больше, чем ткани яблони домашней [10; 11].

Как известно, комплекс растворимых углеводов и органических кислот отвечает за формирование сладости и вкуса яблок. В плодах различных сортов *M. domestica* доминирующим растворимым углеводом является фруктоза [12; 24; 15]. Как показали проведенные нами исследования, в тканях гибридных генотипов, содержание фруктозы варьировало от 36% до 70% от суммы сахаров. В тканях плодов яблони сибирской доминирующими растворимыми углеводами были именно транспортные формы - сорбитол и сахароза. В процессе гибридизации, содержание сорбитола в тканях плодов существенно снижалось и было минимальным в плодах яблони домашней. Можно предположить, что особенности углеводного метаболизма родительского генотипа (яблони сибирской) и/или короткий вегетационный период резко-континентального климата Восточной Сибири приводят к затруднениям в конвертации транспортных сахаров (сахарозы и сорбита) в запасающие (фруктозу) [17; 10]. Логично предположить, что такой углеводный состав отрицательно влияет на размер и вкус плодов яблони сибирской и её гибридов. Кроме того, возможно, с таким составом углеводов отчасти связан и размер клеток, который важен для формирования текстуры созревших плодов.

Пектины представляют собой большое семейство полисахаридов клеточной стенки растений, выполняющих различные функции. Известно, что соотношение фракций водорастворимого пектина и протопектина в плодах некоторых культурных растений напрямую связано со стадией их созревания, по мере приближения к стадии биологической зрелости количество протопектина в них уменьшается [23; 19]. У большинства исследованных нами генотипов содержание протопектина было выше, чем водорастворимой пектиновой фракции. Общее содержание пектина в плодах уменьшалось от яблони сибирской к генотипам яблони домашней. Этерификация обеих фракций пектина всех исследованных была высокой, выше 50% [13]. Как известно, компоненты клеточной стенки, такие как целлюлоза,

гемицеллюлоза, пектины и лигнин, имеют решающее значение для формирования иммунитета растений, поскольку мутации генов, связанных с биосинтезом или модификацией клеточной стенки, приводит к изменениям в устойчивости к болезням у многих видов [21; 5]. В исследовании Лионетти и др. [14] было продемонстрировано что изменение степени этерификации пектина играет важную роль во взаимодействии растений с патогенами. Деэтерификация пектина влияет на восприимчивость клеточной стенки к грибковым и бактериальным ферментам, а также на структуру и функциональность механизмов проникновения и распространения вирусов. Олигомеры галактуроновой кислоты, высвобождающиеся из клеточной стенки при заражении патогенами, играют роль сигнальных молекул, запускающих каскадные реакции иммунного ответа, что приводит, в итоге, к повышению устойчивости растений к болезням. Как известно, яблоня сибирская и исследованные в этой работе сорта, обладающие значительным содержанием пектинов и их высокой этерификацией имеют высокую устойчивость к ряду заболеваний, в том числе широко распространённой парше, вызываемой грибом *Venturia inaequalis* [2].

Ранее было показано, что размер клеток плодов яблони в среднем составляет от 50 до 150 мкм. [9]. Как уже говорилось выше, размер клеток плодов исследованных нами генотипов, включая поколения F3 и сорта яблони домашней, в среднем составляли 17-25 мкм и самым большим был у ранетки пурпуровой – около 50 мкм. Безусловно, размер клеток растений определяется множеством факторов, включая генетические особенности, условия окружающей среды и биохимические процессы [16; 7]. Однако, размер клеток мякоти может быть важным фактором при формировании восприимчивости плодов к поражению грибками и другими патогенами у различных сортов яблони [18]. Так, самый большой из исследованных генотипов размер клеток у плодов Ранетки пурпуровой сопровождается наименьшей её устойчивостью к поражению паршой [1]. Можно предположить, что совокупность высокого содержания пектинов, степени их этерификации и размера клеток является одним из аспектов, формирующих устойчивость исследованных генотипов к патогенам.

Заключение

Плоды гибридов яблони сибирской существенно отличаются от сортов яблони домашней высоким содержанием и этерификацией пектинов, количеством и качеством растворимых углеводов. Эти генотипы, по-видимому, в силу особенностей биохимического состава, имеют более высокую рези-

стентность к патогенам. Выявление и выведение новых гибридов яблони сибирской с наиболее оптимальным комплексом агротехнических и потребительских качеств, а также систематизация и анализ биохимических параметров, в том числе анализ углеводного состава - важнейшая задача адаптивной селекции, способствующая выведению новых сортов в условиях рискованного земледелия.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках реализации государственных заданий СИФИБР СО РАН № 0277-2025-0006 «Изучение механизмов формирования, поддержания и регуляции устойчивого состояния растений: генетические, физиолого-биохимические, эволюционные и экологические аспекты» и ФНЦ ИЦИГ СО РАН по проекту № FWNR-2022-0017 «Генетический контроль развития и формирования хозяйственно-ценных признаков у сельскохозяйственных растений». В работе использовано оборудование ЦКП «Биоаналитика» СИФИБР СО РАН и ЦКП репродукции растений ИЦиГ СО РАН.

Список литературы

1. Макаренко, С. А., & Артюх, С. Н. (2015). Оценка селекционного фонда яблони с выделением источников полигенной устойчивости к парше. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, (35), 13–27. EDN: https://elibrary.ru/UIRMYX
2. Макаренко, С. А., & Калинина, И. П. (2016). Генетический потенциал в селекции яблони на юге Западной Сибири. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, *177*(1), 91–109. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-1-91-109. EDN: https://elibrary.ru/VXBWLV
3. Савельев, Н. И., Лыжин, А. С., & Савельева, Н. Н. (2016). Отбор перспективных генотипов яблони на колонновидность и устойчивость к парше с помощью диагностических ДНК-маркеров. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, *20*(3), 329–332. https://doi.org/10.18699/VJ16.122. EDN: https://elibrary.ru/PSROYL
4. Dranca, F., Vargas, M., & Oroian, M. (2020). Physicochemical properties of pectin from *Malus domestica* 'Falticeni' apple pomace as affected by non-conventional extraction techniques. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105383. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105383. EDN: https://elibrary.ru/DYVCZG
5. Engelsdorf, T., Will, C., Hofmann, J., Schmitt, C., Merritt, B. B., Rieger, L., Frenger, M. S., Marschall, A., Franke, R. B., Pattathil, S., & Voll, L. M. (2017). Cell wall composition and penetration resistance against the fungal pathogen

Colletotrichum higginsianum are affected by impaired starch turnover in *Arabidopsis* mutants. *Journal of Experimental Botany*, *68*(3), 701–713.
6. Fang, T., Zhen, Q., Liao, L., Owiti, A., Zhao, L., Korban, S. S., & Han, Y. (2017). Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, *225*, 132–137.
7. Harada, T., Kurahashi, W., Yanai, M., Wakasa, Y., & Satoh, T. (2005). Involvement of cell proliferation and cell enlargement in increasing the fruit size of *Malus* species. *Scientia Horticulturae*, *105*(4), 447–456.
8. Kapur, A., Hasković, A., Čopra-Janićijević, A., Klepo, L., Topčagić, A., Tahirović, I., & Sofić, E. (2012). Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, *38*(4), 39–42.
9. Khan, A. A., & Vincent, J. F. V. (1990). Anisotropy of apple parenchyma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *52*(4), 455–466.
10. Stavitskaya, Z., Dudareva, L., Rudikovskii, A., Garkava-Gustavsson, L., Shabanova, E., Levchuk, A., & Rudikovskaya, E. (2023). Evaluation of the carbohydrate composition of crabapple fruit tissues native to Northern Asia. *Plants*, *12*(19), 3472. https://doi.org/10.3390/plants12193472. EDN: https://elibrary.ru/LEVYAR
11. Rudikovskaya, E. G., Dudareva, L. V., Shishparenok, A. A., & Rudikovskii, A. V. (2015). Peculiarities of polyphenolic profile of fruits of Siberian crab apple and its hybrids with *Malus* × *domestica* Borkh. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*, 1–8. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1993-6. EDN: https://elibrary.ru/VAHEDT
12. Li, M., Feng, F., & Cheng, L. (2012). Expression patterns of genes involved in sugar metabolism and accumulation during apple fruit development. *PLOS ONE*, *7*(3), e33055.
13. Liang, W. L., Liao, J. S., Qi, J. R., Jiang, W. X., & Yang, X. Q. (2022). Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification. *Food Chemistry*, *375*, 131806. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131806. EDN: https://elibrary.ru/XIPWYG
14. Lionetti, V., Cervone, F., & Bellincampi, D. (2012). Methyl esterification of pectin plays a role during plant-pathogen interactions and affects plant resistance to diseases. *Journal of Plant Physiology*, *169*(16), 1623–1630. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.006. EDN: https://elibrary.ru/RMHPNP
15. Ma, B., Chen, J., Zheng, H., Fang, T., Ogutu, C., Li, S., Han, Y., & Wu, B. (2015). Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, *172*, 86–91.

16. Malladi, A., & Hirst, P. M. (2010). Increase in fruit size of a spontaneous mutant of 'Gala' apple (*Malus* × *domestica* Borkh.) is facilitated by altered cell production and enhanced cell size. *Journal of Experimental Botany*, *61*(11), 3003–3013. https://doi.org/10.1093/jxb/erq134. EDN: https://elibrary.ru/NZQJNN
17. Mignard, P., Beguería, S., Giménez, R., Font i Forcada, C., Reig, G., & Moreno, M. Á. (2022). Effect of genetics and climate on apple sugars and organic acids profiles. *Agronomy*, *12*(4), 827. https://doi.org/10.3390/agronomy12040827. EDN: https://elibrary.ru/RMOCDA
18. Naets, M., Wang, Z., Verboven, P., Nicolai, B., Keulemans, W., & Geeraerd, A. (2020). Size does matter — susceptibility of apple for grey mould is affected by cell size. *Plant Pathology*, *69*(1), 60–67.
19. Ornelas-Paz, J. D. J., Quintana-Gallegos, B. M., Escalante-Minakata, P., Reyes-Hernández, J., Pérez-Martínez, J. D., Rios-Velasco, C., & Ruiz-Cruz, S. (2018). Relationship between the firmness of Golden Delicious apples and the physicochemical characteristics of the fruits and their pectin during development and ripening. *Journal of Food Science and Technology*, *55*, 33–41. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2758-6. EDN: https://elibrary.ru/BVAVVU
20. Taylor, K. A., & Buchanan-Smith, J. G. (1992). A colorimetric method for the quantitation of uronic acids and a specific assay for galacturonic acid. *Analytical Biochemistry*, *201*(1), 190–196.
21. Tijero, V., Girardi, F., & Botton, A. (2021). Fruit development and primary metabolism in apple. *Agronomy*, *11*(6), 1160. https://doi.org/10.3390/agronomy11061160. EDN: https://elibrary.ru/WXGHVU
22. Wan, J., He, M., Hou, Q., Zou, L., Yang, Y., Wei, Y., & Chen, X. (2021). Cell wall associated immunity in plants. *Stress Biology*, *1*(1), 3. https://doi.org/10.1007/s44154-021-00003-4. EDN: https://elibrary.ru/CUHTGN
23. Wang, D., Yeats, T. H., Uluisik, S., Rose, J. K., & Seymour, G. B. (2018). Fruit softening: revisiting the role of pectin. *Trends in Plant Science*, *23*(4), 302–310.
24. Wu, J., Gao, H., Zhao, L., Liao, X., Chen, F., Wang, Z., & Hu, X. (2007). Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, *103*(1), 88–93.

References

1. Makarenko, S. A., & Artyukh, S. N. (2015). Evaluation of the apple breeding stock with identification of sources of polygenic resistance to scab. *Fruit Growing and Viticulture of the South of Russia*, *(35)*, 13–27. EDN: https://elibrary.ru/UIRMYX

2. Makarenko, S. A., & Kalinina, I. P. (2016). Genetic potential in apple breeding in the south of Western Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, *177*(1), 91–109. https://doi.org/10.30901/2227-8834-2016-1-91-109. EDN: https://elibrary.ru/VXBWLV
3. Savelyev, N. I., Lyzhin, A. S., & Savelyeva, N. N. (2016). Selection of promising apple genotypes for columnar growth habit and scab resistance using diagnostic DNA markers. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, *20*(3), 329–332. https://doi.org/10.18699/VJ16.122. EDN: https://elibrary.ru/PSROYL
4. Dranca, F., Vargas, M., & Oroian, M. (2020). Physicochemical properties of pectin from *Malus domestica* 'Falticeni' apple pomace as affected by non-conventional extraction techniques. *Food Hydrocolloids*, *100*, 105383. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105383. EDN: https://elibrary.ru/DYVCZG
5. Engelsdorf, T., Will, C., Hofmann, J., Schmitt, C., Merritt, B. B., Rieger, L., Frenger, M. S., Marschall, A., Franke, R. B., Pattathil, S., & Voll, L. M. (2017). Cell wall composition and penetration resistance against the fungal pathogen *Colletotrichum higginsianum* are affected by impaired starch turnover in *Arabidopsis* mutants. *Journal of Experimental Botany*, *68*(3), 701–713.
6. Fang, T., Zhen, Q., Liao, L., Owiti, A., Zhao, L., Korban, S. S., & Han, Y. (2017). Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, *225*, 132–137.
7. Harada, T., Kurahashi, W., Yanai, M., Wakasa, Y., & Satoh, T. (2005). Involvement of cell proliferation and cell enlargement in increasing the fruit size of *Malus* species. *Scientia Horticulturae*, *105*(4), 447–456.
8. Kapur, A., Hasković, A., Čopra-Janićijević, A., Klepo, L., Topčagić, A., Tahirović, I., & Sofić, E. (2012). Spectrophotometric analysis of total ascorbic acid content in various fruits and vegetables. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*, *38*(4), 39–42.
9. Khan, A. A., & Vincent, J. F. V. (1990). Anisotropy of apple parenchyma. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *52*(4), 455–466.
10. Stavitskaya, Z., Dudareva, L., Rudikovskii, A., Garkava-Gustavsson, L., Shabanova, E., Levchuk, A., & Rudikovskaya, E. (2023). Evaluation of the carbohydrate composition of crabapple fruit tissues native to Northern Asia. *Plants*, *12*(19), 3472. https://doi.org/10.3390/plants12193472. EDN: https://elibrary.ru/LEVYAR
11. Rudikovskaya, E. G., Dudareva, L. V., Shishparenok, A. A., & Rudikovskii, A. V. (2015). Peculiarities of polyphenolic profile of fruits of Siberian crab apple and its hybrids with *Malus* × *domestica* Borkh. *Acta Physiologiae Plantarum*, *37*, 1–8. https://doi.org/10.1007/s11738-015-1993-6. EDN: https://elibrary.ru/VAHEDT

12. Li, M., Feng, F., & Cheng, L. (2012). Expression patterns of genes involved in sugar metabolism and accumulation during apple fruit development. *PLOS ONE*, *7*(3), e33055.
13. Liang, W. L., Liao, J. S., Qi, J. R., Jiang, W. X., & Yang, X. Q. (2022). Physicochemical characteristics and functional properties of high methoxyl pectin with different degree of esterification. *Food Chemistry*, *375*, 131806. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131806. EDN: https://elibrary.ru/XIPWYG
14. Lionetti, V., Cervone, F., & Bellincampi, D. (2012). Methyl esterification of pectin plays a role during plant-pathogen interactions and affects plant resistance to diseases. *Journal of Plant Physiology*, *169*(16), 1623–1630. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.006. EDN: https://elibrary.ru/RMHPNP
15. Ma, B., Chen, J., Zheng, H., Fang, T., Ogutu, C., Li, S., Han, Y., & Wu, B. (2015). Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, *172*, 86–91.
16. Malladi, A., & Hirst, P. M. (2010). Increase in fruit size of a spontaneous mutant of 'Gala' apple (*Malus* × *domestica* Borkh.) is facilitated by altered cell production and enhanced cell size. *Journal of Experimental Botany*, *61*(11), 3003–3013. https://doi.org/10.1093/jxb/erq134. EDN: https://elibrary.ru/NZQJNN
17. Mignard, P., Beguería, S., Giménez, R., Font i Forcada, C., Reig, G., & Moreno, M. Á. (2022). Effect of genetics and climate on apple sugars and organic acids profiles. *Agronomy*, *12*(4), 827. https://doi.org/10.3390/agronomy12040827. EDN: https://elibrary.ru/RMOCDA
18. Naets, M., Wang, Z., Verboven, P., Nicolai, B., Keulemans, W., & Geeraerd, A. (2020). Size does matter — susceptibility of apple for grey mould is affected by cell size. *Plant Pathology*, *69*(1), 60–67.
19. Ornelas-Paz, J. D. J., Quintana-Gallegos, B. M., Escalante-Minakata, P., Reyes-Hernández, J., Pérez-Martínez, J. D., Rios-Velasco, C., & Ruiz-Cruz, S. (2018). Relationship between the firmness of Golden Delicious apples and the physicochemical characteristics of the fruits and their pectin during development and ripening. *Journal of Food Science and Technology*, *55*, 33–41. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2758-6. EDN: https://elibrary.ru/BVAVVU
20. Taylor, K. A., & Buchanan-Smith, J. G. (1992). A colorimetric method for the quantitation of uronic acids and a specific assay for galacturonic acid. *Analytical Biochemistry*, *201*(1), 190–196.
21. Tijero, V., Girardi, F., & Botton, A. (2021). Fruit development and primary metabolism in apple. *Agronomy*, *11*(6), 1160. https://doi.org/10.3390/agronomy11061160. EDN: https://elibrary.ru/WXGHVU

22. Wan, J., He, M., Hou, Q., Zou, L., Yang, Y., Wei, Y., & Chen, X. (2021). Cell wall associated immunity in plants. *Stress Biology*, *1*(1), 3. https://doi.org/10.1007/s44154-021-00003-4. EDN: https://elibrary.ru/CUHTGN
23. Wang, D., Yeats, T. H., Uluisik, S., Rose, J. K., & Seymour, G. B. (2018). Fruit softening: revisiting the role of pectin. *Trends in Plant Science*, *23*(4), 302–310.
24. Wu, J., Gao, H., Zhao, L., Liao, X., Chen, F., Wang, Z., & Hu, X. (2007). Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, *103*(1), 88–93.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рудиковская Елена Георгиевна, старший научный сотрудник, к.б.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
rudal69@mail.ru

Ставицкая Злата Олеговна, ведущий инженер
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
stavitskaya.zlata@gmail.com

Дударева Любовь Виссарионовна, заведующая лабораторией физико-химических методов исследования, к.б.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
laser@sifibr.irk.ru

Семёнова Наталья Викторовна, старший научный сотрудник, к.б.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
tashasemyonova@mail.ru

Катышева Наталья Баировна, научный сотрудник, к.б.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»

ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
mitanova2014@yandex.ru

Рудиковский Александр Викторович, ведущий научный сотрудник, к.б.н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Сибирский институт физиологии и биохимии растений»
ул. Лермонтова, 132, г. Иркутск, 664033, Российская Федерация
rudikovalex@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena G. Rudikovskaya, Senior Researcher, Ph.D. of Biological Sciences
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
rudal69@mail.ru
SPIN-code: 2570-1492
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5709-2370
ResearcherID: J-4370-2018

Zlata O. Stavitskaya, Lead Engineer
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
stavitskaya.zlata@gmail.com
SPIN-code: 7004-0986
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6216-026X
ResearcherID: AAQ-6281-2021
Scopus Author ID: 57208390540

Lyubov V. Dudareva, Head of the Laboratory of Physical and Chemical Research Methods, Ph.D. of Biological Sciences
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
laser@sifibr.irk.ru
SPIN-code: 5035-0941
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1185-7467
ResearcherID: G-8812-2013
Scopus Author ID: 6602801950

Natalia V. Semenova, Senior Researcher, Ph.D. of Biological Sciences
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
tashasemyonova@mail.ru
SPIN-code: 4495-1114
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1076-3944
ResearcherID: GXF-6209-2022
Scopus Author ID: 57188661726

Natalia B. Katysheva, Research Associate, Ph.D. of Biological Sciences
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
mitanova2014@yandex.ru
SPIN-code: 9904-8371
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5847-1695
ResearcherID: J-4386-2018
Scopus Author ID: 57202500144

Alexander V. Rudikovskii, Leading Researcher, Ph.D. of Biological Sciences
Scientific Research Institute «Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry»
132, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation
rudikovalex@mail.ru
SPIN-code: 3125-2320
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8567-0318
ResearcherID: HPD-0129-2023
Scopus Author ID: 57208387268

Поступила 21.05.2025 Received 21.05.2025
После рецензирования 30.06.2025 Revised 30.06.2025
Принята 02.07.2025 Accepted 02.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1653 **EDN: GYYSWT**
UDC 581.48:581.47

CC BY NC ND

Original article

FEATURES OF SEED GERMINATION OF RIBES AUREUM PURSH. DURING A PERIOD OF DEEP REST

R.A. Nigmatzyanov, V.N. Sorokopudov, O.A. Sorokopudova

Abstract

The ability of golden currant to be reproduced with seeds under laboratory conditions in winter is investigated in the present contribution, and the influence of experiments on the removal of seeds from a dormant state is also studied in it. Analyzing the research results, it was found that the further germination of seeds of all the studied golden currant cultivars occurs only after passing a period of organic dormancy. It is noted that stratification, phytohormone treatment and scarification of seeds affect only the acceleration of germination and the initial stage of germination, but do not completely remove them from organic dormancy and further germination occurs only after passing deep dormancy.

Keywords: stratification; scarification; phytohormone; seed germination; golden currant

For citation. R.A. Nigmatzyanov, V.N. Sorokopudov, O.A. Sorokopudova (2025). Features of seed germination of *Ribes aureum* Pursh. during a period of deep rest. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 115-125. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1653

Introduction

Golden currant (*Ribes aureum* Pursh.) is a promising berry crop. There are no established industrial plantations of this plant. It is found in forest belts, some amateur gardens and as an ornamental crop. It is valued for drought tolerance, heat resistance and stable yield, has good resistance to pests and diseases. Berries have a dessert sweet and sour taste, dietary and medicinal properties, an increased content of carotene and pectin, and they are suitable for fresh consumption and processing [11].

Golden currant berries are an invaluable product for nutrition. The content of ascorbic acid in black berries is 43.2 mg / %, in yellow or orange berries - 68.3 mg /%. Its leaves contain 200-470 mg/100 g of catechins and leucoanthocyanins, and 1.2 mg/100 g of carotene [15].

The combination of valuable vitamins, sugars, acids and pectin makes it possible to use berries in consumption both fresh and processed (jam, jelly, stewed fruit, wine). Berries can be stored frozen at -10 °C for up to 4 months or more [15].

Golden currant berries are of no small importance as a medicinal plant. They help to cleanse the body of poisons and toxins, contribute to the excretion of heavy metal salts and radionuclides. In addition, they help with hypertension, sclerosis and also have a diuretic and diaphoretic effect [15].

The presence of deep winter dormancy of this culture allows it to tolerate a sharply continental climate with cold winters and repeated thaws [1-3; 6; 8; 12; 13; 16].

The objective of our work was to overcome the organic deep dormancy of golden currant seeds in winter by conducting experiments with the use of phytohormones, effect of low temperature and mechanical damage to the seed peel. The research was carried out using bio-objects of the unique scientific installation "Biocollections of the VILAR State Medical University".

Mature seeds of most fruit plants usually do not germinate even under favorable environmental conditions. They start to grow only after the end of the dormancy period [5; 7; 9; 14].

Golden currant seeds are characterized by a state of deep organic dormancy. It is caused by dense seed covers, underdevelopment and physiological dormancy of the embryo. The pericarp contains inhibitors that decelerate germination. To neutralize this factor, careful soaking and washing of seeds, artificial removal of the pericarp or violation of its integrity (scarification) are used. When the coat of seeds is broken, they are able to swell and germinate [4].

The fruit of golden currant is a multi-seed berry. Its seeds are small, with a small (about 1/8 of length) straight embryo and a powerful endosperm. The seed peel is dense. The shelf life is not more than 1 year. They germinate without pre-sowing preparation, but slowly and not all. Stratification at temperatures from -2 to +2 °C for 2-4 months accelerates seed germination [10].

S.S. Baskin and D.M. Baskin indicate that in order to overcome the natural dormancy of seeds, it is enough to stratify seeds for 60 days at low temperatures [2].

N.D. Stidham *et al*. argue that golden currant seeds cooled in distilled water for 10 weeks have good germination; also, to stimulate seed germination, it is possible to use potassium nitrate [9; 10; 16-18].

In the international rules for determining the quality of seeds [7], germination in laboratory tests is now defined as the appearance and development from the seed embryo of those important structures that, in the tested seed type, indicate the embryo ability to develop in the soil under favorable conditions into a normal plant.

To bring the seeds out of the dormant state, they are subjected to positive stratification – the action of low positive temperatures. Stratification, in turn, can be replaced by treatment with physiologically active substances [11].

The use of growth regulators of hormonal nature makes it possible to remove seeds from a dormant state, expand the boundaries of the temperature optimum of germination, shorten the germination time [13], which is important for the introduction and acceleration of the plant breeding process. It is shown that the nature and conditions of the stimulating effect of hormones depend on the type of seed dormancy, specific characteristics of plants, class of the substance used and its concentration. In seeds with a dormant morphophysiological type, the embryo development is accelerated in this way, and the physiological mechanism of inhibition is disrupted [8].

In many cases, the dormant state of seeds is complicated by the presence of a dense seed peel [6].

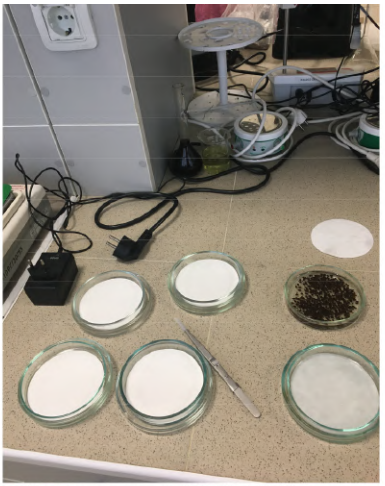
Materials and methods

All experiments were carried out in the laboratory for the research of technological properties of agricultural materials (Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia) according to the method of V.A. Kolesnikov [9]. Before the experiment, the berries were stored frozen in the freezer for about 4 months at a temperature of -20 ° C. After defrosting the fruit to extract the seeds, the juice was squeezed out. Then the remaining pulp was repeatedly and thoroughly washed with tap water, separating the seeds using a fine-mesh sieve. The finished seeds were placed in a glass jar with a pre-prepared pink solution of potassium permanganate ($KMnO_4$) and soaked for 14-25 days at room temperature; after this time experiments began. The laboratory germination of seeds was carried out in Petri dishes on wet filter paper in a 3-4-fold repetition of 50-100 pcs. in the thermostat at a temperature of +20 to +23 °C according to State Standard 12038-84 (Fig. 1).

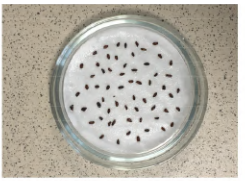
In the 1st experiment, working solutions of phytohormones (epin, heteroauxin, gibbersib), in which samples were kept for 12 hours before germination, were used (Table 1).

In the 2nd experiment, seeds were pre-stratified in a wet state in a refrigerator at a temperature of +2 to +5 ° C before germination (Table 1).

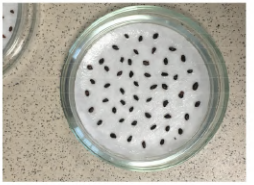
In the 3rd experiment, scarification was used: the removal of the seed peel, after which the seeds were spread on moistened filter paper in Petri dishes and germinated in a thermostat; the temperature was maintained from +20 to +23 °C (Table 2). As necessary, the filter paper was moistened every 1-2 days with distilled water. The seed was considered germinated in the presence of a root, the size of which is equal to the seed.



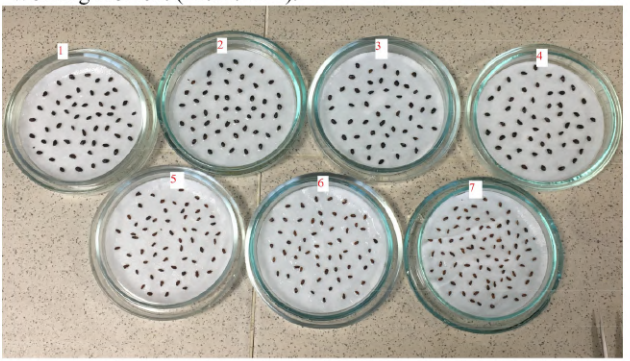
Working moment (25.01.2023).



Experiment 3, variant 1 – scarification (January).



Experiment, variant 1 – treatment with phytohormone Epin-Extra (January).



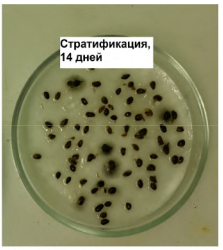
Golden currant seeds: 1-4 – numbers of experiment variants (standard); 5-7 – numbers of variants for the scarification experiment (25.01.2023).



Experiment, variant 2 – scarification. (13.02.2023).



Experiment 3, variant 3 – scarification (13.02.2023).



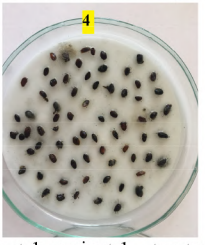
Experiment 2, variant 1 – stratification (March).



Experiment 2, variant 2 – stratification+Gibbersib (March).



Experiment 3, variant 3 – scarification (25.04.2023)



Experiment 1, variant 1 – treatment with Epin-Extra (25.04.2023).

Fig. 1. Carrying out experiments

The experiments were carried out in the 3-fold repetition in different periods from January to April. Germination was estimated by the ratio of the number of germinated seeds to the number set for germination, thus, expressed as a percentage. The completion of seed germination was judged by their pecking [10]. The seed germination was carried out at an average optimal temperature (t = +20 °C) [6] without access to light.

Results

All the studied plants belong to the species producing a significant amount of seeds. The shape of the seeds is ovoid-oval. The color is brown or light-brown. They are 0.34 ± 0.04 mm long and 0.15± 0.07 mm wide, and the weight of 1000 seeds is 0.54 g.

Experiments with phytohormones and stratification carried out in the period from January to February did not yield results, the seeds did not peck out. Repeated experiments in March showed that, in the variant stratification, the laboratory germination was 3.0%, the beginning of germination was noted on day 15, in the stratification variant with the treatment with phytohormone gibbersib – 7.6%, in the stratification variant with the treatment with heteroaux-

in – 6.7%. Experiments conducted in April showed the following results: in the epin-extra variant, the seeds germinated on the 10th day and the germination was 21.8 %; in the variant stratification with epin extra, the laboratory germination was 20%, the onset of germination was noted on day 37; in the variant stratification with gibbersib, it was 24.0%, and the onset of germination was noted on day 10 (Table 1).

Table 1.

Effect of golden currant seeds treatment with phytohormones under conditions of preliminary stratification (+3...+5 °C) for the laboratory germination

№	Variants of experiment, amount of seeds in experiments – 50	Period	Duration of stratification at +3…+5 °C, days	GO[1] (days)	DG[2] (days)	LG[3] (%)
1	Stratification	January, February	14	–	–	0.00
2	Stratification	March	20	15	–	3.00
3	Stratification+epin-extra	March	20	–	–	0.00
4	Stratification+gibbersib	March	20	10	15	7.60
5	Stratification+heteroauxin	March	20	10	15	6.70
6	Stratification+epin-extra	April-May	12	37	40	20.0
7	Stratification+gibbersib	April-May	20	10	18	24.0
8	Epin-extra	April	20	10	18	21.8
9	Control, without stratification, without treatment	January, February, March, April	–	–	–	0.00

Note: GO[1] – germination onset; DG[2] – duration of germination (from the germination onset); LG[3] – laboratory germination.

To accelerate the seeds awakening, we used scarification, i.e. the removal of seed peel. After such an operation, in the experiments conducted from January to April, the months showed high ‘pecking’ activity, compared to other experiments. The germination onset was noted on 8-10 days, and the duration of germination was from 28 to 41 days. The laboratory germination was from 18.7 to 38.5%, and that of the control variant - from 0 to 8.0% (Table 2).

It was noted that, during laboratory germination experiments, the seed peel rotted on some seeds or mold fungi formed.

The seeds of golden currant, for the most part, have a very dense seed coat, which does not allow water and air to penetrate into the seed to the embryo and start its growth. This allows the seeds to remain viable for a long time.

Table 2.

Effect of scarification on the laboratory germination of golden currant seeds

№	Variants of experiment	GO[1] (days)	DG[2] (days)	LG[3] (%)
1	Scarification (January-March)	10	41	18.7
2	Scarification (April)	8	22	38.5
3	Control without scarification (April)	15	28	8.0
4	Control without scarification (January-March)	–	–	0.0

As can be seen from the experiment (Table 2, Fig. 2), the seeds have good germination after the mechanical treatment of their peels (scarification).

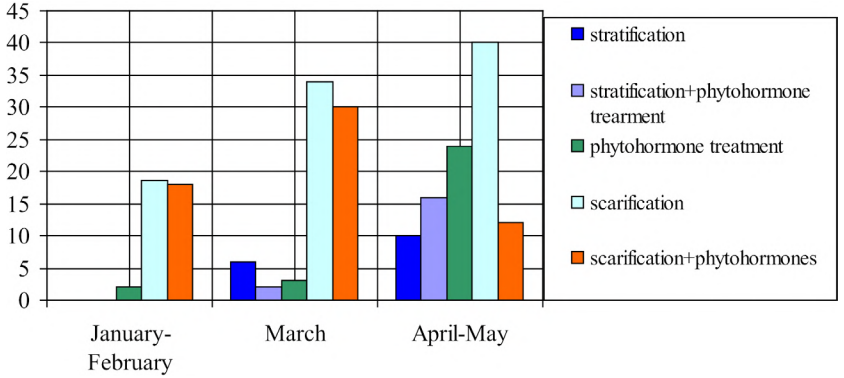


Fig. 2. Effect of different ways of golden currant seeds treatment on the seed germination, %.

Conclusions

1. Golden currant seeds can be brought out of a state of deep organic dormancy by various ways of influencing them.

2. The seed coat is very dense. Thus, it protects the embryo from premature germination and the seeds can fall into a dormant state.

3. There are inhibitors (substances that slow down the embryo growth) in the seed coat, which can delay the embryo germination. When they are dissolved and removed from the embryo, it begins to grow.

4. Scarification (mechanical damage to the seed coat) is the most efficient way to remove golden currant seeds from the state of organic dormancy.

Sponsorship information. This work was carried out in accordance with the research topic of the Federal State Budgetary Scientific Institution VILAR

"Formation, preservation and study of biocollections of the gene pool of various directions in order to preserve biodiversity and use them in health-preserving technologies" (FGUU-2025-0001). The research was carried out as part of work with bioobjects of the unique scientific installation "Biocollections of the Federal State Budgetary Scientific Institution VILAR".

References

1. Aladina, O. N. (2007). *Currants*. Moscow: Niola Press, 256 p.
2. Baskin, C., & Baskin, J. M. (1998). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-080260-9.X5000-3
3. Borisova, I. V. (1996). Types of seed germination in steppe and desert plants. *Botanical Journal*, *81*(12), 9–22
4. Evenari, M. (1965). Light and seed dormancy. In: *Encyclopedia of plant physiology* (Vol. 15, Part 2, pp. 804–847), ed. by W. Ruhland. Berlin: Springer Verlag
5. Firsova, M. K. (1959). *Methods for determining seed quality* (2nd ed., revised and enlarged). 352 p.
6. Fomina, T. I. (2012). *Biological features of ornamental plants of natural flora in Western Siberia*. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 179 p.
7. International Seed Testing Association. (1966). International rules for seed testing. *Proceedings of the International Seed Testing Association*, *31*, 1–152
8. Ishmuratova, M. M., & Tkachenko, K. G. (2009). *Seeds of herbaceous plants: features of the latent period, use in introduction and in vitro propagation*. Ufa: Gilem, 116 p. ISBN: 978 5 7501 1056 8. EDN: https://elibrary.ru/QKSJSN
9. Kolesnikov, V. A. (1974). *Practical course in fruit growing*. Moscow: Kolos, 188 p.
10. Mayer, A. M., & Poljakoff-Mayber, A. (1963). *Seed germination*. Oxford: Pergamon Press, 152 p.
11. Nigmatzyanov, R. A., & Sorokopudov, V. N. (2023). Viola – a late-ripening variety of golden currant. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, *(3)*, 23–28. EDN: https://elibrary.ru/JRZFGT
12. Nikolaeva, M. G., & Lyashchuk, S. F. (1981). The role of temperature and aeration in regulating primary and secondary seed dormancy. In: *The role of temperature and phytohormones in breaking seed dormancy* (pp. 6–32). Leningrad: Nauka
13. Nikolaeva, M. G., Razumova, M. V., & Gladkova, V. N. (1985). *Handbook on germination of dormant seeds*. Leningrad: Nauka, 348 p.
14. Sherengovyy, P. S., & Sherengovyy, V. P. (2002). *Golden currant – a promising crop*. Kiev: Publishing Center of the National Aviation University, 27 p.

15. Skvortsov, A. K., Vinogradova, Yu. K., & Kuklina, A. G. (2005). *Formation of stable introduced populations: apricot, sweet cherry, bird cherry, honeysuckle, currant, aronia*. Moscow: Nauka, 87 p. ISBN: 5 02 033677 7. EDN: https://elibrary.ru/QKXBQN
16. Stidham, N. D., Ahring, R. M., Powell, J., & Claypool, P. L. (1980). Chemical scarification, moist pre-chilling, and thiourea effects on germination of 18 shrub species. *Journal of Range Management*, *33*(2), 115–118
17. Stokes, P. (1965). Temperature and seed dormancy. In: W. Ruhland (Ed.), *Encyclopedia of plant physiology* (Vol. 15, Part 2, pp. 746–803). Berlin: Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-50088-6_60
18. Emelyanova, N. A. (Trans. from English); Firsova, M. K. (Ed.). (1978). *Seed viability*. Moscow: Kolos, 415 p.

Список литературы

1. Аладина, О. Н. (2007). *Смородина*. М.: Ниола-пресс, 256 с.
2. Baskin, C., & Baskin, J. M. (1998). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-080260-9.X5000-3
3. Борисова, И. В. (1996). Типы прорастания семян степных и пустынных растений. *Ботанический журнал*, *81*(12), 9–22.
4. Evenari, M. (1965). Light and seed dormancy. В: *Encyclopedia of Plant Physiology* (Vol. 15, Part 2, pp. 804–847), ed. W. Ruhland. Berlin: Springer-Verlag.
5. Фирсова, М. К. (1959). *Методы определения качества семян* (2-е изд., перераб. и доп.). 352 с.
6. Фомина, Т. И. (2012). *Биологические особенности декоративных растений природной флоры в Западной Сибири*. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 179 с.
7. International Seed Testing Association. (1966). International rules for seed testing. *Proceedings of the International Seed Testing Association*, *31*, 1–152.
8. Ишмуратова, М. М., & Ткаченко, К. Г. (2009). *Семена травянистых растений: особенности латентного периода, использование в интродукции и размножении in vitro*. Уфа: Гилем, 116 с. ISBN: 978-5-7501-1056-8. EDN: https://elibrary.ru/QKSJSN
9. Колесников, В. А. (1974). *Практикум по плодоводству*. М.: Колос, 188 с.
10. Mayer, A. M., & Poljakoff-Mayber, A. (1963). *Seed germination*. Oxford: Pergamon Press, 152 p.
11. Нигматзянов, Р. А., & Сорокопудов, В. Н. (2023). Виола – сорт смородины золотистой позднего срока созревания. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (3), 23–28. EDN: https://elibrary.ru/JRZFGT

12. Николаева, М. Г., & Лящук, С. Ф. (1981). Значение температуры и аэрации в регулировании первичного и вторичного покоя семян. В: *Роль температуры и фитогормонов в нарушении покоя семян* (с. 6–32). Л.: Наука.
13. Николаева, М. Г., Разумова, М. В., & Гладкова, В. Н. (1985). *Справочник по проращиванию покоящихся семян*. Л.: Наука, 348 с.
14. Шеренговый, П. С., & Шеренговый, В. П. (2002). *Смородина золотистая – перспективная культура*. К.: Издательский центр НАУ, 27 с.
15. Скворцов, А. К., Виноградова, Ю. К., & Куклина, А. Г. (2005). *Формирование устойчивых интродуцированных популяций: абрикос, черешня, черёмуха, жимолость, смородина, арония*. М.: Наука, 87 с. ISBN: 5-02-033677-7. EDN: https://elibrary.ru/QKXBQN
16. Stidham, N. D., Ahring, R. M., Powell, J., & Claypool, P. L. (1980). Chemical scarification, moist prechilling, and thiourea effects on germination of 18 shrub species. *Journal of Range Management*, *33*(2), 115–118.
17. Stokes, P. (1965). Temperature and seed dormancy. В: W. Ruhland (Ed.), *Encyclopedia of Plant Physiology* (Vol. 15, Part 2, pp. 746–803). Berlin: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-50088-6_60
18. Емельянова, Н. А. (Пер. с англ.); Фирсова, М. К. (Ред.). (1978). *Жизнеспособность семян*. М.: Колос, 415 с.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Radmil A. Nigmatzyanov, Ph.D. in Biology, Senior Researcher at the CITES Laboratory
All-Russian Research Institute of Ecology
1, build. 4, 36 km of the Moscow Ring Road, Moscow, 117628, Russian Federation

Vladimir N. Sorokopudov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Senior Researcher at the Comprehensive Research Department of Fruit Growing
All-Russian Research Institute of Lupine – a branch of the V.R. Williams Federal Scientific Center
2, Berezovaya Str., Michurinsky Settlement, Bryansk District, Bryansk Region, 241524, Russian Federation
sorokopud2301@mail.ru

Olga A. Sorokopudova, Ph.D. in Biology, Professor, Head of the Department of Plant Resources
All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grin Str., Moscow, 117216, Russian Federation

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Нигматзянов Радмил Асхатович, кандидат биологических наук, с.н.с. лаборатории «СИТЕС»
ФГБУ «ВНИИ Экология»
36 км МКАД, влад. 1, стр. 4, г. Москва, 117628, Российская Федерация

Сорокопудов Владимир Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, г.н.с. комплексного научно-исследовательского отделения направления плодоводства
Всероссийский научно-исследовательский институт люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»
ул. Березовая, 2, пос. Мичуринский, Брянский р-н, Брянская обл., 241524, Российская Федерация
sorokopud2301@mail.ru

Сорокопудова Ольга Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заведующая отделом растительных ресурсов
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений»
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация

Поступила 10.05.2025 Received 10.05.2025
После рецензирования 23.06.2025 Revised 23.06.2025
Принята 26.06.2025 Accepted 26.06.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1654 **EDN: JGJTVQ**
UDC 582.998:581.19:581.8

Original article

ECOLOGY AND PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF *CENTAUREA SOLSTITIALIS* L., FAMILY ASTERACEAE DUMORT

A.N. Aleskerova, L.I. Rustamova, E.G. Orujeva, F.H. Heydarova, I.R. Jahangirova, I.A. Mustafayeva

Abstract

Background. According to the World Health Organization, more than 80% of the world's population in developing countries primarily use herbal medicines for their health needs.

The **purpose** of the study – phytochemical study of the C. *solstitialis* L. species of the Gulavar genus of the Asteraceae Dumort family distributed in the flora of Azerbaijan.

Material and methods. Sesquiterpene lactones, coumarin derivatives and other components were obtained from the aerial parts of the plant by Gas-Chromato-Mass-Spectrometry method.

Results. Isobergapten, C12H8O4, ostol C15H16O3, C15H18O3 *α-Santonin Centaureae solstitialis L.* - 2 coumarins and 1 sesquiterpene lactone belonging to the group of natural compounds obtained from the above-ground parts of the plant were obtained. The extraction time, chemical formula and molecular weight of the components were determined by the Gas-Chromato-Mass-Spectrometry method.

Keywords: C. *solstitialis* L.; sesquiterpene lactone; coumarin; Gas-Chromato-Mass Spectrometry; isobergapten; ostol; α-Santonin

For citation. Aleskerova, A. N., Rustamova, L. I., Orujeva, E. G., Heydarova, F. H., Jahangirova, I. R., & Mustafayeva, I. A. (2025). Ecology and phytochemical characterization of *Centaurea solstitialis* L., family Asteraceae Dumort. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 126-135. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1654

Introduction

According to the World Health Organization, more than 80% of the world's population in developing countries primarily use herbal medicines for their

health needs. The flora of Azerbaijan has various types of plants rich in biologically active substances. Apiaceae and Asteraceae families are rich in biologically active substances within plant genera. Despite the large number of Gulavar species belonging to the Asteraceae family, their chemical composition has not been fully studied. Various biologically active substances obtained from the species of this genus are used as analgesic, anticoagulant, capillary strengthening, photosensitizing, anti-inflammatory, choleretic, and anti-malignant agents. From this group of compounds, compounds related to furocoumarins - bergapten, xanthatoxin, and ammifuran, psoralen, beroxan, meladin, and methoxaline preparations created on the basis of psoralen are successfully used in the treatment of leukoderma both in the Commonwealth of Independent States and in foreign countries [1]. The genus Centauera is a genus of Mediterranean origin, about 700 species are known in the world, 29 species are known in the flora of Azerbaijan. In modern times, the increasing demand for herbal medicinal preparations has increased the interest in the research of medicinally important species of the genus Centaurea. It is important to have species with both medicinal and useful properties in the genus. According to the latest literature information, a critical revision of the Centaurea species common in the flora of Azerbaijan was carried out, the taxonomic units were specified, 22 species were added to the composition of the species, and the number of species was increased to 49 [2; 3]. The species *Centaurea solstitialis L.* is distributed everywhere in Azerbaijan. From the lowlands to the middle mountain belt (up to 1800 m), it is found in dry clay and gravel slopes, thickets, blackthorn meadows, wormwood semi-deserts, littered places, fields, and moors. Its homeland is the Caucasus; (as a whole) Central and South-East (Crimea), North-European Mediterranean; South-West (Turkey, Lebanon, Iraq, Iran), East (Far East), Central Asia, North American countries. Comparative morphological, geographical, ecological, areological studies of all species of the Centaurea genus were carried out in detail by A. Y. Huseynova [1]. However, no research has been conducted on the chemical composition of the species of this genus.

M. Iranshahi et al. provides extensive information on the use of knitsin obtained from *Centaureae solstitialis L.* in the treatment of fungi and other diseases in medicine [4]. During the analysis of essential oils of the dried aerial parts of C. solstitialis, arglabin obtained from non-oxygenated sesquiterpene compounds - bicycloelemene, β-ylangene, α-copane, β-elemene, longifolene, β-caryophyllene, γ -elemene, kalarene, germacrene D, bicyclogermacrene is successfully used in breast cancer [5-7]. Solstitialin A and 15-dechloro-15-hydroxychloroyanerine lactone compounds were detected from the methanolic extract of the stem of C.

solstitialis. Among these compounds, substances with analgesic, antibacterial and other microorganism, cardiotonic anti-inflammatory and anti-malignant activity can be mentioned. For example, costunolide, geysedanin, eupaserin, vernolide and others can be mentioned among herbal substances (STL) with therapeutic effect against malignant tumors [8-12]. In recent years, the activity of "Arglabin" obtained from the Artemisia glabella (Asteraceae) species of the "Phytochemistry" Scientific Production Union of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan has been determined in detail in breast cancer [13;14].

The purpose of the study is to study the phytochemical properties of the species *Centaureae soltstitialis L* of the Gulavar genus of the Asteraceae chapter, distributed in the flora of Azerbaijan.

Material and methods

The species *Centaureae solsititialis L*. used in the study is the most widespread representative of the genus Centaureae in Azerbaijan. *Centaureae solsititialis* - morphological features of the sunflower type: it is an annual, biennial, gray cobweb-like plant. The trunk is branched from the middle. The leaves around the root (they dry up during flowering) or the leaves of the lower stem are lyre-shaped, they bloom and bear fruit in June-August. Chemically, as the research object we studied, substances collected from Novkhani village, Absheron region at the beginning of the flowering phase (July 7, 2019), chopped into small pieces, and the above-ground parts (500 g) extracted with acetone (3 times for 3 days each) were used. The extractives (yield 6.4%) (14.0 g) were rechromatographed in a glass column (h=60 cm, d=3.5 cm) filled with neutral, III-IV level Al_2O_3, and 2 coumarin derivatives and a sesquiterpene lactone were obtained individually from the surface part.

The individuality of the substances was determined by thin-layer chromatography on silifol UV-254 plates, and the melting point of the crystalline substances was determined on the Boyites table.

The same coumarins and sesquiterpene lactone were also obtained from the roots of the extractive substances extracted from the above-ground part of the sunflower plant with acetone, along with various components. Isoberghapten, $C_{12}H_8O_4$, ostol $C_{15}H_{16}O_3$, $C_{15}H_{18}O_3$, *α-Santonin* obtained from the aerial parts of *Centaureae solstitialis* were analyzed by gas-chromato-mass spectrometry (QXMS), and the obtained substances were identified with known substances. For analysis in the QX-MS device (Shimadzu QP-2010 Ultra GC-MS, Japan), electron impact ionization, capillary tube Rtx-5 MS with dimensions of 0.25 μm × 0.25 mm × 30 m, helium gas with a flow rate level of 1.58 ml/min was used as the carrier. The temperature of

the ionization source is 250 ºC. During the analysis, the starting temperature of the thermostat was 40 ºC for 2 min., then 9 °C/min. rapidly increased to 200 °C, then 10 °C/min. rapidly brought to 250 °C. 17 minutes for the analysis of each sample time spent. Injector temperature is 275 °C. The amount of sample taken is 0.2 μL (dilution with chloroform 1:20). The electron ionization of the mass detector is 70 eV and the mass range is 29-450 a.m.u. (atomic mass unit, DA) is chosen. After the analysis, substances were identified according to the device manual (NIST 2010), retention time - RT, characteristic molecular and fragment ions.

Results and discussion

As a result of the research, the components belonging to different groups of natural compounds were determined and identified from the aerial parts of *Centaureae solstititialis L.* plant. It is known from the literature that the quality composition of coumarin derivatives of the roots of *Centaureae solstititialis* is slightly different from the same parameters of the aerial parts [5; 11]. Isobergapten, ostol, *α-Santonin* obtained from the aerial parts of *Centaureae solstitialis L*. are 2 coumarins and 1 sesquiterpene lactone belonging to the group of new natural compounds for the plant obtained for the first time from Gulavar species (pictures 1, 2, 3). Of these substances, isobergapten, ostol, and coumarin derivatives have recently been found in the literature for conducting pharmacological studies related to heart rhythm disturbances and the effect on the tone of coronary vessels.

α-santonin sesquiterpene lactone is used not only as an anthelmintic, but also in the treatment of other diseases [8; 9].

Table.

***Centaureae solstitialis L*. aerial part (stem, leaves and flowers)**
Results of gas-chromatography-mass spectrometry research

Component	Release Time	Molecular Weight	Formula
α-Santonin	19.32	246	$C_{15}H_{18}O_3$
6-Methoxyfuro[2,3-h]chromen-2-on (isobergapten)	26.12	216	$C_{12}H_8O_4$
Ostol	27.21	244	$C_{15}H_{16}O_3$

It is known that sesquiterpene lactones from the chemical compounds contained in plants, diterpenes, triterpene coumarins and their derivatives, saponins, glycosides, flavanoids, essential oils have high biological activity among natural compounds. Scoparone coumarin derivatives of scoplet were obtained from 7 species of *Centaurea L.* genus. In general, more than 40 effective preparations

have been created among the compounds of coumarin, which are widely used in medical practice in the treatment of various diseases [3; 4].

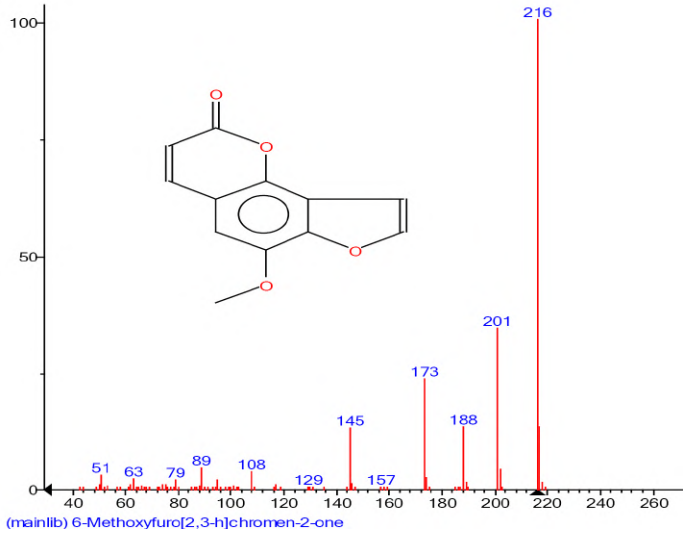


Fig. 1. Substance 1 - "ISOBERGAPTEN"

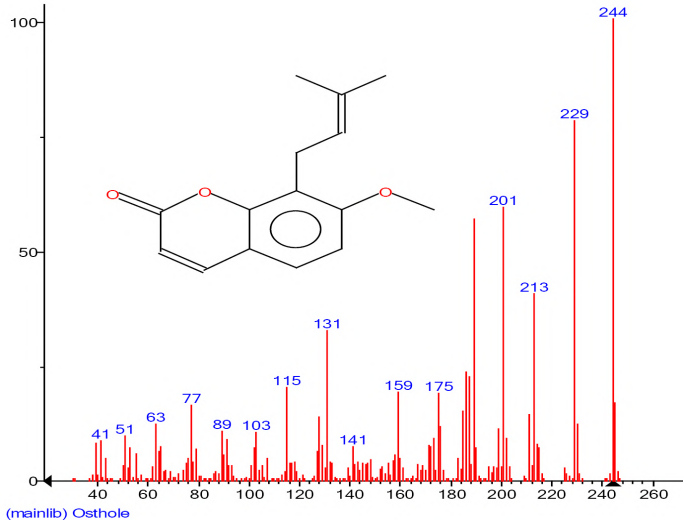


Fig. 2. Substance 2 - «OSTOL»

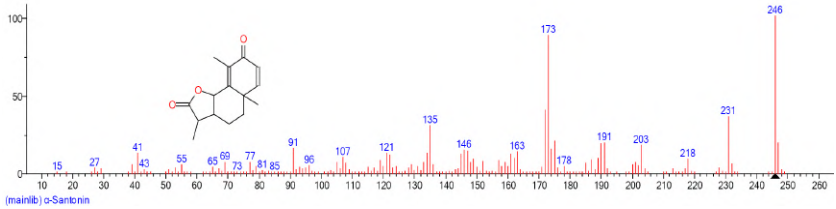


Fig. 3. Substance 3 - "α-Santonin"

Therefore, the biologically active substances obtained and identified as a result of the current research can be used in the preparation of new medicines.

Results

1. Centaurea solstitialis L. has been determined to be the most widespread species of the genus Centaurea in the flora of Azerbaijan.
2. For the first time, 2 coumarins (isoberghapten, ostol), 1 α-santonin, and sesquiterpene lactone were obtained from both the aerial part and the root of Centaurea solstitialis L., which is widespread in the flora of Azerbaijan.
3. It was determined that the components obtained for this species are new for the plant. The above-ground part and root-derived components of the species were identified.
4. The chemical composition of the obtained substances was studied by the method of Gas-Chromatography-Mass-Spectrometry.

References

1. Hüseynova, A. Y. (2014). *Azərbaycanda yayılan güləvər (Centaurea L.) cinsi növlərinin sistematikası və ekoloji xüsusiyyətləri* [Doctoral dissertation abstract in biological sciences]. Baku, 19 p.
2. Ələsgərova, Ə. N., Sərkərov, S. V., & Zeynalova, S. V. (2020). Study of biologically active substances of *Centaurea ovina* (Pall. ex Willd.) in the flora of Azerbaijan. *Journal of the Azerbaijan Botanical Society*, *(1)*, 41–44
3. Ələsgərova, Ə. N., Rüstəmova, L. İ., Orucova, E. Q., et al. (2024). Investigation of sesquiterpene lactone and coumarin composition of *Centaurea solstitialis L.* raw material by gas chromatography–mass spectrometry. *Azerbaijan Journal of Pharmacy and Pharmacotherapy*, *(1)*, 30–34
4. İranshahi, M., Sahebkar, R., Takasaki, M., et al. (2009). Cancer chemopreventive activity of the prenylated coumarin, umbelliprenin in vivo. *European Journal of Cancer Prevention*, *18*(5), 412–415. https://doi.org/10.1097/CEJ.0b013e32832c389e. EDN: https://elibrary.ru/YAUNGV

5. Geydarov, I. G., & Serkerov, S. V. (2017). Coumarins of *Angelica purpurascens* roots. *Chemistry of Natural Compounds*, *(1)*, 125–126
6. Adekenov, S. M. (2008). Sesquiterpene lactones in plants: natural distribution, molecular structure features, and application prospects. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Triterpenoids: Achievements and Prospects in Chemistry, Production Technology, and Medicine"* (pp. 39–62). Karaganda
7. Karimli, E. G., Khrustalev, V. N., Akkurt, M., et al. (2023). Crystal structure and Hirshfeld surface analysis of 7-[(6-hydroxy-5,5,8a-trimethyl-2-methylenedecahydronaphthalen-1-yl)methoxy]-2H-chromen-2-one. *Crystallographic Communications*, *79*(9), 777–781. https://doi.org/10.1107/S2056989023006552. EDN: https://elibrary.ru/ZILTYB
8. Kerimli, E. G., Ibadullaeva, S. J., & Aleskerova, A. N. (2023). Badraquemin and osthol in the roots of *Ferula persica* (Apiaceae) growing in the Republic of Azerbaijan. *Plant Resources*, *59*(3), 314–320. https://doi.org/10.31857/S0033994623030093. EDN: https://elibrary.ru/SIJXRS
9. Karimli, E. G., Mammadova, U. M., & Alasgarova, A. (2023). *Chemical composition of plants belonging to the genus St. John's wort and their application in medicine*. Baku: Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Botany, 175–176
10. İbrahimova, S. I., İbrahimov, A. Sh., & Aleskerova, A. N. (2023). Study of bioactive compounds and resources of some species of wormwood (*Artemisia abrotanum L., A. maritima L., A. pauciflora Weber, A. issayevi Rzazade*) distributed in the flora of Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*, *9*(6), 54–65
11. Carev, I., Ruščić, M., Skočibušić, M., et al. (2017). Phytochemical and cytogenetic characterization of *Centaurea solstitialis L.* (Asteraceae) from Croatia. *Chemistry & Biodiversity*, *14*(2), 1–9. https://doi.org/10.1002/cbdv.201600213. EDN: https://elibrary.ru/YZRTNV
12. Erenler, R., Sen, O., Yaglioglu, A., & Demirtas, I. (2016). Bioactivity-guided isolation of antiproliferative sesquiterpene lactones from *Centaurea solstitialis L.* ssp. *solstitialis*. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, *19*(1), 66–72
13. Abildayeva, F. Zh., Zhangabylov, N. S., & Adekenov, S. M. (2004). Prospects for using the sesquiterpene lactone arglabin as an antiinflammatory and cytotoxic agent. In: *Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Institute of Phytochemistry* (pp. 17–24). Almaty: Gylym
14. Sirota, I. (2004). The antioxidant effect of arglabin in the complex treatment of advanced breast cancer. In: *Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Institute of Phytochemistry* (pp. 247–257). Almaty

Список литературы

1. Hüseynova, A. Y. (2014). *Azərbaycanda yayılan güləvər (Centaurea L.) cinsi növlərinin sistematikası və ekoloji xüsusiyyətləri* [Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора биологических наук]. Bakı, 19 c.
2. Ələsgərova, Ə. N., Sərkərov, S. V., & Zeynalova, S. V. (2020). Azərbaycan florasında *Centaurea ovina* (qoyun güləvəri) Pall. ex Willd. növünün bioloji fəal maddələrinin tədqiqi. *Azərbaycan Botaniklər Cəmiyyəti Jurnalı*, (1), 41–44.
3. Ələsgərova, Ə. N., Rüstəmova, L. İ., Orucova, E. Q., et al. (2024). *Centaurea solstitialis* L. xammalının seskviterpen lakton və kumarin tərkibinin Qaz-xromatoqrafiyası-kütlə spektrometriya ilə tədqiqi. *Azərbaycan Əczaçılıq və Farmakoterapiya Jurnalı*, (1), 30–34.
4. İranshahi, M., Sahebkar, R., Takasaki, M., et al. (2009). Cancer chemopreventive activity of the prenylated coumarin, umbelliprenin in vivo. *European Journal of Cancer Prevention*, *18*(5), 412–415. https://doi.org/10.1097/CEJ.0b013e32832c389e. EDN: https://elibrary.ru/YAUNGV
5. Гейдаров, И. Г., & Серкеров, С. В. (2017). Кумарины корней *Angelica purpurascens*. *Химия природных соединений*, (1), 125–126.
6. Адекенов, С. М. (2008). Сесквитерпеновые лактоны растений. Распространение в природе, особенности строения молекул и перспективы их применения. В: *Сборник трудов международной научно-практической конференции «Тритерпеноиды: достижения и перспективы применения в области химии, технологии производства и медицины»* (с. 39–62). Караганда.
7. Karimli, E. G., Khrustalev, V. N., Akkurt, M., et al. (2023). Crystal structure and Hirshfeld surface analysis of 7-[(6-hydroxy-5,5,8a-trimethyl-2-methylenedecahydronaphthalen-1-yl)methoxy]-2H-chromen-2-one. *Crystallographic Communications*, *79*(9), 777–781. https://doi.org/10.1107/S2056989023006552. EDN: https://elibrary.ru/ZILTYB
8. Керимли, Э. Г., Ибадуллаева, С. Дж., & Алескерова, А. Н. (2023). Бадракемин и остол в корнях *Ferula persica* (Apiaceae), произрастающей в Азербайджанской Республике. *Растительные ресурсы*, *59*(3), 314–320. https://doi.org/10.31857/S0033994623030093. EDN: https://elibrary.ru/SIJXRS
9. Karimli, E. G., Mammadova, U. M., & Alasgarova, A. (2023). Chemical composition of plants belonging to the genus *St. John's-wort* and their application in medicine. Baku: Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Institute of Botany, 175–176.
10. İbrahimova, S. I., İbrahimov, A. Sh., & Aleskerova, A. N. (2023). Study of bioactive compounds and resources of some species of wormwood (*Artemisia abrotanum* L., *A. maritima* L., *A. pauciflora* Weber, *A. issayevi* Rzazade) distributed in the flora of Azerbaijan. *Bulletin of Science and Practice*, *9*(6), 54–65.

11. Carev, I., Ruščić, M., Skočibušić, M., et al. (2017). Phytochemical and cytogenetic characterization of *Centaurea solstitialis* L. (Asteraceae) from Croatia. *Chemistry & Biodiversity*, *14*(2), 1–9. https://doi.org/10.1002/cbdv.201600213. EDN: https://elibrary.ru/YZRTNV
12. Erenler, R., Sen, O., Yaglioglu, A., & Demirtas, I. (2016). Bioactivity-guided isolation of antiproliferative sesquiterpene lactones from *Centaurea solstitialis* L. ssp. *solstitialis*. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, *19*(1), 66–72.
13. Абильдаева, Ф. Ж., Жангабылов, Н. С., & Адекенов, С. М. (2004). Перспективы использования сесквитерпенового лактона арглабин в качестве противовоспалительного и цитотоксического средства. В: *Министерство образования и науки Республики Казахстан, Институт фитохимии* (с. 17–24). Алматы: Гылым.
14. Sirota, I. (2004). The antioxidant effect of arglabin in the complex treatment of advanced breast cancer. В: *Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Institute of Phytochemistry* (pp. 247–257). Almaty.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Adelja N. Aleskerova: development of the concept of scientific materials, study of the research material.

Lala I. Rustamova: editing of the manuscript.

Elza G. Orujeva: study of the reserch material, writing the manuscript.

Farida A. Heydarova: formating and statistical conducting of the results of the article.

Ilhama R. Jahangirova: collection and analysis of data on *C. solstitialis* L.

Immigulsum A. Mustafayeva: collection and analysis of data on *C. solstitialis* L.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Adelja N. Aleskerova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany
Ministry of Science and Education of the Azerbaijan Republic
Baku, Azerbaijan
adeliaaleskerova1@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7833-8966

Lala I. Rustamova, Doctor of Philosophy in Medicine, Associate Professor, Head of the Department of Epidemiology
V.Y. Akhundov Scientific Research Institute of Medical Prevention

Baku, Azerbaijan
lala.rustamova.1967@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5378-6954

Elza G. Orujeva, Doctor of Philosophy in Medicine, Associate Professor of the Department of Infectious Diseases
Azerbaijan Medical University
Baku, Azerbaijan
elzaqudretqizi@gmail.com

Farida A. Heydarova, Doctor of Philosophy in Medicine, Head of the Department of Bacteriology
V.Y. Akhundov Scientific Research Institute of Medical Prevention
Baku, Azerbaijan
fheyderova@inbox.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-0134-9310

Ilhama R. Jahangirova, Doctor of Philosophy in Biology, senior teacher of the Department of Pharmacognosy
Azerbaijan Medical University
Baku, Azerbaijan

Immigulsum A. Mustafayeva, Junior Researcher at the Laboratory of Plant Resources of the Institute of Botany
V.Y. Akhundov Scientific Research Institute of Medical Prevention
Baku, Azerbaijan

Поступила 07.03.2025 Received 07.03.2025
После рецензирования 21.05.2025 Revised 21.05.2025
Принята 08.07.2025 Accepted 08.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1366 **EDN: GECDRZ**
УДК 57.084.1

CC BY NC ND

Научная статья

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ СОЦВЕТИЙ БАРХАТЦЕВ РАСПРОСТЕРТЫХ (*TAGETES PATULA* L.) НА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНФУЗОРИЙ *PARAMECIUM CAUDATUM*

К.Ш. Казимова, Ф.Ю. Ахмадуллина, Ю.В. Щербакова, Г.Г. Шуматбаев

Аннотация

Обоснование. Для сегодняшнего дня характерно снижение содержания нативных биологически активных нутриентов в рационе человека из-за специфики современных технологий обработки сельско-хозяйственного сырья и производства продуктов питания, в результате наблюдается резко возрастающий интерес к расширению ассортимента альтернативных биологически активных препаратов на основе нетрадиционного отечественного фитосырья, что диктует необходимость привлечения новых методов аналитического контроля для получения более достоверной информации об их антиоксидантном статусе. Для повышения валидированности экспериментальных данных требуется реализация комплексного подхода, подразумевающего использование методов аналитического контроля, дополняющих информацию друг друга. В этом случае наиболее перспективно использование биологического метода, основанного на тест-реакции биомодели, позволяющего получить более достоверную оценку об интегральной антиоксидантной активности исследуемого объекта, благодаря высокой чувствительности биотеста.

Цель – исследование интегральной антиоксидантной активности препаратов соцветий бархатцев распростертых *Tagetes patula* L. методом биотестирования с использованием в качестве биотеста равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum*.

Материалы и методы. Объектами исследования являются водные экстракты соцветий бархатцев распростертых сорта «Кармен», полученные при следующих условиях экстрагирования: экстрагент – дистиллированная вода,

соотношение сырья и экстрагента - 1:50, интенсивность перемешивания - 500 об/мин, температурный режим - 70 ºС, продолжительность экстракции 90 мин. Бархатцы выращивали в экологическом чистом районе Республики Татарстан, сбор сырья проводили в фазе цветения (август-сентябрь). Для их консервирования использовали воздушно-теневой способ сушки с целью обеспечения максимально возможной сохранности антиоксидантов фитосырья. Для оценки показателя стрессоустойчивости использовали метод биотестирования на биомодели равноресничной инфузории *Paramecium caudatum*. В качестве стрессоров применяли пероксид водорода и этиловый спирт, характеризующих антиоксидантный потенциал и мембраностабилизирующие свойства изучаемых фитоэкстрактов соответственно.

Результаты. На основании серии экспериментальных исследований определено влияние концентраций изучаемого фитоэкстракта в диапазоне 0,0076-0,435 мг/мл на прирост биотеста. Показано, что все исследованные концентрации водного экстракта бархатцев распростертых не только не ингибируют, но и в ряде случаев стимулируют рост инфузорий, что особенно характерно для двух- и трехсуточных экспериментов. Установлены оптимальные концентрации стрессоров, соответственно равные 1,5% - для пероксида водорода и 7% - для этанола. Выявлено, что водный экстракт соцветий бархатцев распростертых повышают стрессоустойчивость тест-объекта, наиболее выраженное по отношению к пероксиду водорода.

Заключение. В результате серии проведенных экспериментальных исследований установлены оптимальные условия проведения биотестирования при использовании в качестве тест-объекта равноресничных инфузории Paramecium caudatum для оценки антиоксидантного потенциала водных экстрактов сушеных соцветий бархатцев распростертых сорта «Кармен». Предложено использование следующих концентраций стрессоров: 1,5% - для пероксида водорода; 7% - для этанола. Время обездвиживания инфузорий при обработке пероксидом водорода и этанолом составляет соответственно 1±0,01 и 1,2±0,01 минут. Установлены концентрации изучаемого фитоэкстракта, не ингибирующие тест-объект. Показано их ростстимулирующее влияние на биотест, обусловленное наличием белковой и углеводной составляющих в исследуемом объекте. Выявлено, что водные экстракты соцветий бархатцев распростертых проявляют антиоксидантный и мембраностабилизирующий эффекты в диапазоне концентраций 0,03-0,435 мг/мл по сухому веществу экстракта.

Ключевые слова: *Tagetes patula* L.; экстракция; мацерация; антиоксидантная активность; биотестирование

Для цитирования. Казимова, К. Ш., Ахмадуллина, Ф. Ю., Щербакова, Ю. В., & Шуматбаев, Г. Г. (2025). Влияние экстрактов соцветий бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.) на стрессоустойчивость инфузорий *Paramecium caudatum*. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 136-152. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1366

Original article

EFFECT OF EXTRACTS OF INFLORESCENCE *TAGETES PATULA* L. ON STRESS RESISTANCE OF *PARAMECIUM CAUDATUM* INFUSORIAE

C.Sh. Kazimova, F.Yu. Akhmadullina, Yu.V. Shcherbakova, G. G. Shumatbaev

Abstract

Background. Today, the content of native biologically active nutrients in the human diet is decreasing due to the specifics of modern technologies for processing agricultural raw materials and food production, as a result, there is a sharply increasing interest in expanding the range of alternative biologically active drugs based on non-traditional domestic herbal raw materials, which dictates the need to involve new analytical control methods to obtain more reliable information about their antioxidant status. To improve the validity of experimental data, it is necessary to implement an integrated approach that involves the use of analytical control methods that complement each other's information. In this case, the most promising is the use of a biological method based on a test reaction of a biomodel, which allows you to get a more reliable assessment of the integral antioxidant activity of the object under study, due to the high sensitivity of the biotest.

Purpose is to study of integral antioxidant activity of preparations of inflorescence preparations of *Tagetes patula* L. by biotesting method using as a biotest the equispecific infusoria Paramecium caudatum.

Materials and methods. The objects of the study are aqueous extracts of inflorescences of the inflorescences of the prostrate variety 'Carmen', obtained under the following extraction conditions: extractant - distilled water, ratio of raw materials and extractant - 1:50, stirring intensity - 500 rpm, temperature regime - 70 ºC, duration of extraction - 90 min. Velvet plants were grown in ecologically clean area of the Republic of Tatarstan, raw materials were collected in the flowering phase

(August-September). Air-shade drying method was used for their preservation in order to ensure maximum possible preservation of antioxidants of phyto raw materials. To evaluate the stress tolerance index, the biotesting method was used on the biomodel of the equidisturbance infusoria Paramecium caudatum. Hydrogen peroxide and ethyl alcohol were used as stressors, characterising the antioxidant potential and membrane-stabilising properties of the studied phytoextracts, respectively.

Results. Based on a series of experimental studies, the effect of concentrations of the studied phytoextract in the range of 0.0076-0.435 mg/ml on biotest growth was determined. It was shown that all the studied concentrations of aqueous extract of Prostrate Velvet not only do not inhibit, but in some cases stimulate the growth of infusoria, which is especially characteristic of two- and three-day experiments. The optimum concentrations of stressors were found to be 1.5 per cent for hydrogen peroxide and 7 per cent for ethanol, respectively. It was revealed that the aqueous extract of inflorescences of velvet flowers increased stress resistance of the test subject, the most pronounced in relation to hydrogen peroxide.

Conclusion. As a result of a series of experimental studies, the optimal conditions for biotesting have been established when using as a test object the equidiferous infusoria *Paramecium caudatum* to evaluate the antioxidant potential of aqueous extracts of dried inflorescences of dried inflorescences of the 'Carmen' variety. The use of the following concentrations of stressors was proposed: 1.5% for hydrogen peroxide; 7% for ethanol. The time of immobilisation of infusoria during treatment with hydrogen peroxide and ethanol is 1±0.01 and 1.2±0.01 minutes, respectively. The concentrations of the studied phytoextract not inhibiting the test-object were determined. Their growth-stimulating effect on the biotest was shown due to the presence of protein and carbohydrate components in the studied object. It was revealed that aqueous extracts of inflorescences of Tagetes show antioxidant and membrane-stabilising effects in the concentration range of 0.03-0.435 mg/ml on dry matter of the extract.

Keywords: *Tagetes patula* L.; extraction; maceration; antioxidant activity; biotesting

For citation. Kazimova, S. Sh., Akhmadullina, F. Yu., Shcherbakova, Yu. V., & Shumatbaev, G. G. (2025). Effect of extracts of inflorescence *Tagetes patula* L. on stress resistance of *Paramecium caudatum* infusoria. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 136-152. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1366

Введение

Как показали ранее проведенные исследования, экстракты бархатцев распростертых являются источником разнообразных биологически активных компонентов, содержание которых зависит от селективности исполь-

зуемых экстрагентов [3]. В экстрактах соцветий бархатцев распростертых найдены: аскорбиновая кислота (1,78±0,05 % в пересчете на сухое вещество), кверцетин (40,4-62,52 мг), галловая кислота (14,47 мг), рутин (9,65 мг), лютеин (8,975 мг), зеаксантин (0,285 мг), патулитрин (5,11-5,64% в пересчете на сухое вещество), патулетин (0,0023-0,0143 % в пересчете на сухое вещество)[8, 10]. Кроме того, бархатцы распростертые – перспективное сырье для фармакопеи, учитывая их неприхотливость, засухоустойчивость, высокую динамику роста, факторы, необходимые для производства биопрепаратов в промышленных масштабах.

Однако при создании новых биопрепаратов, отличающихся высоким антиоксидантным потенциалом, необходимо достоверное знание их восстановительных свойств, что требует комплексного подхода. Это связано с тем, что для оценки антиоксидантного потенциала при разработке биопрепаратов используется ряд косвенных методов аналитического контроля, в которых антиоксидантная активность оценивается по количеству вещества-стандарта соответствующей индикаторной системы, которое в данных условиях обеспечивает эквивалентный антиоксидантный эффект. Различие применяемых индикаторных систем и соответственно стандартов может являться причиной несоответствия величин антиоксидантной активности исследуемого объекта, определяемой разными методами. Для получения объективной информации целесообразно использование биологического метода экспресс-диагностики, отличающегося высокой чувствительностью, интегральностью, хорошей воспроизводимостью. Данный прием хорошо зарекомендовал себя при изучении антиоксидантной активности биопрепаратов на основе фитоэкстрактов [15; 16]. Как показал анализ научно-технической информации, в настоящее время предпочтение отдается биотестированию при использовании в качестве тест-объекта – простейших, учитывая их достоинства [2].

Цель – исследование интегральной антиоксидантной активности препаратов соцветий бархатцев распростертых *Tagetes patula L.* методом биотестирования с использованием в качестве биотеста равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum*.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются водные экстракты соцветий бархатцев распростертых сорта «Кармен», полученные при следующих условиях экстрагирования: экстрагент – дистиллированная вода, соотношение сырья и экстрагента - 1:50, интенсивность перемешивания - 500 об/мин, температурный режим - 70 ºС, продолжительность экстракции 90 мин [3]. Бархат-

цы выращивали в экологическом чистом районе Республики Татарстан, сбор сырья проводили в фазе цветения (август-сентябрь). Для их консервирования использовали воздушно-теневой способ сушки [11] с целью обеспечения максимально возможной сохранности антиоксидантов нативного фитосырья.

Предмет исследования – стрессоустойчивость биотеста по отношению к двум стрессорам – пероксиду водорода и этиловому спирту, характеризующих антиоксидантный потенциал и мембраностабилизирующие свойства изучаемых фитоэкстрактов соответственно.

Определение оптимальных концентраций стрессоров осуществляли на контрольной группе парамеций (без добавления экстракта).

В качестве тест-объекта использовали равноресничные инфузории *Paramecium caudatum*.

Экспериментальные исследования проводили поэтапно, включая подготовку культуры инфузорий *Paramecium caudatum* к биотестированию; определение оптимальных концентраций экстрактов, не ингибирующих рост тест-объекта и определение стрессоустойчивости инфузорий согласно [15; 16]. Эксперименты проводили в трех повторностях.

Результаты и обсуждение

Выбор метода биотестирования для оценки антиоксидантного потенциала изучаемых водного экстракта был обусловлен:

- простотой и доступностью постановки опытов;
- высокой чувствительностью тест-организмов к минимальным концентрациям биологически активных веществ;
- экспрессностью;
- низкой затратностью [5].

Что касается биотеста - равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum*, их выбор был осуществлён исходя из требований, предъявляемых к биомоделям:

- обладают свойствами отдельного организма;
- высокая скорость размножения;
- относительно быстрая адаптация к окружающей среде;
- относительно большая поверхность соприкосновения;
- легкость визуализации;
- низкая затратность [13; 14].

Учитывая возможное проявление изучаемыми экстрактами как антиоксидантных, так антимикробных свойств, эксперименты проводили по следующей схеме.

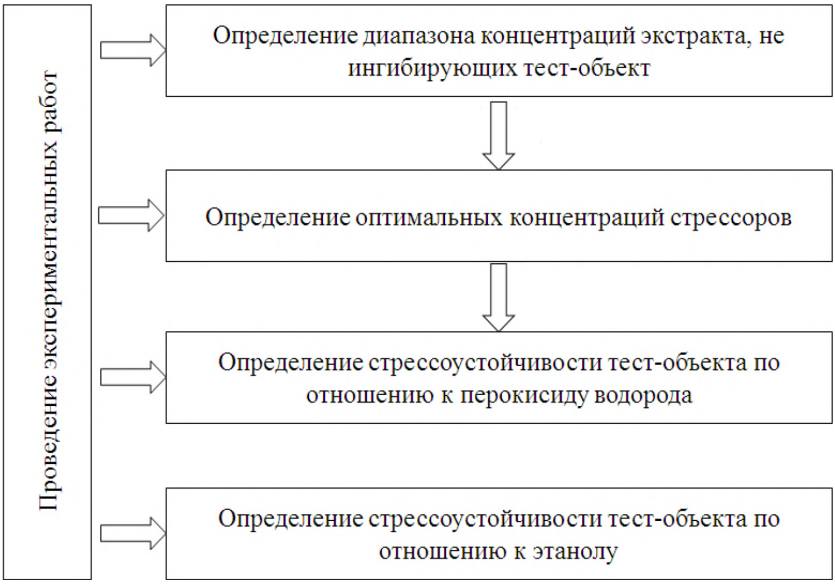


Рис. 1. Схема экспериментальных исследований

Результаты по первому этапу эмпирических работ обобщены в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние концентрации экстракта на прирост биотеста

Эксперимент № 1								
Сутки	Концентрация экстракта мг/мл							
	К	0,0076	0,071	0,13	0,235	0,27	0,32	0,435
Количество живых инфузорий (мёртвых)								
1 сутки	1/2/1	4//3/2	3/4/3	4/3/4	4/4/1	2/3/4	4/3/4	3/2/2
2 сутки	1/1/(1)	2/2/1	2/2/(1)	1/3(3)/1	(1)/2/4	1/-/4(1)	1/2/1	2/-/2
3 сутки	1/2/-	6/7/4	3/4\4	4/4/4	4(1)/4/4	4(1)/4(1)/4	2/3/2	2/6/2
Эксперимент № 2								
Сутки	Концентрация экстракта мг/мл							
	К	0,0076	0,071	0,13	0,235	0,27	0,32	0,435
	Количество живых инфузорий (мёртвых)							
1 сутки	2/(1)/8	2/3(1)/2	2/3/3	3/2/2	2/6/4	3/4/2	2/2/2	2/2/2(1)
2 сутки	2/4/2	3/2/1	2/3/4	3/3/3	2/2/2	2/4/3	2/3/3	2/2/4
3 сутки	1/3/4	4/3/4	3/3/3	3/3(1)/2	2/3/4	2/2/3	4/3/3	4/2/3

Эксперимент № 3								
Сутки	Концентрация экстракта мг/мл							
	К	0,0076	0,071	0,13	0,235	0,27	0,32	0,435
Количество живых инфузорий (мёртвых)								
1 сутки	3/4/2	1(1)/3/4	2/2/2	3/4/1	4/4/1	4/4/2	2(2)/2/1(1)	1(3)/3(1)/2(1)
2 сутки	3/4/2	4/4/3	7/7/4	4/4/-	4(1)/4/1	5/6/8	4/5/4	4/4/4
3 сутки	7/7(1)/6	7/5(2)/4	3/4/4	6/7/7	2\4\7	6/7/7	7/4(1)/5	4/7/4
Эксперимент № 4								
Сутки	Концентрация экстракта мг/мл							
	К	0,0076	0,071	0,13	0,235	0,27	0,32	0,435
Количество живых инфузорий (мёртвых)								
1 сутки	2/2/1	2/2/3	2/2/2	2/2/2	2/2/3	2/3/3	2/4/2	2/4/2
2 сутки	5/6/4	7/7/4	7/7/8	5/7/12	4/8/8	7/8/8	7/8/8	8/8/14
3 сутки	6/7(1)/6	4/4(1)/7	6/4/4	4/8/9(1)	8/8/7	7/7/8	6/7/7	7/6/7

а) б)

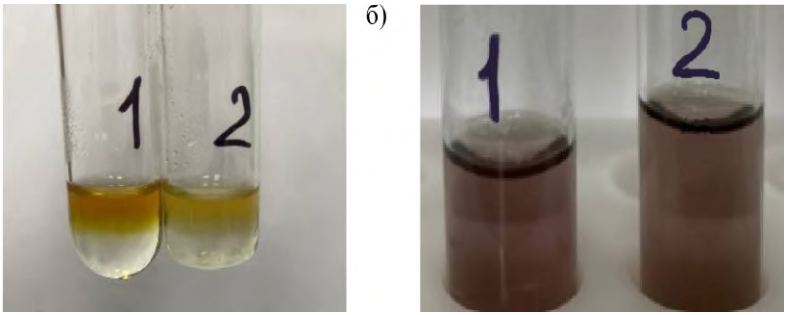


Рис. 2. Качественные реакции на: а) углеводы: реакция Молиша; б) белки: реактив Бредфорда.

Контрольный опыт проводили без добавления фитоэкстракта. Как видно из табличных данных, все выбранные для исследования концентрации водного экстракта бархатцев распростертых не только не ингибируют, но и в ряде случаев стимулируют рост инфузорий, что особенно характерно для двух- и трехсуточных экспериментов. С наибольшей вероятностью наблюдаемый факт можно объяснить наличием в изучаемых экстрактах компонентов, являющихся биологическими стимуляторами роста, таких как витамин С, глютаминовая и аспаргиновая кислоты [1]. Кроме того, проведенный качественный анализ фитоэкстракта на содержание белков и углеводов, которые могут быть использованы инфузориями в качестве субстрата, подтвердил их наличие (рис. 2) [12; 9].

Следующий этап работы заключался в определении оптимальных концентраций стрессоров (табл. 2).

Согласно литературным данным [6; 7], для оценки стрессоустойчивости использовали пероксид водорода в диапазоне концентраций 1-3%, этиловый спирт в интервале концентраций 5-14%.

Таблица 2.

Влияние концентраций стрессоров на время обездвиживания инфузорий *Paramecium caudatum*

Стрессор	Концентрация стрессора	Время обездвиживания, мин.		
		1	2	3
Пероксид водорода	3%	Мгновенно	Мгновенно	Мгновенно
	2%	0,20	0,19	0,20
	1,5%	1	1	1,1
	1%	>3	>3	>3
Этиловый спирт	14%	Мгновенно	Мгновенно	Мгновенно
	10%	Мгновенно	Мгновенно	Мгновенно
	7%	1	1,2	1,1
	5%	>3	>3	>3

а) б)

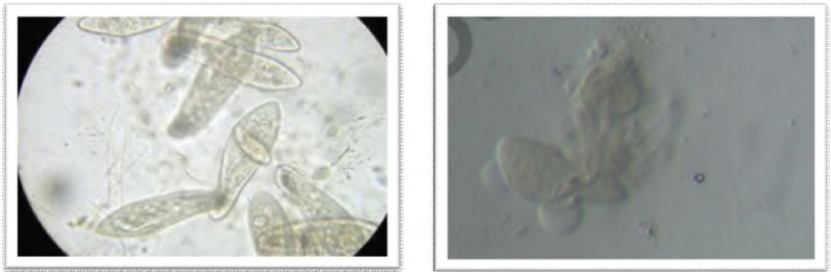


Рис. 3. Лизис клетки Paramecium caudatum: а) до воздействия стрессора; б) после воздействия стрессора

Согласно полученным данным, установлена рациональная концентрация стрессора пероксида водорода 1,5%, а этилового спирта - 7%. При увеличении концентрации стрессоров для пероксида водорода выше 1,5%, а для этанола выше 7% наблюдалось почти мгновенное обездвиживание инфузорий, сопровождающееся грубыми морфологическими изменениями клеток парамеций, как показало их микрокопирование до и после воздействия стрессоров (рис. 3).

После воздействия пероксида водорода наблюдали структурные нарушения мембран в виде округлых выпячиваний, которые приводили к лизису простейших, что согласуется с литературными данными [4]. При добавлении в среду культивирования этилового спирта клетки инфузорий приобретали округлую форму и спускались на дно лунки. При уменьшении концентрации стрессоров наблюдалась обратная картина.

В качестве главного критерия при оценке стрессоустойчивости тест-объекта служило время обездвиживания инфузорий при воздействии стрессора.

Результаты по влиянию пероксида водорода и этанола на тест-объект при добавлении в среду культивирования изучаемых экстрактов в диапазоне концентраций 0,03-0,435 мг/мл приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Время обездвиживания парамеций при воздействии стрессоров

Эксперимент № 1					
Стрессор	Концентрация экстракта мг/мл				
	К	0,03	0,071	0,13	0,435
Время гибели инфузорий под действием стрессора, мин					
C_2H_5OH	0,24±0,043	0,17±0,04	0,31±0,03	0,38±0,04	0,87±0,09
H_2O_2	0,63±0,06	1,95±0,05	2,92±0,01	3,63±0,01	4,27±0,16
Эксперимент № 2						
Стрес-сор	Концентрация экстракта мг/мл					
	К	0,03	0,071	0,13	0,235	0,435
Время гибели инфузорий под действием стрессора, мин						
C_2H_5OH	0,32±0,04	0,57±0,11	0,77±0,04	0,8±0,06	0,88±0,04	0,80±0,18
H_2O_2	0,76±0,26	2,88±0,18	3,6±0,37	4,18±0,11	4,75±0,09	5,17±0,24
Эксперимент № 3						
Стрес-сор	Концентрация экстракта мг/мл					
	К	0,03	0,071	0,13	0,235	0,435
Время гибели инфузорий под действием стрессора, мин						
C_2H_5OH	0,33±0,08	0,44±0,08	0,57±0,05	0,71±0,08	0,56±0,07	0,94±0,16
H_2O_2	0,63±0,06	1,48±0,15	3,18±0,03	3,55±0,06	4,15±0,06	4,72±0,17

Усредненные результаты позволяют получить более наглядную информацию о влиянии водного экстракта соцветий бархатцев распростертых на стрессоустойчивость биомодели (рис. 4).

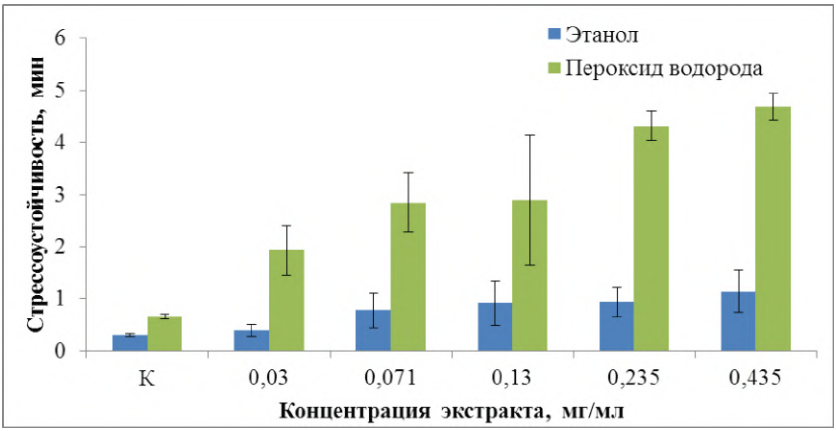


Рис. 4. Влияние водного экстракта из соцветий *Tagetes patula L* на стрессоустойчивость инфузорий *Paramecium caudatum*

Как видно из приведенного графического материала, водный экстракт из соцветий бархатцев распростертых повышают стрессоустойчивость тест-объекта, наиболее выраженное по отношению к пероксиду водорода. При этом увеличение концентраций изучаемых экстрактов приводит к росту стрессоустойчивости инфузорий парамеций.

Что касается этилового спирта, не во всех экспериментах низкие концентрации фитоэкстракта (до 0,13 мг/мл) были эффективны. Возможно, это связано с тем, что спирт является более жестким стрессором, а также, способностью ферментов клетки простейших разлагать пероксид водорода, что облегчает задачу для антиоксидантов экстракта.

Заключение

В результате серии проведенных экспериментальных исследований установлены оптимальные условия проведения биотестирования при использовании в качестве тест-объекта равноресничных инфузории *Paramecium caudatum* для оценки антиоксидантного потенциала водных экстрактов сушеных соцветий бархатцев распростертых сорта «Кармен». Предложено использование следующих концентраций стрессоров: 1,5% - для пероксида водорода; 7% - для этанола. Время обездвиживания инфузорий при обработке пероксидом водорода и этанолом составляет соответственно 1±0,01 и 1,2±0,01 минут. Установлены концентрации изучаемого фитоэкстракта, не ингибирующие тест-объект. Показано их ростстимулирующее влияние на биотест, об-

условленное наличием белковой и углеводной составляющих в исследуемом объекте. Выявлено, что водные экстракты соцветий бархатцев распростертых проявляют антиоксидантный и мембраностабилизирующий эффекты в диапазоне концентраций 0,03-0,435 мг/мл по сухому веществу экстракта.

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

Список литературы

1. Вахитов, Т. Я. (2012). Регуляторные функции аминокислот и их сочетаний у прокариот и в тканях высших организмов. *Успехи современной биологии*, (6), 596–602. EDN: https://elibrary.ru/PHGCNV
2. Габышева, А. Н., & Сон, В. В. (2014). Инфузории как тест-объекты для определения качества среды. В: *Перспективы развития фундаментальных наук: материалы XI Международной конференции студентов и молодых учёных* (с. 322–324). Томск. EDN: https://elibrary.ru/TUAOGZ
3. Казимова, К. Ш., Ахмадуллина, Ф. Ю., Акулов, А. Н., Щербакова, Ю. В., & Никитин, Е. Н. (2024). Скрининг параметров извлечения биологически активных веществ из цветов бархатцев распростёртых (*Tagetes patula*) и оценка антиоксидантной активности их водных экстрактов. *Химия растительного сырья*, (3), 250–258. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240313383. EDN: https://elibrary.ru/GWNKRG
4. Карпухина, О. В. (2013). Действие антиоксидантов в модели оксидантного стресса, индуцированного солями тяжёлых металлов. *Биологические науки*, (11), 671–674.
5. Ляшенко, О. А. (2012). *Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды: учебно-методическое пособие*. СПб.: СПб ГТУРП, 64 с.
6. Мелехова, О. П. (2010). *Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование*. М.: Издательский центр «Академия», 288 с. ISBN: 978-5-7695-7033-9. EDN: https://elibrary.ru/QKSVCH
7. Огай, М. А., Степанова, Э. Ф., Холодов, Д. Б., & Николаевский, В. А. (2011). Антиоксидантный и мембраностабилизирующий эффект таурина. *Вестник ВГУ. Серия: химия, биология, фармация*, (1), 186–191. EDN: https://elibrary.ru/MQXLCS
8. Папаяни, О. И. и др. (2012). Изучение химического состава и антимикробной активности сухого экстракта из цветков бархатцев распространённых (*Tagetes patula* L.). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, (14), 742–744. EDN: https://elibrary.ru/QAQVJR

9. Потапова, Д. А., & Рендюк, Т. Д. (2016). Изучение химического состава капусты брокколи (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) как пищевого и лекарственного растения. В: *Лекарственные растения Ботанического сада* (с. 96). EDN: https://elibrary.ru/WNGXPZ
10. Савельева, А. Е. (2023). *Фармакогностическое исследование бархатцев отклонённых (Tagetes patula L.): автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата фармацевтических наук: 3.4.2*. Самара, 25 с. EDN: https://elibrary.ru/BZMUDC
11. Саякова, Г. М., Датхаев, У. М., & Кисличенко, В. С. (2019). *Фармакогнозия*. М., 225 с.
12. Шленёва, В. А. и др. (2019). Качественная и количественная оценка содержания углеводов во фруктовых соках. В: *Актуальные вопросы современной медицины* (с. 368–370). EDN: https://elibrary.ru/OGXJFV
13. Щербакова, Ю. В. и др. (2020). Метод биотестирования для контроля качества молочного сырья при промышленных режимах термообработки. *Химическая безопасность*, *4*(2), 282–292. https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020. EDN: https://elibrary.ru/PCMCTH
14. Щербакова, Ю. В., Ахмадуллина, Ф. Ю., & Егорова, Е. А. (2019). Перспективы использования метода гальваностатической кулонометрии для оценки интегральной антиоксидантной активности молока и кисломолочной продукции. Казань: КНИТУ, 132 с.
15. Kazimova, K., Rastegaev, E., Akhmadullina, F., Shcherbakova, Y., Shumatbaev, G., & Zakirov, R. (2024). Влияние способа консервирования на антиоксидантный потенциал экстрактов на основе плодов аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *16*(5), 38–59. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-5-914. EDN: https://elibrary.ru/INFPBU
16. Sirotina, K., Kazimova, K., Shcherbakova, Y., Akhmadullina, F., & Nikitin, E. (2022). Study of the antioxidant activity of rowan extracts (*Sorbus aucuparia*) by biotesting method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *949*, 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032. EDN: https://elibrary.ru/NTEVNN

References

1. Vakhitov, T. Ya. (2012). Regulatory functions of amino acids and their combinations in prokaryotes and in tissues of higher organisms. *Advances in Modern Biology*, *(6)*, 596–602. EDN: https://elibrary.ru/PHGCNV
2. Gabysheva, A. N., & Son, V. V. (2014). Ciliates as test objects for environmental quality assessment. In: *Prospects for the development of fundamental sciences:*

proceedings of the XI International Conference of students and young scientists (pp. 322–324). Tomsk. EDN: https://elibrary.ru/TUAOGZ

3. Kazimova, K. Sh., Akhmadullina, F. Yu., Akulov, A. N., Shcherbakova, Yu. V., & Nikitin, E. N. (2024). Screening of extraction parameters for biologically active substances from marigold flowers (Tagetes patula) and evaluation of antioxidant activity of their aqueous extracts. *Chemistry of Plant Raw Material*, *(3)*, 250–258. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240313383. EDN: https://elibrary.ru/GWNKRG
4. Karpukhina, O. V. (2013). The effect of antioxidants in a model of oxidative stress induced by heavy metal salts. *Biological Sciences*, *(11)*, 671–674
5. Lyashenko, O. A. (2012). *Bioindication and biotesting in environmental protection: educational and methodological guide*. St. Petersburg: SPb GTURP, 64 p.
6. Melekhova, O. P. (2010). *Biological monitoring of the environment: bioindication and biotesting*. Moscow: Publishing Center "Academy", 288 p. ISBN: 978-5-7695-7033-9. EDN: https://elibrary.ru/QKSVCH
7. Ogay, M. A., Stepanova, E. F., Kholodov, D. B., & Nikolaevsky, V. A. (2011). Antioxidant and membrane-stabilizing effect of taurine. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*, *(1)*, 186–191. EDN: https://elibrary.ru/MQXLCS
8. Papayani, O. I. et al. (2012). Study of the chemical composition and antimicrobial activity of dry extract from common marigold flowers (Tagetes patula L.). *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, *(14)*, 742–744. EDN: https://elibrary.ru/QAQVJR
9. Potapova, D. A., & Rendyuk, T. D. (2016). Study of the chemical composition of broccoli (Brassica oleracea L. var. italica Plenck) as a food and medicinal plant. In: *Medicinal plants of the Botanical Garden* (p. 96). EDN: https://elibrary.ru/WNGXPZ
10. Savelyeva, A. E. (2023). *Pharmacognostic study of French marigold (Tagetes patula L.): abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Pharmaceutical Sciences: 3.4.2*. Samara, 25 p. EDN: https://elibrary.ru/BZMUDC
11. Sayakova, G. M., Datkhaev, U. M., & Kislichenko, V. S. (2019). *Pharmacognosy*. Moscow, 225 p.
12. Shleneva, V. A. et al. (2019). Qualitative and quantitative assessment of carbohydrate content in fruit juices. In: *Topical issues of modern medicine* (pp. 368–370). EDN: https://elibrary.ru/OGXJFV
13. Shcherbakova, Yu. V. et al. (2020). Biotesting method for quality control of milk raw materials under industrial heat treatment conditions. *Chemical Safety*, *4*(2), 282–292. https://doi.org/10.25514/CHS.2020.2.18020. EDN: https://elibrary.ru/PCMCTH

14. Shcherbakova, Yu. V., Akhmadullina, F. Yu., & Egorova, E. A. (2019). *Prospects of using the galvanostatic coulometry method for assessing the integral antioxidant activity of milk and fermented dairy products*. Kazan: KNITU, 132 p.
15. Kazimova, K., Rastegaev, E., Akhmadullina, F., Shcherbakova, Y., Shumatbaev, G., & Zakirov, R. (2024). Effect of preservation method on the antioxidant potential of extracts based on chokeberry fruits (Aronia melanocarpa). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *16*(5), 38–59. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-5-914. EDN: https://elibrary.ru/INFPBU
16. Sirotina, K., Kazimova, K., Shcherbakova, Y., Akhmadullina, F., & Nikitin, E. (2022). Study of the antioxidant activity of rowan extracts (Sorbus aucuparia) by biotesting method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *949*, 012032. https://doi.org/10.1088/1755-1315/949/1/012032. EDN: https://elibrary.ru/NTEVNN

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Казимова Камила Шухратовна, младший научный сотрудник лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН
ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан, Российская Федерация
camilakazimova@yandex.ru

Ахмадуллина Фарида Юнусовна, старший преподаватель кафедры «Промышленной биотехнологии»
Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация
AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru

Щербакова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Промышленной биотехнологии»
Казанский национальный исследовательский технологический университет
ул. Карла Маркса, 72В, г. Казань, 420015, Республика Татарстан, Российская Федерация
balakirevajulia3@mail.ru

Шуматбаев Георгий Геннадьевич, инженер исследователь лаборатории переработки растительного сырья для экологически чистого агрохозяйства
Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ Казанский научный центр РАН
ул. Академика Арбузова, 8, г. Казань, 420088, Республика Татарстан, Российская Федерация
g-shumatbaev@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kamila Sh. Kazimova, Junior Researcher, Laboratory of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture
Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences
8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation
camilakazimova@yandex.ru
SPIN-code: 9769-3201
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5442-0620
ResearcherID: HGU-5633-2022
Scopus Author ID: 57433671500

Farida Yu. Akhmadullina, Senior Lecturer at the Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
72, Karla Marksa Str., Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation
AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6538-5616

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

Kazan National Research Technological University
72, Karla Marksa Str., Kazan, 420029, Republic of Tatarstan, Russian Federation
balakirevajulia3@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7534-7119

Georgiy G. Shumatbaev, Research Engineer of Processing of Plant Raw Materials for Ecological Agriculture
Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences
8, Akademika Arbuzova Str., Kazan, 420088, Republic of Tatarstan, Russian Federation
g-shumatbaev@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1199-3178
ResearcherID: A-7886-2019
Scopus Author ID: 56471945300

Поступила 20.05.2025 Received 20.05.2025
После рецензирования 23.06.2025 Revised 23.06.2025
Принята 27.06.2025 Accepted 27.06.2025

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1337 **EDN: KWGBLV**
UDC 579.68:628.547:504.054

Original article

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF OIL-DEGRADING BACTERIA FROM OIL-CONTAMINATED MUDDY SOIL SAMPLES AT AUTOMOTIVE SERVICE STATIONS IN VIETNAM

T.K.T. Nguyen, T.T. Do, T.T.T. Tran, T.M. Luong, Q.T. Mai, T.C. Nguyen, K.T. Nguyen, D.D. Phan, C.C. Ngo

Abstract

Background. Oil pollution from vehicle maintenance and oil storage tanks at automotive service stations poses significant environmental challenges, affecting both soil and water ecosystems. Bioremediation is an effective and eco-friendly approach that utilizes microorganisms to degrade hydrocarbons in contaminated environments. Numerous indigenous bacterial species capable of hydrocarbon degradation have been studied for their potential application in pollution treatment.

Purpose. This study aimed to isolate and identify oil-degrading bacterial strains from oil-contaminated muddy soil samples collected from automotive service stations in Hanoi and Dong Nai, Vietnam. The objective was to evaluate their degradation efficiency and explore their potential application in bioremediation strategies.

Materials and methods. Four oil-contaminated muddy soil samples were collected from car wash areas and oil storage tanks in Hanoi and Dong Nai, Vietnam, in August 2024. In this study, we used methods such as: enrichment in GOST mineral medium supplemented with crude oil mixed in DO, isolation method, assessment

of oil degradation ability by gravimetric methods, OD_{600nm} measurement by UV-vis spectrophotometer, study of morphological characteristics and molecular identification of bacterial strains.

Results. From four oil-contaminated mud samples, after three enrichment cycles in a mineral medium supplemented with 5% (w/v) crude oil and diesel, sample M4 exhibited the highest oil degradation efficiency, achieving 80.12% removal after three enrichment cycles. Six representative bacterial strains were isolated on MPA agar from sample M4 and identified based on morphological and biochemical characteristics. Using molecular biological techniques, these hydrocarbon-degrading strains were identified as *Achromobacter xylosoxidans* ZB1.3 (PQ351236), *Ignatzschineria rhizosphaerae* ZB2.4 (PQ351237), *Stenotrophomonas acidaminiphila* ZB2.1 (PQ351238), *Brevundimonas diminuta* KN2.3 (PQ351239), *Aeromonas hydrophila* KN3.2 (PQ351240), and *Rhodococcus ruber* JN5.2 (PQ351241). The isolates, particularly strain JN5.2, demonstrated the ability to grow in a mineral medium supplemented with 1% oil after six days of incubation.

Conclusion. These results reveal the diversity of oil-degrading microorganisms and underscore the potential of indigenous microbial communities for self-remediation in oil-polluted environments, offering a sustainable and effective solution for environmental restoration.

Keywords: bacterial consortium; biodegradation; indigenous bacteria; oil-degrading bacterial; oil-contaminated muddy soil

For citation. Nguyen, T. K. T., Do, T. T., Tran, T. T. T., Luong, T. M., Mai, Q. T., Nguyen, T. C., Nguyen, K. T., Phan, D. D., & Ngo, C. C. (2025). Isolation and identification of oil-degrading bacteria from oil-contaminated muddy soil samples at automotive service stations in Vietnam. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 153-167. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1337

Introduction

Oil pollution in soil and water at transport units is a significant environmental issue due to the extensive use of fuels, oils, lubricants, and other petroleum-based products in operations. Contamination can occur during large-scale vehicle maintenance, refueling operations, and transportation activities, leading to accidental spills, leaks from storage tanks, and improper disposal of waste materials [1]. In soil, oil pollution reduces fertility, alters physical structure, and inhibits plant growth due to the toxic nature of hydrocarbons. In aquatic environments, oil spills can form slicks on water surfaces, disrupt ecosystems, and harm aquatic life by reducing oxygen levels and introducing toxic compounds [2]. Additionally, oil pollutants can seep into groundwater, contaminat-

ing drinking water supplies and posing long-term risks to human health and biodiversity [3].

Remediation of oil-polluted environments is challenging and typically involves complex physical, chemical, and biological methods to restore ecosystem health and prevent long-term damage. Among these, bioremediation stands out as an eco-friendly and cost-effective approach, leveraging the natural capabilities of microorganisms to degrade oil pollutants [4]. Soil-dwelling bacteria capable of degrading hydrocarbons are highly diverse and abundant. They are commonly found in large concentrations in areas affected by oil pollution [5]. Zhang et al. isolated 38 bacteria by enrichment cultivation from oil-contaminated soils of an oil field in Daqing, China. Of which, 11 strains could degrade the total petroleum hydrocarbon (TPH) of diesel oil by more than 70% in 7 days [6]. Hydrocarbon-degrading bacteria play a crucial role in breaking down complex hydrocarbons into less harmful substances. The indigenous microbes such as *Achromobacter, Arthrobacter, Pseudomonas, Bacillus, Staphylococcus, Rhodococcus, Enterobacter*, ... utilize hydrocarbon contaminants as the sole carbon and energy sources based on their natural metabolic pathways [3; 7].

The effectiveness of bioremediation depends on several factors, including environmental conditions (e.g., pH, temperature, oxygen levels), the type of oil present, and the availability of essential nutrients like nitrogen and phosphorus [1]. Studies have demonstrated that introducing pre-selected strains of native microorganisms from contaminated environments can significantly enhance the cleanup process. Bento demonstrated that the effective and straightforward method for cleaning up diesel-contaminated soils using in situ bioremediation is to introduce a pre-selected strain of native microorganisms from their own surroundings [8]. Similarly, in aquatic environments, bioaugmentation with hydrocarbon-degrading bacteria has shown promise in accelerating the breakdown of oil spills and mitigating their ecological impact [9].

Given the critical role of indigenous microorganisms in bioremediation, isolating and studying their biological characteristics is essential for developing effective pollution treatment strategies. This study focuses on isolating bacterial strains capable of degrading crude oil and diesel oil from contaminated muddy soil samples collected near car washes and oil storage tanks in Hanoi and Dong Nai, Vietnam. The research aims to evaluate the degradation efficiency of these strains and identify indigenous bacteria with the potential to bioremediate oil-contaminated environments. From this, sustainable solutions can be proposed to mitigate oil pollution in both terrestrial and aquatic ecosystems.

Materials and methods

Materials and chemicals

Four oil-contaminated muddy soil samples were collected at depths ranging from 5 to 30 cm from areas near car washes and oil storage tanks at automotive service stations, where oil pollution due to discharge activities had occurred in Hanoi (Coordinates: 21.1152° N, 105.4555° E) and Dong Nai (Coordinates: 10.9080° N, 106.8832° E), Vietnam, in August 2024 (Figure 1). From each location, a minimum of three samples were collected randomly and mixed together to create a single pooled analytical sample. The samples were packed in sterile plastic bags and stored at 4 ˚C for transportation to the laboratory of Department of Biotechnology, Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center.

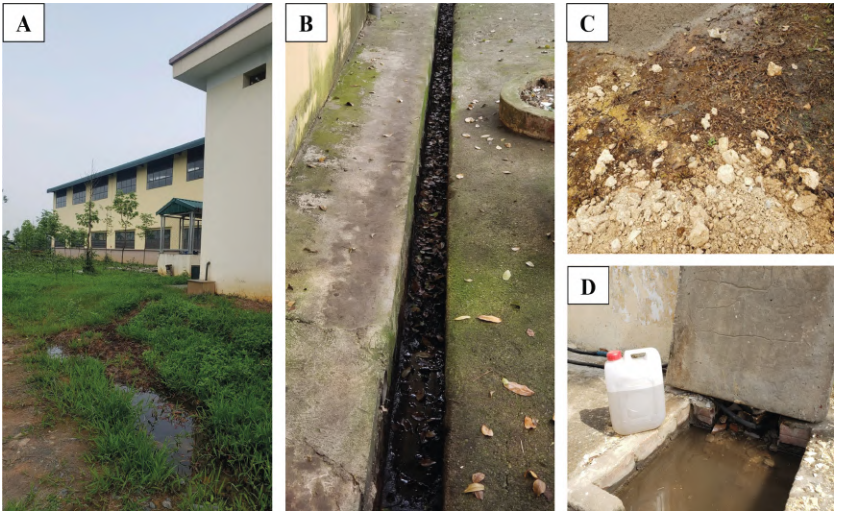


Fig. 1. Sampling locations for oil-contaminated muddy soil samples at areas near car washes and oil storage tanks in Vietnam. (A), (B), (C) HaNoi; (D) Dong Nai

Mineral salt medium (GOST 9023-74) contained the following: KNO_3 - 4 g; KH_2PO_4 - 0.5 g; Na_2HPO_4 - 1.4 g; $MgSO_4$ - 0.8 g, distilled water 1L, addition 5% crude oil mixed in DO (at a ratio of 5:95). The DO fuel used for enrichment and the petroleum products used for biodegradation experiments were collected from petroleum company (Petrolimex, Vietnam) [10].

The MPA modified medium for bacterial isolation and culture consisted of peptone 10 g/L, meat extract 5 g/L, NaCl 5 g/L, agar 20 g/L.

Analytical Methods

Enrichments and oil degradation ability of the bacterial consortium in oil-contaminated muddy soil samples

Oil-contaminated muddy soil samples were enriched in Erlenmeyer flasks containing GOST 9023-74 liquid medium supplemented with 5% crude oil mixed in DO in a ratio of 5:95 as the only energy and carbon source. The flasks were incubated on a rotary shaker at 30° C and 150 rpm for 7 days. After 7 days of incubation, the enriched culture was extracted and transferred to the same fresh medium at a ratio of 10% (v/v). After three enrichment cycles, the remaining crude oil from the culture broth was extracted by solvent extraction with n-hexane. After the solvent evaporated, the amount of residual oil was determined by gravimetric methods. The flask of mineral medium containing oil without added sample was used as control. The percentage of oil degradation was determined by the following formula [11]: Percentage of degradation = $((m_{control} - m_{residual})/m_{control})\times 100$, where $m_{control}$ is weight of the oil in control flasks after treatment (g), $m_{residual}$ is weight of the residual oil in testing flasks after treatment (g).

Isolation of oil-degrading bacterial strains

After three enrichment cycles, the total bacterial count was determined by plate counting on MPA-modified medium and incubated at 30°C for 24 hours. Single colonies with phenotypic differences (such as shape, size, color, edge, and texture of colonies, as well as cell shape and size) were streaked onto the same medium to obtain pure strains of oil-degrading bacteria. Then, the single colonies were transferred to MPA medium and stored at -20ºC in 20% glycerol for further study.

Growth conditions and crude oil removal test

The isolated bacterial strains were cultured in 500 ml Erlenmeyer flasks containing 250 ml of GOST 9023-74 medium supplemented with 1% (w/v) crude oil mixed in DO in a ratio of 5:95. The culture was incubated in a rotary shaker at 150 rpm and 30°C for 10 days. A control flask without microorganisms was maintained under the same conditions to serve as an abiotic reference. All experiments were carried out in triplicate. The growth of the isolates was regularly assessed indirectly by measuring the turbidity at OD600nm using a UV-vis spectrophotometer (Shimadzu UV-160, Japan) [12].

Morphological observation of isolated strains

The isolated colonies were incubated on MPA modified for 24-48 h and examined for morphological properties. The cell morphology of the isolated bacteria was observed under a light microscope (Zeiss Axiocam 503 Color Camera Unit) with a magnification of 1000x after Gram staining.

Molecular identification of isolates by 16S rRNA sequencing

The isolated strains were identified based on partial sequence analysis of the 16S rRNA gene. Extraction of genomic DNA from the bacterial isolates was done using Kit ZR Fungal/Bacterial DNA MiniPrepTM (Zymo Research, UK) according to the manufacturer's instructions. 16S rRNA genes were amplified by PCR using the universal primer pairs 27F (5′-AGAGTTTGATCATGGCT-CAG-3′, forward primer) and 1492R (5′-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3′, reverse primer). The product of PCR was sequenced by 1st Base Laboratories Sdn. Bhd., Malaysia. The 16S rRNA sequencing data were compared with the corresponding sequences of the strains registered on GenBank using the BLAST tool on NCBI (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/). The Neighbor-Joining phylogenet-ic tree was constructed using MEGA X software based on 16S rRNA sequences

Data analysis

The results were expressed as mean ± standard deviation (SD) of at least three independent experiments. Statistical data processing was performed using Microsoft Excel 2010 software (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA).

Results and discussion

Enrichment and selection of oil-degrading microbial consortia

After each enrichment in liquid mineral medium supplemented with crude oil mixed with DO, the oil degradation ability of the four samples was evaluated using the gravimetric method. The results in Figure 2 showed that sample M4 degraded the oil most effectively, followed by M2, M1, and M3, respectively.

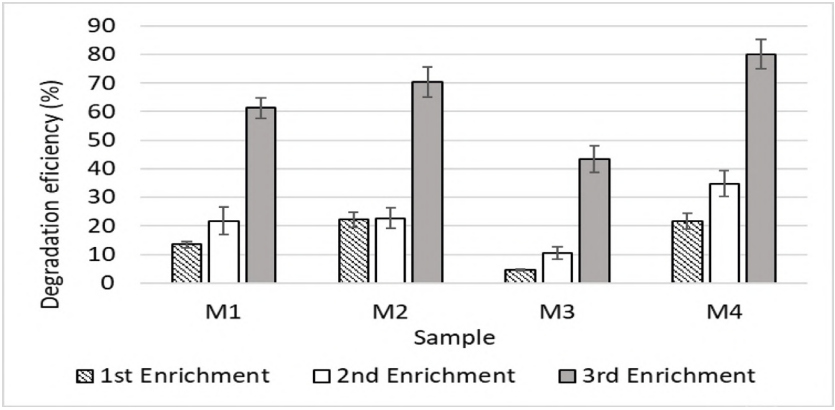


Fig. 2. Percentage of crude oil removal measured by gravimetric after each 7- day enrichment cycles

The indigenous bacteria gradually adapted to the mineral environment containing oil and utilized it as a nutrient-rich carbon source for growth, leading to a gradual increase in the amount of degraded oil over the three enrichment cycles. The results indicated that the best oil degradation performance was observed in the sample enriched for the third time. In the final enrichment, the microbial consortium in the samples degraded between 43.25% and 80.12% of the added oil. Sample M4 was chosen for further studies because it exhibited the highest oil degradation efficiency (80.12%).

Isolation and evaluation of oil-degrading ability of single bacterial strains

After a series of three further subcultures, the microbial population of sample M4 was determined by isolation on MPA medium. The bacterial density in the sample reached approximately 2.1×10^{11} CFU/mL, indicating the rapid growth of oil-degrading bacterial populations. This result is similar to the study by Tuyen et al. (2022), which found that the density of microorganisms in oil-contaminated soil samples collected in Hanoi after three enrichment cycles ranged from 9.3×10^{10} to 1.1×10^{12} CFU/mL [13].

From the third enrichment of sample M4, nine bacterial strains were isolated on MPA medium. Based on morphological characteristics, these nine strains were classified into six groups, including six representative strains with high abundance. These six strains were labeled as ZB1.3, ZB2.4, ZB2.1, KN2.3, KN3.2, and JN5.2 (Figure 3). The relatively large number of isolates after enrichment indicates the richness and diversity of oil-degrading microorganisms in sample M4.

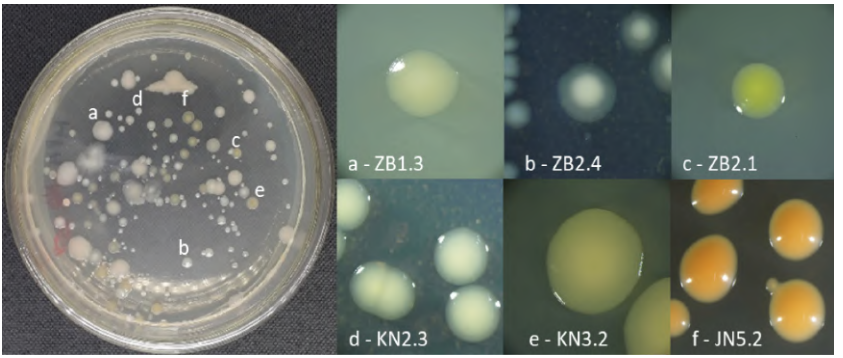


Fig. 3. Six representative bacterial strains isolated from M4 enrichment sample on MPA medium

The growth rate of the isolates in GOST 9023-74 medium containing 1% (w/v) crude oil mixed in DO in a ratio of 5:95 was determined by UV spectrometry at

OD_{600nm}. The growth curve of the strains isolated from M4 enrichment sample were depicted in Figure 4. During the incubation period, the medium gradually became turbid, indicating the growth of microorganisms. The OD_{600nm} of all the six strains on the first day was not obvious, which may be owing to adaption of the strains to the new environment. However, after three days of incubation, the OD_{600nm} of all strains exhibited a rapid increase, reaching its peak after approximately six days (OD_{600nm} values ranged from 0.2 to 1.25). This observation suggests that all six strains exclusively utilized the supplemented oil as their sole source of carbon and energy. In particular, strain JN5.2 demonstrated significantly enhanced growth, attaining a maximum OD_{600nm} value of 1.2, which was 2–3 times higher than that of the other strains. Thus, strain JN5.2 adapts well to an oil-rich environment, indicating its high potential for application in oil pollution treatment. Different bacterial strains demonstrated different growth rates in the oil-containing medium, highlighting differences in their hydrocarbon biodegradation potential. These differences could be attributed to the physiological activity of the strains, the presence of hydrocarbon-degrading enzymes, and their expression and activity [12].

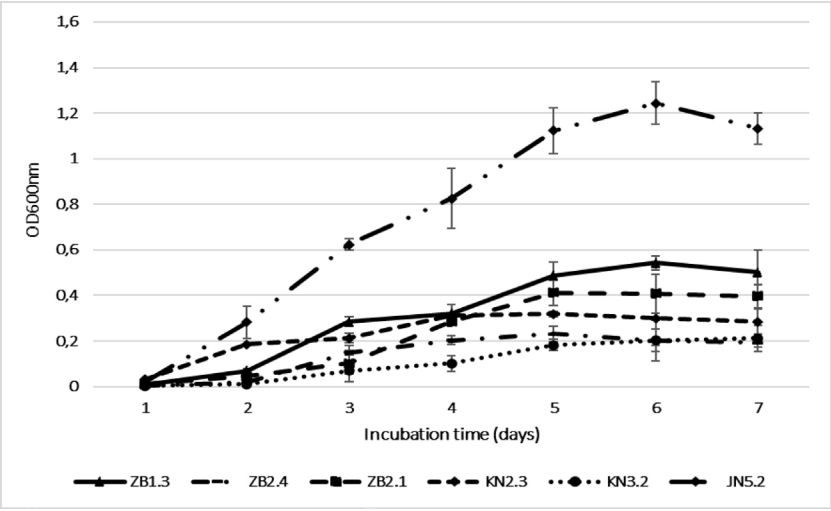


Fig. 4. The growth rates of six representative bacterial strains in mineral broth containing 1% of crude oil mixed in DO.

Morphological of oil-degrading bacteria

The six representative bacterial strains have significantly different morphological characteristics. These six strains were labeled and described as in

Table 1. The strains were creamy white or yellow in color, rod-shaped cells. 5/6 strains were Gram-negative bacteria, whereas JN5.2 was a Gram-positive bacterium (Table 1).

All bacterial strains grew well under neutral pH conditions, with a salt concentration of 0.5% and an average optimal growth temperature of approximately 30ºC. These growth parameters indicate the suitability of these strains for bacterial inoculation in the bioremediation of oil-contaminated soil and wastewater under natural ecological conditions.

Table 1.

Morphological characteristics of six selected oil-degrading bacterial strains on MPA medium

Isolates	Morphology of colony				Gram stain	Shape of cell
	Form	Color	Elevation	Margin		
ZB1.3	Irregular	pale yellow	Flat	Smooth	-	Rods
ZB2.4	Circular	Cream	Flat	Curled	-	Rods
ZB2.1	Circular	Lemon yellow	Flat	Smooth	-	Rods
KN2.3	Circular	Cream	Raised	Smooth	-	Rods
KN3.2	Circular	Cream Yellow	Flat	Smooth	-	Rods
JN5.2	Circular	Orange	Convex	Smooth	+	Rods

Identification of oil-degrading bacteria

Based on biochemical and physiological characteristics and phylogenetic analysis, the six isolated bacterial strains were identified as belonging to 6 different bacterial genera with the identity of more than 99% homology. The 16S rRNA gene sequences of six strains were identified and submitted to NCBI databases under the GenBank accession numbers: *Achromobacter xylosoxidans* ZB1.3 (PQ351236), *Ignatzschineria rhizosphaerae* ZB2.4 (PQ351237), *Stenotrophomonas acidaminiphila* ZB2.1 (PQ351238), *Brevundimonas diminuta* KN2.3 (PQ351239), *Aeromonas hydrophila* KN3.2 (PQ351240) and *Rhodococcus ruber* JN5.2 (PQ351241), respectively (Table 2). Based on the 16S rRNA sequences of six isolates, a phylogenetic tree was constructed by the Neighbor-joining method (Figure 5).

Numerous different bacterial genera were identified indicating that the sample had a wide biodiversity. The isolation of bacteria directly from oil contaminated sites as oily sludge and soil was reported in the references. The strains isolated in sample M4 have almost been studied for their ability to degrade petroleum hydrocarbon components.

From oil-contaminated environments, many bacterial strains belonging to the genera *Achromobacter, Stenotrophomonas, Brevundimonas,...* had been isolat-

ed and studied for their ability to degrade hydrocarbons [13-15]. According to Assih's publication in 2002, *S. acidaminiphila* was mesophilic bacteria isolated from a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating a petrochemical wastewater [16]. This bacterial species has also been isolated from the oil-contaminated muddy soil in Hanoi, Vietnam [13]. *B. diminuta* isolated from oil-polluted seawater has been shown to utilize diesel oil as the sole source of carbon and energy and gave a biodegradation rate of 45% over 6 days under the salinity of 3.38% (w/w) [15]. In the study of Ranjan Pandey, a bacterial strain *A. hydrophila* RP1 that produces glycolipopeptide type biosurfactant was identified and isolated for the utilization in hydrocarbon degradation and EOR [14]. Notably, the bacterial strain JN5.2 demonstrated robust growth in oil-containing environments and was identified as closely related to *R. ruber*. This species has been extensively studied for its capacity to produce biosurfactants, as documented in numerous reports, and has been widely applied in Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) technology [17; 18]. The *I. rhizosphaerae* had been exclusively isolated from the rhizosphere soil of the halophytic plant *Kalidium cuspidatum* in China [19]. To date, no studies have investigated its potential for oil or hydrocarbon degradation. These findings indicate that, with the exception of *I. rhizosphaerae* strain ZB2.4, which requires further investigation, the microorganisms isolated from sample M4 exhibit significant potential for application in the remediation of oil-contaminated environments, particularly *R. ruber* strain JN5.2.

Table 2.

Identification of six strains based on 16S rRNA sequences

Isolate	Accession number/ NCBI	Identification	Identity (%)	References on oil degradation ability
ZB1.3	PQ351236	*Achromobacter xylosoxidans*	99.93%	[20]
ZB2.4	PQ351237	*Ignatzschineria rhizosphaerae*	99.86%	no study
ZB2.1	PQ351238	*Stenotrophomonas acidaminiphila*	100%	[13, 16]
KN2.3	PQ351239	*Brevundimonas diminuta*	100%	[15]
KN3.2	PQ351240	*Aeromonas hydrophila*	100%	[14]
JN5.2	PQ351241	*Rhodococcus ruber*	99.85%	[17, 18]

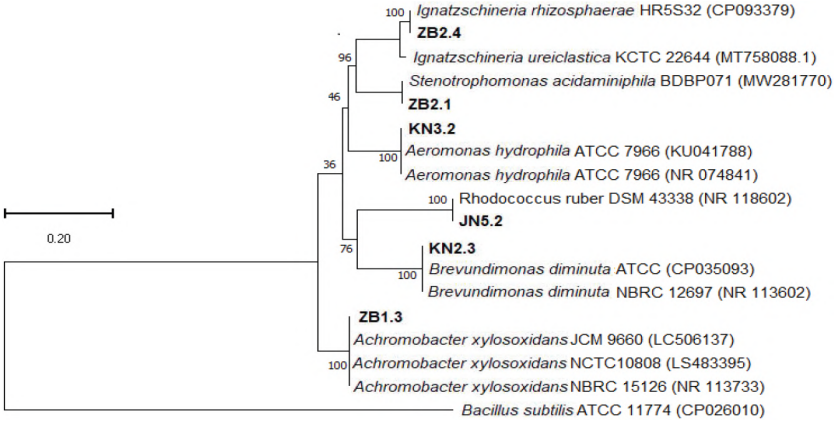


Fig. 5. Phylogenetic tree of the isolated strains based on 16S rRNA sequences using neighbour-joining method by MEGA X

The identification of indigenous microorganisms with potential biodegradation capabilities is crucial for the effective remediation of contaminated environments. The enrichment technique utilizing 5% crude oil in DO facilitated the isolation of bacteria capable of tolerating hydrocarbon residues. The selected strains exhibited enhanced adaptability to environmental stress and increased resistance to fluctuations in environmental conditions, making them promising candidates for bioremediation applications.

Conclusion

This study successfully isolated six indigenous bacterial strains with significant hydrocarbon-degrading capabilities from oil-contaminated soil near automotive service stations in Vietnam. Sample M4 showed the highest degradation efficiency, removing 80.12% of the added oil. The 16S rRNA gene sequences of the bacterial consortium were submitted to the NCBI GenBank database under the following accession numbers: *Achromobacter xylosoxidans* ZB1.3 (PQ351236), *Ignatzschineria rhizosphaerae* ZB2.4 (PQ351237), *Stenotrophomonas acidaminiphila* ZB2.1 (PQ351238), *Brevundimonas diminuta* KN2.3 (PQ351239), *Aeromonas hydrophila* KN3.2 (PQ351240), and *Rhodococcus ruber* JN5.2 (PQ351241). The strains, including *R. ruber* JN5.2, thrived in mineral environments, utilizing hydrocarbons as their sole carbon source, with optimal growth observed in 1% oil after six days. *R. ruber* JN5.2 exhibited exceptional adaptability, highlighting its bioremediation potential.

These findings emphasize the effectiveness of indigenous microorganisms in oil pollution mitigation and their promise for sustainable environmental restoration. Further research is recommended to optimize their application in large-scale bioremediation projects and explore their potential in other hydrocarbon-contaminated ecosystems.

Sponsorship information. This project is supported and implemented by the Laboratory of Microbiology - Department of Biotechnology/ Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center under grant number SH.TH.01/24.

References

1. Kebede, G., et al. (2021). Factors influencing the bacterial bioremediation of hydrocarbon contaminants in the soil: mechanisms and impacts. *Journal of Chemistry*, *2021*(1), 9823362. https://doi.org/10.1155/2021/9823362. EDN: https://elibrary.ru/MMNMAG
2. Sakshi, S., Singh, A., & Haritash, A. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons: soil pollution and remediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *16*, 6489–6512. https://doi.org/10.1007/s13762-019-02414-3. EDN: https://elibrary.ru/ESIFBZ
3. Alaidaroos, B. A. (2023). Advancing eco-sustainable bioremediation for hydrocarbon contaminants: challenges and solutions. *Processes*, *11*(10), 3036. https://doi.org/10.3390/pr11103036. EDN: https://elibrary.ru/IZQGZC
4. Das, N., & Chandran, P. (2011). Microbial degradation of petroleum hydrocarbon contaminants: an overview. *Biotechnology Research International*, *2011*(1), 941810.
5. Popp, N., Schlomann, M., & Mau, M. (2006). Bacterial diversity in the active stage of a bioremediation system for mineral oil hydrocarbon-contaminated soils. *Microbiology*, *152*(11), 3291–3304. https://doi.org/10.1099/mic.0.29054-0. EDN: https://elibrary.ru/MDMNKT
6. Zhang, Z., et al. (2010). Characterization and biotechnological potential of petroleum-degrading bacteria isolated from oil-contaminated soils. *Bioresource Technology*, *101*(21), 8452–8456.
7. Xu, X., et al. (2018). Petroleum hydrocarbon-degrading bacteria for the remediation of oil pollution under aerobic conditions: a perspective analysis. *Frontiers in Microbiology*, *9*, 2885. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02885. EDN: https://elibrary.ru/HIOOAW
8. Bento, F. M., et al. (2003). Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. *Brazilian Journal of Microbiology*, *34*, 65–68.

9. Ma, Y., et al. (2024). Degrading characteristics of oil-degrading bacteria and its study of petroleum hydrocarbon metabolites. *CLEAN – Soil, Air, Water*, *52*(2), 2300163. https://doi.org/10.1002/clen.202300163. EDN: https://elibrary.ru/PSISXL
10. Lai, Th. H., Nguyen, T. Y., & Vuong, T. N. (2013). Biosurfactant-producing *Rhodococcus ruber* TD2 isolated from oil poluted water in Vung Tau coastal zone. *Academia Journal of Biology*, *35*(4), 454–460.
11. Zhang, Z., et al. (2010). Characterization and biotechnological potential of petroleum-degrading bacteria isolated from oil-contaminated soils. *Bioresource Technology*, *101*(21), 8452–8456.
12. Al-Marri, S., et al. (2023). Isolation, identification, and screening of biosurfactant-producing and hydrocarbon-degrading bacteria from oil and gas industrial waste. *Biotechnology Reports*, *39*, e00804. https://doi.org/10.1016/j.btre.2023.e00804. EDN: https://elibrary.ru/SECIOY
13. Tuyen, D. T., et al. (2022). Identification of hydrocarbon-degrading bacterial consortium isolated from the oil-contaminated muddy soil in Hanoi, Vietnam. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, (2), 206–215. https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-2-206-215. EDN: https://elibrary.ru/EPIPJL
14. Pandey, R., et al. (2022). Evaluation of a glycolipopepetide biosurfactant from *Aeromonas hydrophila* RP1 for bioremediation and enhanced oil recovery. *Journal of Cleaner Production*, *345*, 131098. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131098. EDN: https://elibrary.ru/WUNALV
15. Wang, X., et al. (2016). Bioremediation of marine oil pollution by *Brevundimonas diminuta*: effect of salinity and nutrients. *Desalination and Water Treatment*, *57*(42), 19768–19775. https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1106984. EDN: https://elibrary.ru/UILGFM
16. Assih, E. A., et al. (2002). *Stenotrophomonas acidaminiphila* sp. nov., a strictly aerobic bacterium isolated from an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, *52*(2), 559–568.
17. Bicca, F. C., Fleck, L. C., & Ayub, M. A. Z. (1999). Production of biosurfactant by hydrocarbon degrading *Rhodococcus ruber* and *Rhodococcus erythropolis*. *Revista de Microbiologia*, *30*, 231–236.
18. Zheng, C., et al. (2012). Investigation of a hydrocarbon-degrading strain, *Rhodococcus ruber* Z25, for the potential of microbial enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, *81*, 49–56. https://doi.org/10.1016/j.petrol.2011.12.019. EDN: https://elibrary.ru/PLPGRP
19. Feng, J.-Y., et al. (2022). *Ignatzschineria rhizosphaerae* sp. nov. isolated from rhizosphere soil of the halophyte *Kalidium cuspidatum*. *Current Microbiology*, *79*(10), 315.

20. Ma, Y.-L., et al. (2015). Elucidation of fluoranthene degradative characteristics in a newly isolated *Achromobacter xylosoxidans* DN002. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *175*, 1294–1305. https://doi.org/10.1007/s12010-014-1347-7. EDN: https://elibrary.ru/VKQHPS

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Thi Kim Thanh Nguyen: study conception and design, drafting of the manuscript, and writing of the manuscript.

Thi Tuyen Do: study conception, data collection, and analysis, writing of the manuscript.

Thi Thanh Thuy Tran: sample collection and processing.

Thi Mo Luong: edit the draft of the manuscript.

Quang Tuyen Mai: sample collection and processing.

The Can Nguyen: sample collection and processing.

Khac Trinh Nguyen: sample collection and processing, editing of the draft of the manuscript.

Dinh Dai Phan: sample collection and processing.

Cao Cuong Ngo: Statistical data analysis, editing of the draft of the manuscript.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Thi Kim Thanh Nguyen, Researcher, Master, Research Assistant, Department of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
kimthanhnt2301@gmail.com

Thi Tuyen Do, Researcher, Master, Research Assistant, Department of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
tuyendodhkh@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0070-5425

Thi Thanh Thuy Tran, Master, General Planning Assistant, Department of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
tanhiatran@gmail.com

Thi Mo Luong, Researcher, Doctor of Science, Department of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
luongmo@mail.ru

Quang Tuyen Mai, Researcher, Master, Research Assistant, Department of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
maitruclan@gmail.com

The Can Nguyen, Automotive Engineer, Head of the Logistics and Technology Division, Department of Motor Vehicles and Transportation
General Directorate of Logistics and Technology

Khac Trinh Nguyen, Master, Head of the Department of Military Science
General Directorate of Logistics and Technology

Dinh Dai Phan, Tactical Campaign Logistics Officer, Deputy Brigade Commander
General Directorate of Logistics and Technology

Cao Cuong Ngo, Researcher, Doctor of Biological Sciences, Head of Microbiology Laboratory, Institute of Biotechnology
Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center
63, Nguyen Van Huyen Str., Nghia Do, Cau Giay, Hanoi, Viet Nam
ngocaocuong2011@gmail.com

Поступила 29.04.2025 Received 29.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 30.05.2025 Accepted 30.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1350 **EDN: MCGAOQ**
УДК 631.41

CC BY NC ND

Научная статья

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

Н.В. Данилова, В.Р. Бабичук, Л.Р. Бикташева, Р.В. Окунев, П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская

Аннотация

Обоснование. Качество почвы является ключевым фактором, определяющим ее способность поддерживать рост и развитие растений, сохранять экологическое равновесие и обеспечивать устойчивость агроэкосистем. Оно определяется совокупностью физико-химических и биологических свойств почвы, которые тесно взаимосвязаны и влияют на ее плодородие, структуру и экологические функции. Однако, характер землепользования может оказывать значительное влияние на данные свойства почвы, а, следовательно, на ее качество. Поэтому результаты этого исследования будут способствовать оптимальному и рациональному управлению почвенными экосистемами.

Цель. Исследованы участки серой лесной почвы (Haplic Luvisol) с разными типами землепользования на территории Лаишевского района Республики Татарстан. Оценено влияние разного типа землепользования (пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы, залежь) на физико-химические (влажность, гранулометрический состав, содержание органического вещества, содержание нитратов) и микробиологические (респираторная активность, микробная биомасса, метаболическая активность) параметры серой лесной почвы.

Материалы и методы. Почвенные разрезы в количестве 4 штук были заложены на территории Лаишевского района Республики Татарстан на участках со следующими типами землепользования – пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы и залежь. В почве определяли физико-химические

свойства – влажность согласно ГОСТ 5180-2015, гранулометрический состав с применением лазерного дифрактометра Microtrac Bluewave (Microtrac Retsch GmbH, Германия), содержание органического вещества согласно ГОСТ 27753.10-88, содержание нитратов согласно ГОСТ 26951-86. В качестве микробиологических характеристик почвы определяли респираторную активность согласно ISO 16072:2002 и микробную биомассу согласно ISO 14240-1:1997. Общую метаболическую активность микробного сообщества почвы определяли с помощью показателя AWCD (средняя окрашенность ячеек) и коммерческих плашек Biolog Ecoplates (Biolog Inc., США).

Результаты. Установлено, что для профиля почвы пашни характерно более однородное распределение содержания органического вещества, более высокое содержание нитратов (13%) и микробной биомассы (145,5 мг/кг). В почве под пашней выявлена гомогенизация верхнего слоя и связанное с этим более однородное распределение фракций песка и ила. В почвах естественных типов землепользования наблюдалась дифференциация гранулометрического состава по профилю, более высокая респираторная (до 0,76 мкг C-CO_2/г*ч) и метаболическая активность, а также аккумулирование органического вещества.

Заключение. Проведённые исследования подтвердили значительное влияние типа землепользования на физико-химические и биологические свойства серой лесной почвы. Интенсивная сельскохозяйственная деятельность, в частности использование почвы под пашню, приводит к изменениям в ее профиле. Снижение антропогенного воздействия на почву способствует сохранению и улучшению почвенных свойств. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости рационального управления почвенными ресурсами, направленного на минимизацию деградационных процессов и поддержание экологических функций почв. Оптимизация землепользования с учётом выявленных закономерностей позволит обеспечить устойчивое плодородие почв и сохранение их биоразнообразия.

Ключевые слова: изменение землепользования; почвенные функции; органическое вещество почвы; респираторная активность; микробная биомасса; серые лесные почвы; Haplic Luvisols

Для цитирования. Данилова, Н. В., Бабичук, В. Р., Бикташева, Л. Р., Окунев, Р. В., Курынцева, П. А., & Селивановская, С. Ю. (2025). Физико-химические и микробиологические характеристики почвы Республики Татарстан при разных типах землепользования. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 168-196. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1350

Original article

PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN UNDER DIFFERENT TYPES OF LAND USE

N.V. Danilova, V.R. Babichuk, L.R. Biktasheva, R.V. Okunev, P.A. Kuryntseva, S.Yu. Selivanovskaya

Abstract

Background. Soil quality is a key factor determining its ability to support plant growth and development, maintain ecological balance and ensure the sustainability of agroecosystems. It is determined by a set of physicochemical and biological soil properties that are closely interrelated and affect its fertility, structure and ecological functions. However, the nature of land use can have a significant impact on these soil properties and, consequently, on its quality. Therefore, the results of this study will contribute to the optimal and rational management of soil ecosystems.

Purpose. The gray forest soil (Haplic Luvisol) plots with different types of land use in the Laishevsky district of the Republic of Tatarstan were studied. The influence of different types of land use (arable land, hay meadow, mowing without phytomass removal, fallow land) on the physicochemical (humidity, granulometric composition, organic matter content, nitrate content) and microbiological (respiratory activity, microbial biomass, metabolic activity) parameters of the gray forest soil was assessed.

Materials and methods. Four soil pits were laid in the Laishevsky District of the Republic of Tatarstan on sites with the following types of land use: arable land, hay meadow, mown without phytomass removal, and fallow land. The soil was analyzed for its physicochemical properties: moisture according to GOST 5180-2015, particle size distribution using a Microtrac Bluewave laser diffractometer (Microtrac Retsch GmbH, Germany), organic matter content according to GOST 27753.10-88, and nitrate content according to GOST 26951-86. The soil microbiological characteristics were analyzed: respiration activity according to ISO 16072:2002 and microbial biomass according to ISO 14240-1:1997. The total metabolic activity of the soil microbial community was determined using the AWCD (average cell color density) index and commercial Biolog Ecoplates (Biolog Inc., USA).

Results. It was found that the arable soil profile is characterized by a more uniform distribution of organic matter content, a higher content of nitrates (13%)

and microbial biomass (145.5 mg/kg). Homogenization of the upper layer and the associated more uniform distribution of sand and silt fractions were revealed in the soil under arable land. Differentiation of particle size distribution along the profile, higher respiration (up to 0.76 μg $C\text{-}CO_2$/g*h) and metabolic activity, as well as accumulation of organic matter were observed in the soils of natural land use types.

Conclusion. The conducted studies confirmed the significant influence of the type of land use on the physicochemical and biological properties of gray forest soil. Intensive agricultural activity, in particular the use of soil for arable land, leads to changes in its profile. Reducing the anthropogenic impact on the soil helps to preserve and improve soil properties. The results obtained indicate the need for rational management of soil resources aimed at minimizing degradation processes and maintaining the ecological functions of soils. Optimization of land use taking into account the identified patterns will ensure sustainable soil fertility and the preservation of their biodiversity.

Keywords: land use change; soil functions; soil organic matter; respiratory activity; microbial biomass; grey forest soils; Haplic Luvisols

For citation. Danilova, N. V., Babichuk, V. R., Biktasheva, L. R., Okunev, R. V., Kuryntseva, P. A., & Selivanovskaya, S. Yu. (2025). Physico-chemical and microbiological characteristics of soil in the Republic of Tatarstan under different types of land use. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 168-196. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1350

Введение

Почва является ключевым компонентом экосистем, обеспечивающим множество экологических функций, включая поддержание биоразнообразия, регулирование круговорота элементов и продуктивность агроэкосистем [37]. Агрохимические и биологические свойства почвы играют важную роль в её функционировании и устойчивости к антропогенным воздействиям. Кроме того, пригодность почвы для возделывания сельскохозяйственных культур также обусловлена этими почвенными параметрами [39]. Так, например, установлено, что для оптимального роста растений одними из наиболее важных являются характеристики структуры, плотности сложения и гранулометрического состава. Физические свойства почвы могут являться лимитирующим фактором для выращиваемых культур, так как определяют уровень аэрации, обеспеченность влагой и развитие корневой системы растений [17; 18; 25; 31].

Однако изменение типа землепользования может оказывать значительное влияние на эти свойства, определяя направленность почвенных

процессов и формируя специфические условия для развития почвенной биоты. Владение данными о состоянии свойств почвы при различных типах землепользования может способствовать пониманию процессов, связанных с функциями почвы, а также оптимальному и рациональному управлению почвенными экосистемами, что приведет в конечном итоге к повышению их качества [30].

Изменение типа землепользования может оказывать разное влияние на физические и химические характеристики почвы. Данные эффекты могут быть связаны с интенсивным механическим воздействием агротехники на почву. Например, при вовлечении почвы в сельскохозяйственное использование может наблюдаться изменение ее плотности, влагоемкости, кислотности, водопрочности структурных агрегатов [15].

Существенный вклад в изменение свойств почвы вносит избыточное и нерациональное применение удобрений, в особенности минеральных, выражающийся в ухудшении структуры и агрегатного сложения почвы, образовании поверхностной корки, нарушении аэрации, увеличения плотности, снижении гидравлической проводимости, закислении почвы [17]. При использовании минеральных удобрений в избыточном количестве в почве могут аккумулироваться соединения, входящие в их состав [23; 32]. Использование минеральных удобрений приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами и другими токсичными элементами (цинк, кадмий, свинец), которые могут вызывать изменения биологических свойств почвы, таких как активность и структура микробного сообщества [2]. При смене типа землепользования (например, при переводе пашни в залежь) может происходить изменение растительного покрова, что также может оказать воздействие на почвенные характеристики, так как будет происходить изменение количества и качества растительных остатков, поступающих в почву [19; 35].

Биологические характеристики почвы реагируют на изменения в землепользовании гораздо быстрее, чем физические и химические, так как микробные сообщества почвы особенно чувствительны к антропогенной деятельности [39]. Активность микробного сообщества, количество органического вещества и качество почвы взаимосвязаны между собой [20]. По этой причине биологические характеристики почвы в настоящее время находятся в центре внимания как индикаторы функций почвы [30].

Цель исследования. Целью работы являлась оценка влияния разных типов землепользования (пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы, залежь) на физико-химические и микробиологические параметры серой лесной почвы.

Материалы и методы

Исследование проводилось на территории Лаишевского района Республики Татарстан в окрестностях села Тарлаши (55.564709, 49.137720). Климат региона умеренно-континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет 5,1 ºС, среднегодовое количество осадков – 565,2 мм. Рельеф региона исследования представляет собой слабохолмистую равнину. Почвенные разрезы в количестве 4 штук были заложены на участках со следующими типами землепользования – пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы и залежь. Такие типы землепользования реализуются не менее 5 лет. Ранее на всех 4-х участках находились пашни. Для того, чтобы минимизировать влияние климатических факторов, данные участки имели одинаковый тип почвы (серая лесная), рельеф местности и близкое расположение друг к другу. Характеристика участков представлена в таблице 1. Согласно международной классификации почв WRB (World Reference Base for soil resources), исследуемые почвы были отнесены к Haplic Luvisol (Calcaric, Siltic).

Таблица 1.

Характеристика участков серой лесной почвы с разным типом землепользования на территории Лаишевского района Республики Татарстан

№ разреза	Тип землепользования	Растительность	Тип почвы согласно классификации почв СССР 1977 года [10]
1	Пашня (более 5 лет)	Отсутствует	Почва серая лесная остаточно-карбонатная глубоковскипающая мощная на элюво-делювии карбонатов
2	Сенокосный луг (более 5 лет)	Пырей ползучий (*Elytrigia repens*) - 70%, клевер белый (*Trifolium repens*) - 20%, подорожник средний (*Plantago media*) - 10%	Почва серая лесная остаточно-карбонатная глубоковскипающая мощная на элюво-делювии карбонатов
3	Укос без изъятия фитомассы (более 5 лет)	Пырей ползучий (*Elytrigia repens*) - 70%, клевер белый (*Trifolium repens*) -18%, тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*) - 10%, одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) - 2%	Почва серая лесная остаточно-карбонатная мощная на элюво-делювии карбонатов
4	Залежь (более 5 лет)	Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) - 60%, бодяк полевой (*Cirsium arvense*) - 40%	Почва серая лесная остаточно-карбонатная глубоковскипающая мощная на элюво-делювии карбонатов

Пробы почвы отбирали из трех стенок почвенных разрезов в слоях, соответствующих почвенным горизонтам [5]. Описание морфологии профилей исследуемых почвенных разрезов представлено в дополнительных материалах к статье (таблица S1). В почве определяли следующие физико-химические свойства – влажность согласно ГОСТ 5180-2015 [8], гранулометрический состав с применением лазерного дифрактометра Microtrac Bluewave (Microtrac Retsch GmbH, Германия) [9], содержание органического вещества согласно ГОСТ 27753.10-88 [7], содержание нитратов согласно ГОСТ 26951-86 [6]. В качестве микробиологических характеристик почвы определяли респираторную активность, микробную биомассу и метаболическую активность почвенного микробного сообщества.

Респираторную активность (базальное дыхание) оценивали с использованием газового хроматографа Nexis GC-2030 и программного обеспечения Lab Solution (Shimadzu, Япония) согласно ISO 16072:2002 [29]. Навеску почвы полевой влажности массой 1 г помещали в хроматографическую виалу и инкубировали в течение 24 часов при температуре 20ºС. Измерение проводили на капиллярной колонке Rt-Q-BOND 30 m с диаметром 0.53 мм и толщиной слоя нанесённой фазы 20 мкм. Скорость потока составляла 10 мл/мин, объём впрыска – 10 мкл, общее время измерения составляло 5 минут на образец.

Микробную биомассу оценивали методом субстрат-индуцированного дыхания согласно ISO 14240-1:1997 [28]. В качестве легкодоступного питательного субстрата в хроматографическую виалу с навеской почвы полевой влажности массой 1 г предварительно добавляли 10 мг D–глюкозы. Время инкубирования виал составляло 24 часа при температуре 20ºС.

Общую метаболическую активность микробных сообществ почвы определяли с помощью показателя AWCD (средняя окрашенность ячеек) и коммерческих плашек Biolog Ecoplates (Biolog Inc., США). В каждую лунку 96-луночной планшеты, содержащей субстрат и индикатор окислительно-восстановительного процесса, раскапывали по 180 мкл исследуемых образцов (1:10). Планшеты инкубировали при 25 °С в течение 120 часов. Результаты оценивали фотометрически на Multiskan FC (Thermo Fisher Scientific, США) при длине волны 595 нм. Биоразнообразие микробного сообщества оценивали с помощью индекса Шеннона [21].

Все измерения проводились не менее чем в трёхкратной повторности. Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью Microsoft Office Excel 2010 (США). Все графические данные содержат средние значения. Для оценки значимости различий использовали

критерий Фишера при α = 0,05. Корреляционный анализ проводили с использованием коэффициента корреляции Спирмена при p<0,05.

Результаты исследования и обсуждение

Физико-химические показатели почвы исследуемых участков

Гранулометрический состав образцов почвы, отобранных с участков с разным типом землепользования представлен в таблице 2. В целом, профили почвы исследуемых участков обладали сходным гранулометрическим составом с преобладанием песчаной и илистой фракций. Горизонты профиля почвы с пашни закономерно характеризовались более однородным характером распределения частиц. В профиле почвы других типов землепользования наблюдалась дифференциация в гранулометрическом составе. Обнаружено облегчение гранулометрического состава почвы под залежью по сравнению с почвой под пашней (таблица 2). В литературе также описывается изменение соотношения фракций разного размера в почве при смене типа землепользования. Так, например, при выводе почвы из сельскохозяйственного оборота в залежь на поверхности и в верхних слоях происходит естественное развитие растительного покрова и корневых систем, что может способствовать уменьшению плотности и дополнительно влиять на гранулометрический состав за счет изменения водоудерживающей способности [1; 3]. Кроме того, разуплотнение почвы под залежью может происходить вследствие увеличения количества дождевых червей [15]. Важно отметить, что при повторном вовлечении залежи в сельскохозяйственную обработку наблюдается ухудшение агрегатного состояния, так как агрегатный состав является динамической характеристикой, подвергающейся значительному влиянию особенностей землепользования [12].

Таблица 2.

Гранулометрический состав образцов серой лесной почвы с разным типом землепользования на территории Лаишевского района Республики Татарстан

Горизонт	Глубина, см	Песчаная фракция, 2-0,05 мм, %об.	Илистая фракция, 0,05-0,002 мм, %об.	Глинистая фракция, <0,001 мм, %об.
Разрез 1 - пашня				
$A_{пах}$	0-15	51,72	47,59	0,69
A_1	15-50	51,45	47,55	1
A_1A_2	50-60	50,16	46,48	3,36
A_2B	60-86	50,73	48,11	1,16
$B_к$	86-160	47,21	52,54	0,25

Разрез 2 – сенокосный луг				
$А_д$	0-2	51,56	48,09	0,35
$А_{ст.пах}$	2-24	51,86	47,91	0,23
$А_1$	24-51	45,18	54,45	0,37
$А_1А_2$	51-70	49,96	48,4	1,64
$А_2В$	70-104	31,62	66,81	1,57
$В_к$	104-164	53,1	46,52	0,38
$ВС_к$	164 и ниже	38,52	60,77	0,71
Разрез 3 – укос без изъятия фитомассы				
$А_д$	0-6	61,9	38,1	0
$А_{ст.пах}$	6-20	44,07	55,26	0,67
$А_1А_2$	20-35	36,96	62,07	0,97
$А_2В$	35-100	38,2	60,8	1
$В_к$	100 и ниже	50,82	48,39	0,79
Разрез 4 - залежь				
$А_д$	0-7	57,76	42,24	0
$А_{ст.пах}$	7-30	44,62	54,96	0,42
$А_1$	30-55	44,9	53,77	1,33
$А_1А_2$	55-80	45,36	53,63	1,01
$А_2В$	80-100	43,83	54,74	1,43
$В_к$	100-140	41,67	58,21	0,12

Характеристики влажности основных генетических горизонтов участков почвы, находящихся под разными типами землепользования представлены на рисунке 1. Видно, что наименьшее содержание влаги (4-5%) было характерно для верхних почвенных горизонтов независимо от характера использования почвы. В виду особенностей землепользования в профиле пашни в верхних 50 см влажность сохранялась на одном уровне (4,7-5,2%). Наибольшей влажностью (14,1%) характеризовался горизонт В (86-100 см). Далее вниз по профилю наблюдалось увеличение влажности, связанное скорее всего с тем, что пробы почвы отбирали осенью (сентябрь) после уборки урожая, и корни растений не забирали влагу с нижних горизонтов. Для почвы под сенокосным лугом максимальная влажность (17,5 %) была установлена для горизонта $А_1$ (24-51 см). Для профиля почвы, на которой производился укос без изъятия фитомассы, влажность принимала максимальные значения (10,4-11,2 %), начиная с глубины 35 см (горизонты $А_2В$ и В). В профиле почвы залежи наибольшее содержание влаги наблюдалось на глубине 100-140 см (горизонт $В_к$). Полученные данные в целом

повторяют характер распределения влаги в исследуемом типе почвы (серая лесная), который закономерно отличается в зависимости от характера землепользования, особенностей растительного покрова и, как следствие, наличия/отсутствия корней в профиле на момент отбора образцов [12].

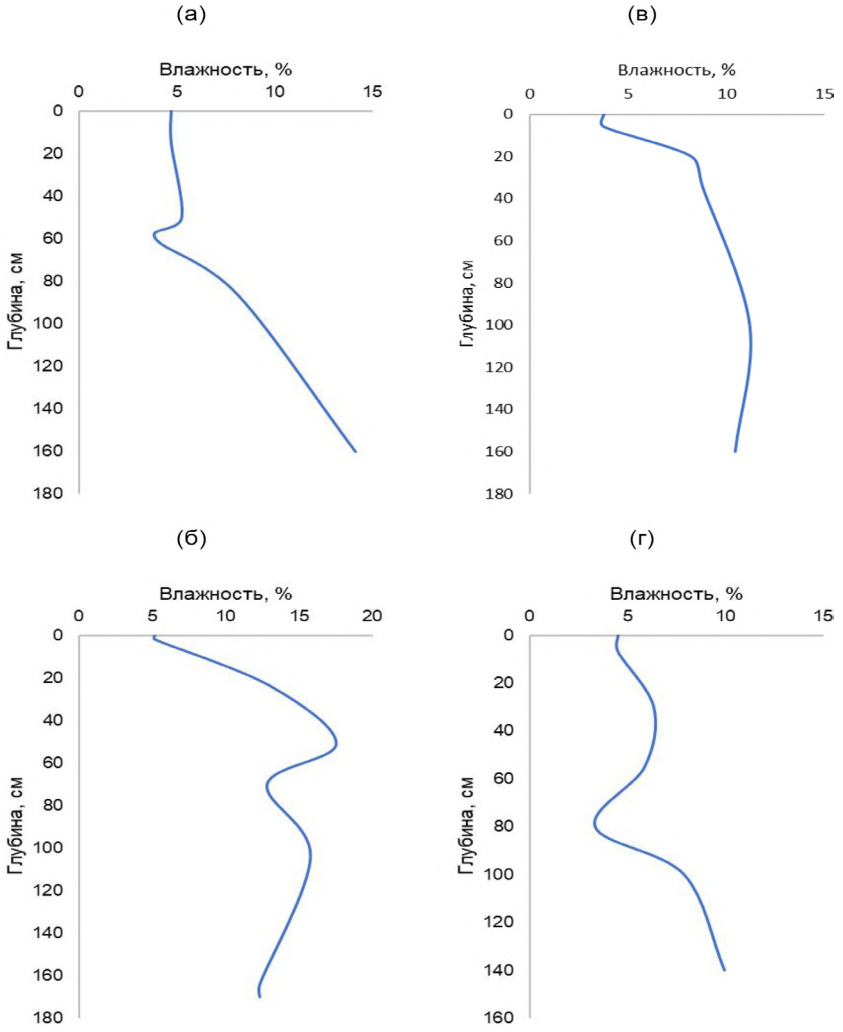


Рис. 1. Влажность почвы участков разного типа землепользования (а - пашня, б - сенокосный луг, в - укос без изъятия фитомассы, г - залежь)

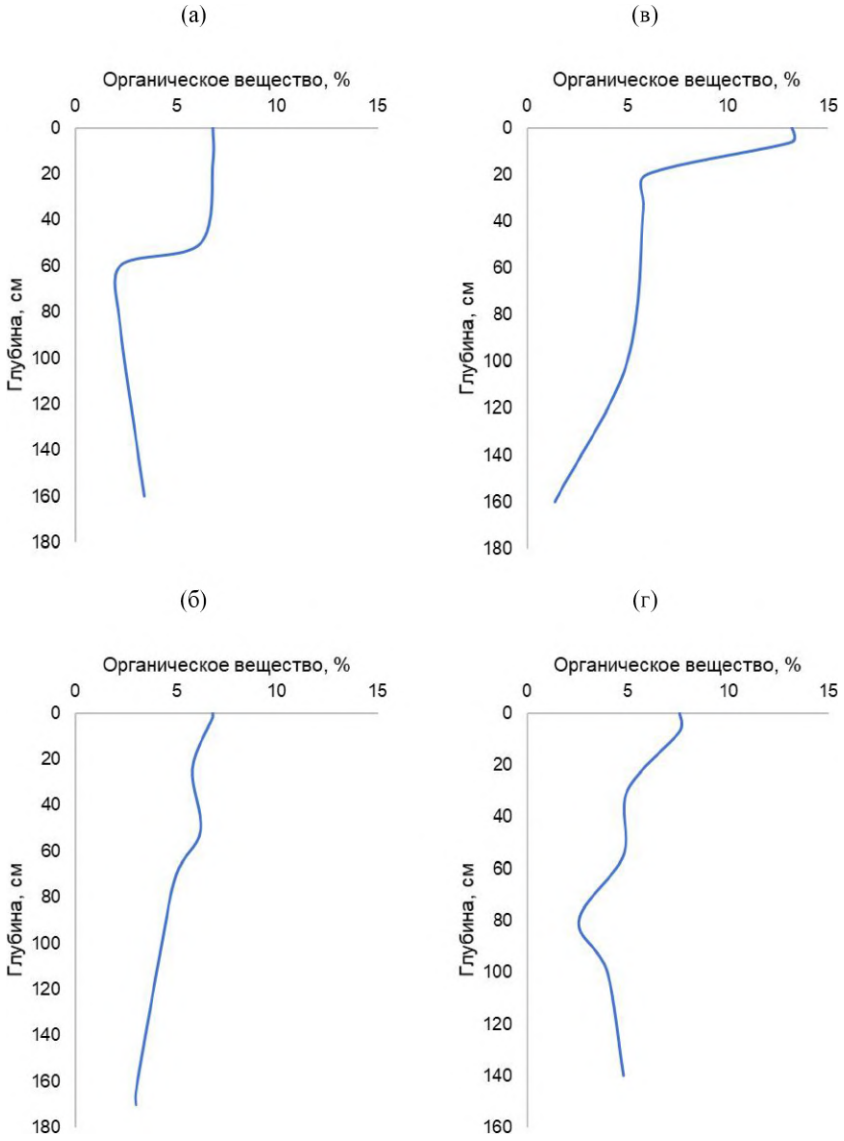


Рис. 2. Содержание органического вещества в почве участков разного типа землепользования (а - пашня, б - сенокосный луг, в - укос без изъятия фитомассы, г - залежь)

Результаты оценки содержания органического вещества представлены на рисунке 2. Наибольшее его количество (13%) было выявлено в верхних горизонтах профиля почвы, на которой производился укос без изъятия фитомассы. В верхнем слое почвы остальных типов землепользования органическое вещество находилось в диапазоне 4,7-6,2%. В профиле почвы под пашней содержание органического вещества в верхних 50 см сохранялось на одном уровне, а далее (с 60 см) наблюдалось резкое снижение до 2,1%, тогда как в почвах других типов землепользования значения данного параметра снижались постепенно. Данный эффект, вероятно, вызван периодическим внесением органических удобрений и гомогенизацией верхнего слоя почвы под пашней в результате агротехнической обработки. Интересно отметить, что в нижней части профиля почвы под залежью наблюдалась аккумуляция органического вещества до 4,8%. Органическое вещество является одним из наиболее чувствительных параметров почвы, который реагирует на смену типа использования почвы [12]. Как правило, в почвах сельскохозяйственного назначения наблюдается самое низкое содержание органического вещества, так как в результате распахивания и резкого уменьшения поступления остатков растений происходит усиление минерализации гумуса [12]. В постагрогенных почвах наблюдается тенденция постепенного увеличения содержания органического вещества с течением времени, что обусловлено поступлением большого количества отмерших растительных остатков, формированием дернины и увеличением подземной биомассы [3; 13; 33].

Распределение содержания нитратов по профилю почвы представлено на рисунке 3. Наибольшее их количество (13,6 мг/кг) обнаружено в пахотном горизонте профиля почвы под пашней, что было ожидаемо, так как на этот участок систематически вносили как минеральные азотные, так и органические (навоз крупно-рогатого скота) удобрения на протяжении не менее 5 лет. Тем не менее, согласно СанПиН 1.2.3685-21 [14] установленное содержание нитратов в почве пашни не превышало ПДК, равное 130 мг/кг. В верхних горизонтах почвы других типов землепользования содержание нитратов находилось в диапазоне 1,4-4,0 мг/кг. Результаты определения нитратов в более глубоких слоях профилей показали, что в почве под пашней наблюдалось снижение их количества до 1,5 мг/кг в середине профиля и последующая аккумуляция до 4,9 мг/кг к более глубоким горизонтам. В нижней части профиля почвы других типов землепользования содержание нитратов было схожим (0,9-1,8 мг/кг) и не изменялось с глубиной.

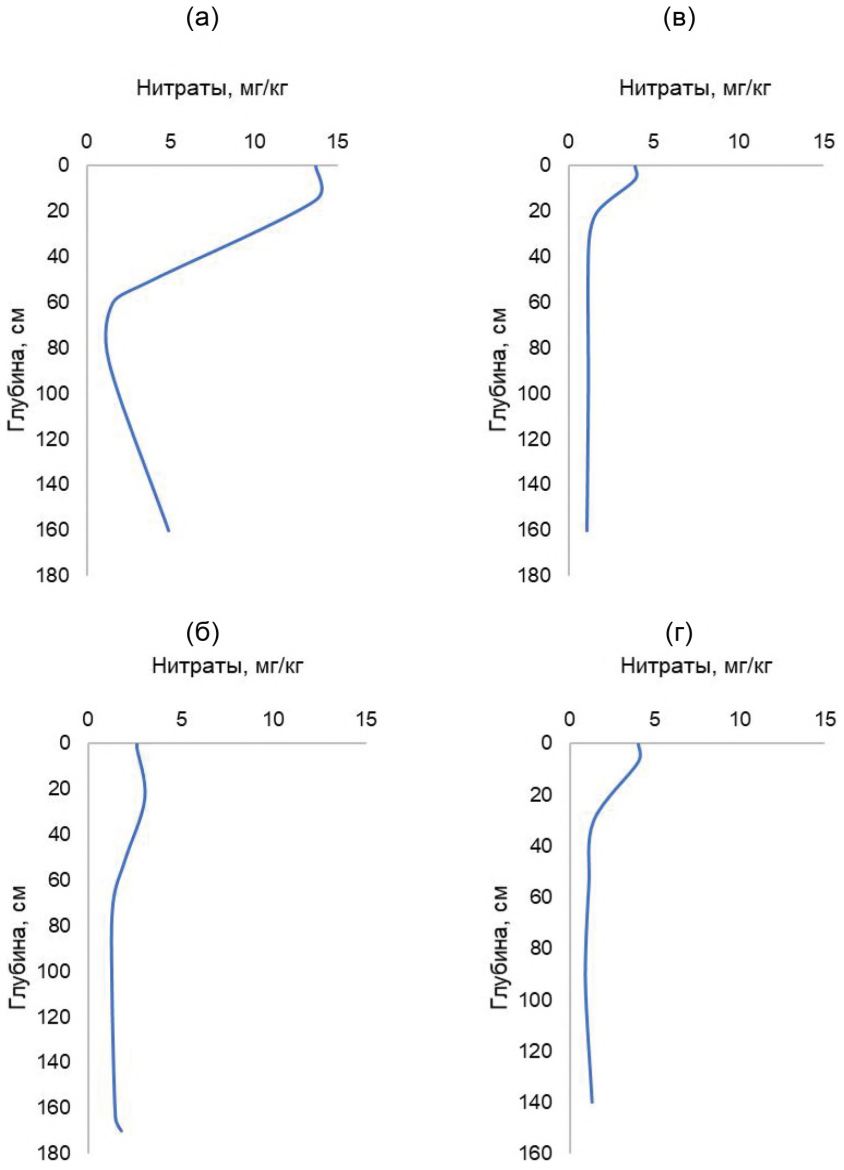


Рис. 3. Содержание нитратов в почве участков разного типа землепользования (a - пашня, b - сенокосный луг, c - укос без изъятия фитомассы, d - залежь)

Биологические показатели почвы

Результаты определения респираторной активности почвенного микробного сообщества представлены на рисунке 4. Для профилей почвы всех исследуемых типов землепользования было характерно снижение респираторной активности с глубиной. Наибольшая респираторная активность (0,76 мкг С-CO_2/г*ч) обнаружена в верхней части профиля почвы сенокосного луга. Наибольшие значения респираторной активности (0,68 мкг С-CO_2/г*ч) были также выявлены в горизонте $А_{ст\ пах}$ почвы, на которой осуществлялся укос без изъятия фитомассы. Интересно отметить, что в верхнем слое 0-50 см почвы под пашней уровень респираторной активности значительно не изменялся и составлял 0,28-0,31 мкг С-CO_2/г*ч, что, вероятно, связано с равномерным распределением углерод- и азотсодержащих соединений в результате сельскохозяйственной обработки. В нижних горизонтах четырех исследуемых участков респираторная активность варьировала от 0,06 до 0,22 мкг С-CO_2/г*ч. Коэффициенты корреляции респираторной активности и содержания органического вещества на участках с типами землепользования пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы и залежь составили 0,96, 0,86, -0,30 и 0,89, соответственно. Коэффициенты корреляции респираторной активности и содержания нитратов составили 0,69, 0,79, -0,33 и 0,73. В целом, полученные данные соответствуют значениям респираторной активности, представленным в литературе для серых лесных почв [4; 11; 16]. Более высокая респираторная активность в верхних слоях почвы как правило коррелирует с содержанием углерода и азота, а также с более оптимальными физическими условиями (плотность, содержание воды, текстура, пористость) для почвенных микроорганизмов [34]. Изменение респираторной активности в профиле почвы исследуемых типов землепользования обусловлены разным содержанием органических соединений, количеством поступающих в почву свежих растительных остатков, а также наличием или отсутствием механической обработки почвы [26; 34].

Оценка содержания микробной биомассы в почве разных типов землепользования представлена на рисунке 5. Установлено более высокое содержание биомассы микроорганизмов в верхних слоях почвы независимо от характера использования. В профиле почвы под пашней основное количество микроорганизмов было сосредоточено в верхнем слое до 60 см, значения биомассы варьировали от 42,2 до 145,5 мг/кг. Начиная с 60 см наблюдался резкий переход, и микробная биомасса далее значительно не изменялась, оставаясь в диапазоне 42,07-45,28 мг/кг.

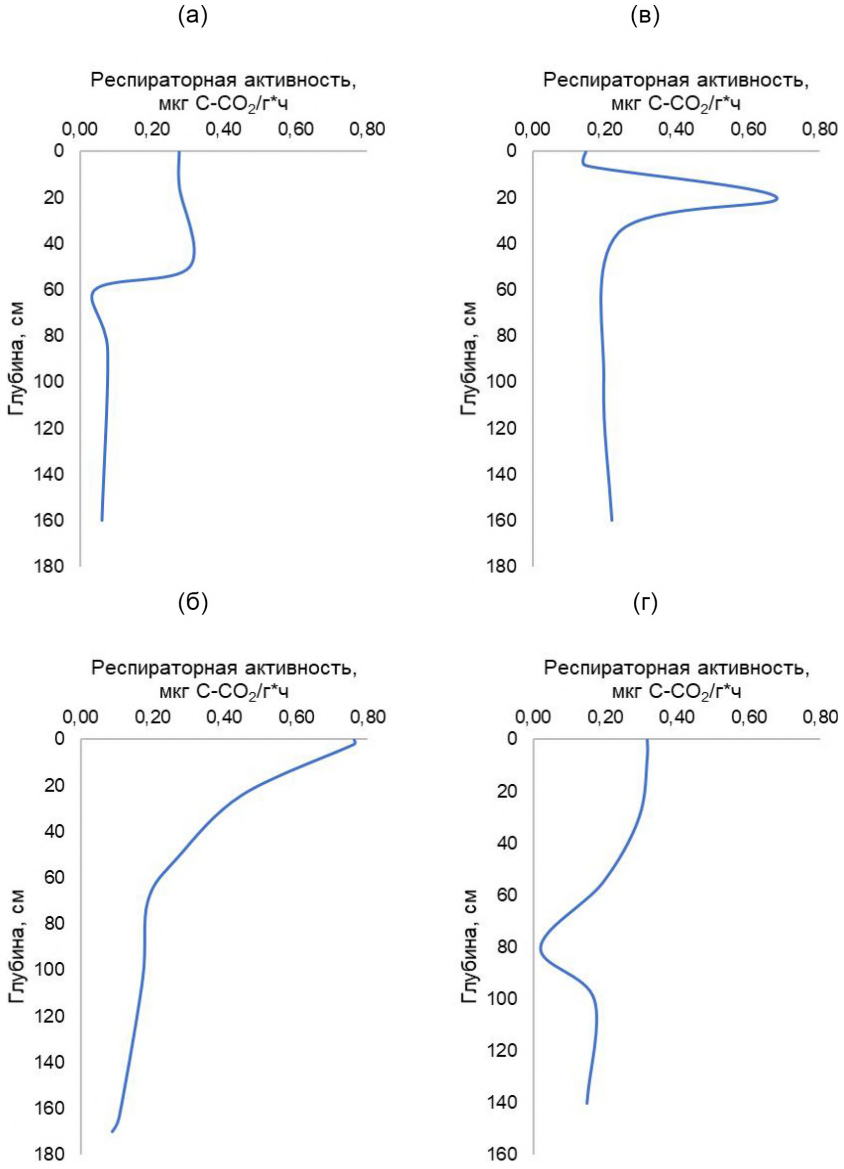


Рис. 4. Респираторная активность почвы участков разного типа землепользования (а - пашня, б - сенокосный луг, в - укос без изъятия фитомассы, г - залежь)

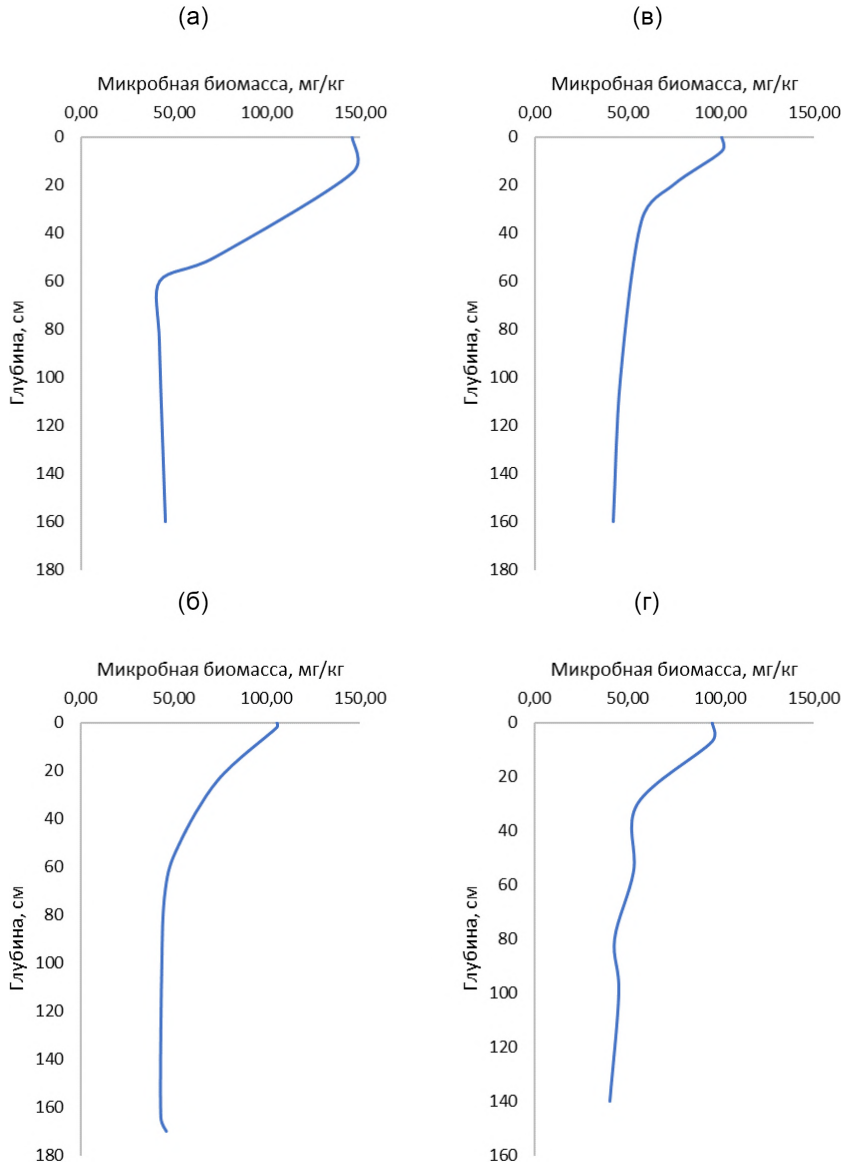


Рис. 5. Микробная биомасса почвы участков разного типа землепользования (а - пашня, б - сенокосный луг, в - укос без изъятия фитомассы, г - залежь)

В верхних горизонтах почвы с типами землепользования сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы и залежь значения микробной биомассы были ниже по сравнению с почвой пашни – от 52,87 до 105,79 мг/кг, при этом ее снижение вглубь профиля происходило более постепенно. Коэффициенты корреляции микробной биомассы и содержания органического вещества на участках с типами землепользования пашня, сенокосный луг, укос без изъятия фитомассы и залежь составили 0,88, 0,79, 0,95 и 0,92, соответственно. Коэффициенты корреляции микробной биомассы и респираторной активности составили 0,79, 0,99, -0,08 и 0,78. Аналогичное профильное распределение биомассы микроорганизмов в почве представлено в ряде других исследований [24; 36; 40]. Почвенные микроорганизмы чувствительны к изменению условий окружающей среды, поэтому их количество в почве зависит от ряда факторов – климатических условий (температура, влажность), физических (плотность, структура и аэрация почвы) и химических (pH, содержание минеральных питательных веществ и органических соединений) свойств почвы [26; 34].

В таблице 3 представлены результаты оценки метаболической активности микробного сообщества почвы с помощью индекса AWCD и индекса Шеннона. Наибольшие значения метаболической активности и функционального разнообразия установлены для верхних горизонтов почвы независимо от характера землепользования. При этом максимальное значение индекса AWCD (1,413) выявлено для профиля почвы, на которой осуществлялся укос без изъятия фитомассы. В верхних 50 см отмечено резкое снижение значений индекса AWCD для почв со следующими типами использования – пашня, укос без изъятия фитомассы и залежь. В этом же слое (0-50 см) в почве под сенокосным лугом значения индекса AWCD оставались практически неизменными и варьировали от 0,944 до 1,275. Минимальные значения индекса AWCD (0,082-0,230) закономерно выявлены в нижних почвенных горизонтах независимо от типа землепользования.

По аналогии с функциональным разнообразием максимальное видовое разнообразие было также установлено для верхних слоев почвы всех четырех типов землепользования. Значения индекса Шеннона варьировали от 2,317 до 3,285. Было отмечено снижение видового разнообразия в середине профиля почвы со следующими типа землепользования – пашня, укос без изъятия фитомассы, залежь. В почве под сенокосным лугом в верхних 100 см видовое разнообразие сохранялось на высоком уровне (индекс Шеннона = 2,680-3,115) с последующим снижением в более глубоких горизонтах (индекс Шеннона = 2,004-2,236).

Таблица 3.

Результаты оценки метаболической активности (индекс AWCD) и видового разнообразия (индекс Шеннона) в почве участков разного типа землепользования

Горизонт	Глубина, см	Индекс AWCD	Индекс Шеннона
Разрез 1 - пашня			
$A_{пах}$	0-15	1,299	3,193
A_1	15-50	0,663	3,041
A_1A_2	50-60	0,362	2,141
A_2B	60-86	0,401	2,620
$B_к$	86-160	0,082	1,858
Разрез 2 – сенокосный луг			
$A_д$	0-2	1,055	3,115
$A_{ст.пах}$	2-24	1,275	3,118
A_1	24-51	0,944	2,970
A_1A_2	51-70	0,316	2,680
A_2B	70-104	0,609	2,796
$B_к$	104-164	0,093	2,236
$BC_к$	164 и ниже	0,201	2,004
Разрез 3 – укос без изъятия фитомассы			
$A_д$	0-6	1,413	3,285
$A_{ст.пах}$	6-20	0,852	3,140
A_1A_2	20-35	0,162	2,398
A_2B	35-100	0,261	2,550
$B_к$	100 и ниже	0,084	2,091
Разрез 4 - залежь			
$A_д$	0-7	0,997	3,085
$A_{ст.пах}$	7-30	0,273	2,317
A_1	30-55	0,072	1,209
A_1A_2	55-80	0,068	1,575
A_2B	80-100	0,120	2,158
$B_к$	100-140	0,230	2,404

В литературе также представлены данные о снижении функциональной активности и видового разнообразия микробного сообщества почвы с глубиной. На данную тенденцию оказывают влияние многочисленные факторы, включая изменение физических и химических свойств почвы, доступность питательных веществ, содержание углерода и воды, обеспеченность кислородом [22; 24; 38]. Кроме того, наличие или отсутствие в

профиле почвы корней растений также может влиять на индексы AWCD и Шеннона, так как выделяемые корнями экссудаты используются микроорганизмами в качестве питательного субстрата [34]. Тип землепользования также может влиять на разнообразие и активность микробного сообщества почвы, так как гомогенизация верхнего слоя почвы и внесение удобрений изменяют свойства среды обитания [22; 27].

Заключение

Установлено, что тип землепользования оказывает влияние на физико-химические и биологические свойства почвы. В результате сельскохозяйственной деятельности в почве под пашней выявлена гомогенизация верхнего слоя и связанное с этим более однородное распределение фракций песка и ила, а также изменение профильного содержания влаги, органического вещества и нитратов. Кроме того, в почве под пашней обнаружено изменение респираторной активности и увеличение микробной биомассы в верхней части профиля. В то же время, установлено, что естественные типы землепользования, такие как укос без изъятия фитомассы, сенокосный луг и залежь, способствуют восстановлению почвенных свойств, увеличению содержания органического вещества и разнообразия микробного сообщества. Показано, что укос без изъятия фитомассы приводит к активизации микробного сообщества (увеличению его разнообразия и степени потребления углеродсодержащих субстратов) за счет постоянного поступления остатков растений, а, значит, и к максимальному накоплению органического вещества. Почва, находящаяся под сенокосным лугом, испытывает меньшее антропогенное воздействие по сравнению с пашнями. Полученные данные подчеркивают важность рационального управления почвенными ресурсами для поддержания их плодородия и экологических функций.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 24-76-00066.

Список литературы

1. Азаренко (Мясникова), М. А., Казеев, К. Ш., & Ермолаева, О. Ю. (2020). Изменение растительного покрова и биологических свойств чернозёмов в постагрогенный период. *Почвоведение*, (11), 1412–1422. https://doi.org/10.31857/S0032180X20110039. EDN: https://elibrary.ru/PPTQHZ

2. Бузетти, К. Д., & Иванов, М. В. (2020). Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. *Аграрная наука*, (5), 80–84. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84. EDN: https://elibrary.ru/DQLGFZ
3. Бурдуковский, М. Л., Голов, В. И., & Перепелкина, П. А. (2021). Агрогенные и постагрогенные изменения запасов углерода и физических свойств подбелов темногумусовых. *Почвоведение*, (6), 747–756. https://doi.org/10.31857/S0032180X21060046. EDN: https://elibrary.ru/WCEYQL
4. Вершинин, А. А., Петров, А. М., & Каримуллин, Л. К. (2017). Дыхательная активность почв в окрестностях Нижнекамского промышленного комплекса. *Экология почв*, (15), 31–34. EDN: https://elibrary.ru/ZHBEYN
5. ГОСТ 17.4.4.02-2017. *Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа* (2017, с. 1–18).
6. ГОСТ 26951-86. *Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом* (1986, с. 1–10).
7. ГОСТ 27753.10-88. *Грунты тепличные. Метод определения органического вещества* (1988, с. 1–4).
8. ГОСТ 5180-2015. *Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик* (2019, с. 1–23).
9. ГОСТ Р 8.777-2011. *Государственная система обеспечения единства измерений. Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения* (2019, с. 1–11).
10. Егоров, В. В., Иванова, Е. Н., & Фридланд, В. М. (1977). *Классификация и диагностика почв СССР*. Москва: Колос, с. 1–225. EDN: https://elibrary.ru/YWWBDV
11. Курганова, И. Н. (2018). Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв европейской части России. *Лесоведение*, (1), 3–23. https://doi.org/10.7868/S0024114818010011. EDN: https://elibrary.ru/GSZZSU
12. Курганова, И. Н., де Гереню, В. О. Л., & Смоленцева, Е. Н. (2021). Влияние типа землепользования на физические свойства чернозёмов лесостепной зоны Западной Сибири. *Почвоведение*, (9), 1061–1075. https://doi.org/10.31857/S0032180X21090045. EDN: https://elibrary.ru/HWOICG
13. Рыжова, И. М., Ерохова, А. А., & Подвезённая, М. А. (2014). Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги. *Почвоведение*, (12), 1426–1435. https://doi.org/10.7868/S0032180X14090111. EDN: https://elibrary.ru/SXIZKZ

14. СанПиН 1.2.3685-21. *Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания* (2021, с. 1–988).
15. Сахаров, А. В., Мищенко, В. В., & Еремин, Д. И. (2020). Агрофизические свойства чернозёма выщелоченного при различном его использовании в лесостепной зоне Зауралья. *Вестник Курганской ГСХА*, (3), 62–67. EDN: https://elibrary.ru/VMBQXC
16. Соколова, Л. Г., Зорина, С. Ю., & Белоусова, Е. Н. (2021). Эмиссия CO_2 из почвы при введении краткосрочной сидерации в паровое поле в условиях лесостепной зоны Прибайкалья. *Почвоведение*, (10), 1262–1273. https://doi.org/10.31857/S0032180X21100117. EDN: https://elibrary.ru/XALIFX
17. Филиппова, О. И., Холодов, В. А., & Сафронова, Н. А. (2019). Микроагрегатный, гранулометрический и агрегатный состав гумусовых горизонтов зонального ряда почв европейской России. *Почвоведение*, (3), 335–347. https://doi.org/10.1134/S0032180X19030031. EDN: https://elibrary.ru/VUFCWH
18. Холодов, В. А., Ярославцева, Н. В., & Фарходов, Ю. Р. (2019). Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования. *Почвоведение*, (2), 184–193. https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060. EDN: https://elibrary.ru/YVZMRV
19. Bakhshandeh, E., Hossieni, M., & Zeraatpisheh, M. (2019). Land use change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran. *European Journal of Soil Biology*, *95*(8), 103119.
20. Basso, F., Bove, E., & Dumontet, S. (2000). Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: An example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, *40*(1), 19–35. EDN: https://elibrary.ru/AFPEPF
21. Beisel, J. N., & Moreteau, J. C. (1997). A simple formula for calculating the lower limit of Shannon's diversity index. *Ecological Modelling*, *99*(2), 289–292. EDN: https://elibrary.ru/AIRYOV
22. Brewer, T. E., Aronson, E. L., & Arogyaswamy, K. (2019). Ecological and genomic attributes of novel bacterial taxa that thrive in subsurface soil horizons. *mBio*, *10*(5), 1–14.
23. Chen, X., Yan, X., & Wang, M. (2022). Long-term excessive phosphorus fertilization alters soil phosphorus fractions in the acidic soil of pomelo orchards. *Soil & Tillage Research*, *215*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105214. EDN: https://elibrary.ru/FOKZGM
24. Eilers, K. G., Debenport, S., & Anderson, S. (2012). Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of

bacterial and archaeal communities in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *50*, 58–65.
25. Franzluebbers, A. J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, *66*(2), 197–205. EDN: https://elibrary.ru/AXVEIN
26. Hao, J., Chai, Y. N., & Lopes, L. D. (2021). The effects of soil depth on the structure of microbial communities in agricultural soils in Iowa (United States). *Applied and Environmental Microbiology*, *87*(4), 1–17.
27. Huang, R., Li, W., & Qiu, S. (2025). Impact of land use types on soil microbial community structure and functional structure in Baihualing Village, China. *Global Ecology and Conservation*, *57*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03379. EDN: https://elibrary.ru/XKIQZP
28. ISO 14240-1:1997. *Soil quality — Determination of soil microbial biomass. Part 1: Substrate-induced respiration method* (1997, vol. 1, pp. 1–5).
29. ISO 16072:2002. *Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration* (2002, vol. 1, pp. 1–11).
30. Kooch, Y., Kartalaei, Z. M., & Haghverdi, K. (2023). Soil function indicators are influenced by land use of different ages: A case study in a semi-arid region. *Science of the Total Environment*, *861*(10), 160570.
31. Lipiec, J., & Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, *116*(1–2), 107–136. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1. EDN: https://elibrary.ru/XNZRGP
32. López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., & López-Bellido, R. J. (2013). Nitrate accumulation in the soil profile: Long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean Vertisol. *Soil & Tillage Research*, *130*, 18–23.
33. Markewitz, D., Sartori, F., & Craft, C. (2002). Soil change and carbon storage in longleaf pine stands planted on marginal agricultural lands. *Ecological Applications*, *12*(5), 1276–1285.
34. Naylor, D., McClure, R., & Jansson, J. (2022). Trends in microbial community composition and function by soil depth. *Microorganisms*, *10*(3), 1–26. https://doi.org/10.3390/microorganisms10030540. EDN: https://elibrary.ru/NABNCY
35. Oliveira, S. P. de, Lacerda, N. B. de, & Blum, S. C. (2015). Organic carbon and nitrogen stocks in soils of Northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. *Land Degradation & Development*, *26*(1), 9–21.
36. Spohn, M., Klaus, K., & Wanek, W. (2016). Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth — Implications for carbon cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, *96*, 74–81.

37. Telo da Gama, J. (2023). The role of soils in sustainability, climate change, and ecosystem services: Challenges and opportunities. *Ecologies*, *4*(3), 552–567. https://doi.org/10.3390/ecologies4030036. EDN: https://elibrary.ru/ROFSPS
38. Tripathi, B. M., Kim, H. M., & Jung, J. Y. (2019). Distinct taxonomic and functional profiles of the microbiome associated with different soil horizons of a moist tussock tundra in Alaska. *Frontiers in Microbiology*, *10*(6), 1–14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01442. EDN: https://elibrary.ru/BAIIGO
39. Yang, T., Lupwayi, N., & Marc, S. A. (2021). Anthropogenic drivers of soil microbial communities and impacts on soil biological functions in agroecosystems. *Global Ecology and Conservation*, *27*, 1–27. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01521. EDN: https://elibrary.ru/TTSTLW
40. Young, J. M., Skvortsov, T., & Kelleher, B. P. (2019). Effect of soil horizon stratigraphy on the microbial ecology of alpine paleosols. *Science of the Total Environment*, *657*(11), 1183–1193. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.442. EDN: https://elibrary.ru/KYLWRS

References

1. Azarenko (Myasnikova), M. A., Kazeev, K. Sh., & Ermolaeva, O. Yu. (2020). Changes in vegetation cover and biological properties of chernozems in the post-agrogenic period. *Soil Science*, *(11)*, 1412–1422. https://doi.org/10.31857/S0032180X20110039. EDN: https://elibrary.ru/PPTQHZ
2. Buzetti, K. D., & Ivanov, M. V. (2020). Impact of mineral and organic fertilizers on the ecosystem, agricultural product quality, and human health. *Agrarian Science*, *(5)*, 80–84. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84. EDN: https://elibrary.ru/DQLGFZ
3. Burdukovskiy, M. L., Golov, V. I., & Perepelkina, P. A. (2021). Agrogenic and post-agrogenic changes in carbon stocks and physical properties of dark humus podbels. *Soil Science*, *(6)*, 747–756. https://doi.org/10.31857/S0032180X21060046. EDN: https://elibrary.ru/WCEYQL
4. Vershinin, A. A., Petrov, A. M., & Karimullin, L. K. (2017). Respiratory activity of soils in the vicinity of the Nizhnekamsk industrial complex. *Soil Ecology*, *(15)*, 31–34. EDN: https://elibrary.ru/ZHBEYN
5. GOST 17.4.4.02–2017. *Soils. Methods for sampling and preparing samples for chemical, bacteriological, and helminthological analysis* (2017, pp. 1–18)
6. GOST 26951–86. *Soils. Determination of nitrates by ionometric method* (1986, pp. 1–10)
7. GOST 27753.10–88. *Greenhouse soils. Method for determining organic matter* (1988, pp. 1–4)

8. GOST 5180–2015. *Soils. Methods for laboratory determination of physical characteristics* (2019, pp. 1–23)
9. GOST R 8.777–2011. *State system for ensuring the uniformity of measurements. Disperse composition of aerosols and suspensions. Determination of particle size by laser diffraction* (2019, pp. 1–11)
10. Egorov, V. V., Ivanova, E. N., & Fridland, V. M. (1977). *Classification and diagnostics of soils of the USSR*. Moscow: Kolos, pp. 1–225. EDN: https://elibrary.ru/YWWBDV
11. Kurganova, I. N. (2018). Influence of natural reforestation processes on the microbiological activity of post-agrogenic soils in the European part of Russia. *Forest Science*, *(1)*, 3–23. https://doi.org/10.7868/S0024114818010011. EDN: https://elibrary.ru/GSZZSU
12. Kurganova, I. N., de Gerenyu, V. O. L., & Smolentseva, E. N. (2021). Influence of land use type on the physical properties of chernozems in the forest-steppe zone of Western Siberia. *Soil Science*, *(9)*, 1061–1075. https://doi.org/10.31857/S0032180X21090045. EDN: https://elibrary.ru/HWOICG
13. Ryzhova, I. M., Erokhova, A. A., & Podvezyonnaya, M. A. (2014). Dynamics and structure of carbon stocks in post-agrogenic ecosystems of the southern taiga. *Soil Science*, *(12)*, 1426–1435. https://doi.org/10.7868/S0032180X14090111. EDN: https://elibrary.ru/SXIZKZ
14. SanPiN 1.2.3685–21. *Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans* (2021, pp. 1–988)
15. Sakharov, A. V., Mishchenko, V. V., & Eremin, D. I. (2020). Agro-physical properties of leached chernozem under different uses in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*, *(3)*, 62–67. EDN: https://elibrary.ru/VMBQXC
16. Sokolova, L. G., Zorina, S. Yu., & Belousova, E. N. (2021). CO_2 emission from soil when introducing short-term green manuring into a fallow field in the forest-steppe zone of the Baikal region. *Soil Science*, *(10)*, 1262–1273. https://doi.org/10.31857/S0032180X21100117. EDN: https://elibrary.ru/XALIFX
17. Filippova, O. I., Kholodov, V. A., & Safronova, N. A. (2019). Microaggregate, particle size, and aggregate composition of humus horizons in the zonal soil series of European Russia. *Soil Science*, *(3)*, 335–347. https://doi.org/10.1134/S0032180X19030031. EDN: https://elibrary.ru/VUFCWH
18. Kholodov, V. A., Yaroslavtseva, N. V., & Farhodov, Yu. R. (2019). Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizons of chernozems under different land use conditions. *Soil Science*, *(2)*, 184–193. https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060. EDN: https://elibrary.ru/YVZMRV

19. Bakhshandeh, E., Hossieni, M., & Zeraatpisheh, M. (2019). Land use change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran. *European Journal of Soil Biology*, *95*(8), 103119.
20. Basso, F., Bove, E., & Dumontet, S. (2000). Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: An example covering the Agri basin (Southern Italy). *Catena*, *40*(1), 19–35. EDN: https://elibrary.ru/AFPEPF
21. Beisel, J. N., & Moreteau, J. C. (1997). A simple formula for calculating the lower limit of Shannon's diversity index. *Ecological Modelling*, *99*(2), 289–292. EDN: https://elibrary.ru/AIRYOV
22. Brewer, T. E., Aronson, E. L., & Arogyaswamy, K. (2019). Ecological and genomic attributes of novel bacterial taxa that thrive in subsurface soil horizons. *mBio*, *10*(5), 1–14.
23. Chen, X., Yan, X., & Wang, M. (2022). Long-term excessive phosphorus fertilization alters soil phosphorus fractions in the acidic soil of pomelo orchards. *Soil & Tillage Research*, *215*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105214. EDN: https://elibrary.ru/FOKZGM
24. Eilers, K. G., Debenport, S., & Anderson, S. (2012). Digging deeper to find unique microbial communities: The strong effect of depth on the structure of bacterial and archaeal communities in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *50*, 58–65.
25. Franzluebbers, A. J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil & Tillage Research*, *66*(2), 197–205. EDN: https://elibrary.ru/AXVEIN
26. Hao, J., Chai, Y. N., & Lopes, L. D. (2021). The effects of soil depth on the structure of microbial communities in agricultural soils in Iowa (United States). *Applied and Environmental Microbiology*, *87*(4), 1–17.
27. Huang, R., Li, W., & Qiu, S. (2025). Impact of land use types on soil microbial community structure and functional structure in Baihualing Village, China. *Global Ecology and Conservation*, *57*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03379. EDN: https://elibrary.ru/XKIQZP
28. ISO 14240-1:1997. *Soil quality — Determination of soil microbial biomass. Part 1: Substrate-induced respiration method* (1997, vol. 1, pp. 1–5).
29. ISO 16072:2002. *Soil quality — Laboratory methods for determination of microbial soil respiration* (2002, vol. 1, pp. 1–11).
30. Kooch, Y., Kartalaei, Z. M., & Haghverdi, K. (2023). Soil function indicators are influenced by land use of different ages: A case study in a semi-arid region. *Science of the Total Environment*, *861*(10), 160570.

31. Lipiec, J., & Hatano, R. (2003). Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, *116*(1–2), 107–136. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1. EDN: https://elibrary.ru/XNZRGP
32. López-Bellido, L., Muñoz-Romero, V., & López-Bellido, R. J. (2013). Nitrate accumulation in the soil profile: Long-term effects of tillage, rotation and N rate in a Mediterranean Vertisol. *Soil & Tillage Research*, *130*, 18–23.
33. Markewitz, D., Sartori, F., & Craft, C. (2002). Soil change and carbon storage in longleaf pine stands planted on marginal agricultural lands. *Ecological Applications*, *12*(5), 1276–1285.
34. Naylor, D., McClure, R., & Jansson, J. (2022). Trends in microbial community composition and function by soil depth. *Microorganisms*, *10*(3), 1–26. https://doi.org/10.3390/microorganisms10030540. EDN: https://elibrary.ru/NABNCY
35. Oliveira, S. P. de, Lacerda, N. B. de, & Blum, S. C. (2015). Organic carbon and nitrogen stocks in soils of Northeastern Brazil converted to irrigated agriculture. *Land Degradation & Development*, *26*(1), 9–21.
36. Spohn, M., Klaus, K., & Wanek, W. (2016). Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth — Implications for carbon cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, *96*, 74–81.
37. Telo da Gama, J. (2023). The role of soils in sustainability, climate change, and ecosystem services: Challenges and opportunities. *Ecologies*, *4*(3), 552–567. https://doi.org/10.3390/ecologies4030036. EDN: https://elibrary.ru/ROFSPS
38. Tripathi, B. M., Kim, H. M., & Jung, J. Y. (2019). Distinct taxonomic and functional profiles of the microbiome associated with different soil horizons of a moist tussock tundra in Alaska. *Frontiers in Microbiology*, *10*(6), 1–14. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01442. EDN: https://elibrary.ru/BAIIGO
39. Yang, T., Lupwayi, N., & Marc, S. A. (2021). Anthropogenic drivers of soil microbial communities and impacts on soil biological functions in agroecosystems. *Global Ecology and Conservation*, *27*, 1–27. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01521. EDN: https://elibrary.ru/TTSTLW
40. Young, J. M., Skvortsov, T., & Kelleher, B. P. (2019). Effect of soil horizon stratigraphy on the microbial ecology of alpine paleosols. *Science of the Total Environment*, *657*(11), 1183–1193. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.442. EDN: https://elibrary.ru/KYLWRS

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Данилова Наталья Викторовна, канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры биотехнологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
natasha-danilova91@mail.ru

Бабичук Вячеслав Романович, лаборант-исследователь НИЛ GreenAgro
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
slavababichuk@gmail.com

Бикташева Лилия Рамилевна, канд. биол. наук, старший преподаватель кафедры биотехнологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
biktasheval@mail.ru

Окунев Родион Владимирович, канд. биол. наук, доцент кафедры почвоведения
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
tutinkaz@yandex.ru

Курынцева Полина Александровна, канд. биол. наук, доцент кафедры биотехнологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
polinazwerewa@yandex.ru

Селивановская Светлана Юрьевна, д-р биол. наук, профессор кафедры биотехнологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
ул. Кремлевская, 18, г. Казань, 420008, Российская Федерация
Svetlana.Selivanovskaya@kpfu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalia V. Danilova, PhD (Biology), Senior Lecturer, Department of Biotechnology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
natasha-danilova91@mail.ru
SPIN-code: 5696-2506
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8750-0929
ResearcherID: AAI-8891-2020
Scopus Author ID: 57200701116

Vyacheslav R. Babichuk, Laboratory Research Assistant at the GreenAgro Research Laboratory
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
slavababichuk@gmail.com
SPIN-code: 2295-7917

Liliya R. Biktasheva, PhD (Biology), Senior Lecturer, Department of Biotechnology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
biktasheval@mail.ru
SPIN-code: 2867-4922
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1133-444X
ResearcherID: N-3675-2016
Scopus Author ID: 56358635400

Rodion V. Okunev, PhD (Biology), Associate Professor of the Department of Soil Science
Kazan (Volga Region) Federal University

18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
tutinkaz@yandex.ru
SPIN-code: 8371-3829
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6927-6983
ResearcherID: M-7676-2016
Scopus Author ID: 56156815600

Polina A. Kuryntseva, PhD (Biology), associate professor, Department of Biotechnology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
polinazwerewa@yandex.ru
SPIN-code: 7028-8557
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9274-7077
ResearcherID: M-3407-2016
Scopus Author ID: 56069925000

Svetlana Yu. Selivanovskaya, Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biotechnology
Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russian Federation
Svetlana.Selivanovskaya@kpfu.ru
SPIN-code: 4867-6900
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6379-7166
ResearcherID: L-8851-2013
Scopus Author ID: 6603604965

Поступила 02.05.2025 Received 02.05.2025
После рецензирования 04.06.2025 Revised 04.06.2025
Принята 10.06.2025 Accepted 10.06.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1359 **EDN: MJOJDQ**
УДК 579.67:615.9:579.23

CC BY NC ND

Научная статья

ФУНКЦИНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В МИКРОБИОМЕ СЛЕПЫХ ОТРОСТКОВ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛИФОСАТА И АНТИБИОТИКОВ

Г.Ю. Лаптев, Д.Г. Тюрина, В.Ю. Морозов, В.А. Филиппова, Е.А. Йылдырым, Л.А. Ильина, Е.П. Горфункель, Е.С. Пономарева, К.А. Соколова, В.А. Заикин, И.А. Ключникова

Аннотация

Обоснование. Гербицид глифосат до недавнего времени считался безопасным для человека и животных, однако в последнее время большое количество исследователей склоняются к тому, что он может приводить к различным нарушениям. Это связано, в первую очередь с его широким распространением и способностью к канцерогенезу.

Цель. Целью исследования было изучить влияние совместного действия глифосата и двух видов антибиотиков на функциональные изменения микробиома слепых отростков цыплят-бройлеров при помощи метода полногеномного секвенирования.

Материалы и методы. Для проведения исследований, связанных с установлением таксономического состава метагенома содержимого слепых отростков цыплят-бройлеров, было проведено полногеномное NGS секвенирование образцов от 4 групп животных, полученных в ходе проведения опыта. На основании полученных данных проведен биоинформатический анализ.

Результаты. В результате данного исследования было показано, что глифосат с высокой вероятностью оказывает более сильное воздействие на микробиом, чем антибиотики. Но последние могут значительно усиливать негативное влияние гербицида, что выражается в более значительных функциональных изменениях, связанных с переваримостью сложных углеводов и энергетическим метаболизмом, а также с усилением развития патогенной микрофлоры вследствие нарушения баланса микробиоты с слепых отростках цыплят-бройлеров.

Заключение. Расширение знаний о микробиоме желудочно-кишечного тракта кур с помощью независимого от культуры метагеномного анализа способствует пониманию динамики микробных сообществ под влиянием таких ксенобиотиков как гербициды на основе глифосата и антибиотики, а также оценить и их роль в метаболизме и состоянии здоровья птицы. Исследования микробиоты ЖКТ необходимы для выявления вредного воздействия этих ксенобиотиков для разработки методов снижения токсической нагрузки и сохранения высокой продуктивности.

Ключевые слова: глифосат; антибиотики; бройлеры; NGS секвенирование; полногеномное секвенирование

Для цитирования. Лаптев, Г. Ю., Тюрина, Д. Г., Морозов, В. Ю., Филиппова, В. А., Йылдырым, Е. А., Ильина, Л. А., Горфункель, Е. П., Пономарева, Е. С., Соколова, К. А., Заикин, В. А., Ключникова, И. А. (2025). Функциональные различия в микробиоме слепых отростков цыплят-бройлеров, возникающие под влиянием глифосата и антибиотиков. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 197-216. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1359

Original article

FUNCTIONAL DIFFERENCES IN THE MICROBIOME OF BROILER CHICKEN CECALES RESULTING FROM GLYPHOSATE AND ANTIBIOTICS

G.Yu. Laptev, D.G. Tyurina, V.Yu. Morozov, V.A. Filippova, E.A. Yildirim, L.A. Ilyina, E.P. Gorfunkel, E.S. Ponomareva, K.A. Sokolova, V.A. Zaikin, I.A. Klyuchnikova

Abstract

Background. Until recently, the herbicide glyphosate was considered safe for humans and animals, but recently a large number of researchers are inclined to believe that it can lead to various disorders. This is primarily due to its widespread use and ability to carcinogenesis.

Purpose. The aim of this study was to investigate the effect of the combined action of glyphosate and two types of antibiotics on functional changes in the microbiome of the cecal processes of broiler chickens using the whole-genome sequencing method.

Materials and methods. To conduct studies related to the establishment of the taxonomic composition of the metagenome of the contents of the cecal processes of broiler chickens, whole-genome NGS sequencing of samples from 4 groups of animals obtained during the experiment was carried out. Based on the data obtained, bioinformatics analysis was carried out.

Results. As a result of this study, it was shown that glyphosate is highly likely to have a stronger effect on the microbiome than antibiotics. But the latter can significantly enhance the negative effect of the herbicide, which is expressed in more significant functional changes associated with the digestibility of complex carbohydrates and energy metabolism, as well as with increased development of pathogenic microflora due to imbalance of the microbiota in the cecal processes of broiler chickens.

Conclusion. Increasing our knowledge of the chicken gastrointestinal microbiome using culture-independent metagenomic analysis will help us understand the microbial community dynamics under the influence of xenobiotics such as glyphosate-based herbicides and antibiotics, and their role in poultry metabolism and health. Studies of the gastrointestinal microbiota are needed to identify the harmful effects of these xenobiotics in order to develop methods to reduce toxic load and maintain high productivity.

Keywords: glyphosate; antibiotics; broilers; NGS sequencing; whole genome sequencing

For citation. Laptev, G. Yu., Tyurina, D. G., Morozov, V. Yu., Filippova, V. A., Yildirim, E. A., Ilyina, L. A., Gorfunkel, E. P., Ponomareva, E. S., Sokolova, K. A., Zaikin, V. A., & Klyuchnikova, I. A. (2025). Functional differences in the microbiome of broiler chicken cecales resulting from glyphosate and antibiotics. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 197-216. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1359

Введение

Глифосат является наиболее распространенным в настоящее время гербицидом широкого действия, он широко используется для обработки генетически модифицированных культур и для высушивания сельскохозяйственных культур перед сбором урожая. Все это может приводить к повышенным концентрациям глифостата в кормах [1]. Гербицидное действие глифосата обусловлено нарушением шикиматного пути производства ароматических аминокислот в растениях и некоторых микроорганизмах [2]. Поскольку люди и животные не используют шикиматный путь для производства аминокислот, считается, что глифосат не оказывает какого-либо вредного воздействия на их здоровье. Однако несколько исследований

показали, что гербициды на основе глифосата могут вызывать повреждение тканей [3; 4], нарушать работу эндокринной системы в различных экспериментальных моделях [5] и вызывают проблемы развития мозга у животных [6]. Таким образом, использование глифосата является спорным, поскольку недавние исследования показали, что население в большой степени испытывает на себе его воздействию [6].

Домашняя птица чаще остальных сельскохозяйственных животных подвергается воздействию глифостата через свой рацион. Большинство исследований действительно показывают, что глифосат в условиях правильного ведения сельского хозяйства, не оказывают никакого вредного воздействия на самих птиц, а скорее влияет на их среду обитания [5]. Однако недавнее исследование показывает, что глифосаты могут снижать активность каталазы печени и снижать уровень тестостерона у японских перепелов. Известно, что глифосат в различной степени ингибирует кишечные бактерии in vitro[6], поэтому микробиом кишечника также нарушается с подавлением полезных микроорганизмов, чувствительных к действию гербицида [7].

Антибиотики широко используются в птицеводстве для профилактики и лечения заболеваний. Вместе с тем, антибиотики вызывают значительные изменения в микробиоте желудочно-кишечного тракта бройлеров и может вызывать дисбиоз и нарушения развития кишечника, что отрицательно влияет на физиологию бройлеров и метаболические показатели [8]. Иммунная система птиц, получавших лечение на ранних этапах цикла роста, также подвергается неблагоприятному воздействию, что приводит к снижению концентрации макрофагов в ткани слизистой оболочки кишечника, что, в свою очередь, влияет на микробиоту на протяжении всего периода выращивания [9].

У кур изменения в микробном сообществе желудочно-кишечного тракта коррелируют с несколькими экономически важными характеристиками, такими как эффективность кормления, масса тела и здоровье [10-12]. Действительно, было показано, что с помощью многочисленных углевод-активных ферментов (CAZymes) представители микробиоты куриного кишечника способны расщеплять растительные волокна, расщеплять пищевые углеводы и гликаны, полученные от хозяина [13], тем самым производя органические кислоты, такие как короткоцепочечные жирные кислоты, которые играют решающую роль в энергетическом обмене, физиологии желудочно-кишечного тракта и работе иммунной системы [14; 15].

В настоящее время нет исследований, оценивающих воздействие глифосата и его сочетанного с антибиотиками действия в кормах на функциональные изменения микробиома ЖКТ птицы. Поэтому целью данного исследования

было изучить влияние совместного действия глифосата и двух видов антибиотиков на функциональные изменения микробиома слепых отростков цыплят-бройлеров при помощи метода полногеномного секвенирования.

Материалы и методы исследования

Для оценки действия антибиотиков и глифосата был проведен эксперимент: 260 бройлеров были разделены на группы по 65 голов: I - контрольная, которая получала основной рацион (ОР), II опытная - ОР с добавлением глифосата (ГФ); III опытная - ОР с добавлением глифосата и ветеринарных антибиотиков энрофлоксацина и метансульфоната колистина (ГФ+АБ1); IV опытная - ОР с добавлением глифосата и аммония мадурамицина (ГФ+АБ2). Антибиотик энрофлоксацин добавляли в питьевую воду в виде препарата «Энрофлон 10% раствор для орального применения» (ООО «НПК-ВИК», Россия) в количестве 0,5 мл на 1 л воды на 0-10 сутки жизни цыплят, антибиотик метансульфоната колистин добавляли в воду в виде препарата «Колистин 2 млн» («АВЗ-СП», Россия) в количестве 0,25 мл на 1 л воды на 33-37 сут. жизни. Ионофорный антибиотик и кокцидиостатик аммония мадурамицин добавляли в количестве 500 г на 1 тонну кормов до 35 сут. жизни цыплят.

Для искусственного загрязнения кормов для опытных групп применяли глифосат в составе препарата «Агрокиллер» (ЗАО «Август», Россия), содержащий 500г/л глифосата кислоты (изопропиламинная соль). Готовили рабочий раствор из препарата «Агрокиллер» и наносили на комбикорм методом распыления до достижения концентрации 20 мг/кг. После внесения глифосата, его концентрацию в корме контролировали методом ИФА.

Для проведения исследований, связанных с установлением таксономического состава метагенома содержимого слепых отростков цыплят-бройлеров, было проведено полногеномное NGS секвенирование образцов от 4 групп животных, полученных в ходе проведения опыта. Были подготовлены 4 усредненные пробы (по 3 пробы от каждой группы) образцов содержимого слепого отростка для проведения полногеномного секвенирования микробиоты кишечника птиц. Количество ДНК в пробах было выровнено. Для подготовки проб к полногеномному секвенированию на платформе IlluminaMiseq, был использован набор Nextera DNA Flex Library Prep (Illumina). Для секвенирования полученных библиотек был использован набор MiSeq Reagent Kit v3 - 600 (Illumina).

Сборку метагенома начинали с очистки исходных ридов от ДНК хозяина-животного (референсный геном Gallus gallus взятый из базы данных NCBI). Затем проведена индексация генома в программе bowtie2 и за-

пуск kneaddata для контроля качества данных метагеномного секвенирования. Для объединения парных конечных считываний Illumina, которые перекрываются в одно более длинное считывание была использована программа SeqPrep. Обработку ридов проводили программой splitFastq, после использовали программу-сборщик MegaHit. Полученные данные были загружены в программу Prokka для дальнейшего анализа и сопоставления с другими базами данных. После этого сборку загрузили для анализа в функциональную аннотацию в базе данных KEGG, используя программу KEGG AutomaticAnnotationServer и алгоритм GHOSTX, bi-directional best hit (BBH). Так же данные были анализированы в базе данных SEED. Кроме этого, мы выгрузили последовательность в мета-сервер dbCAN2 для автоматизированной аннотации углеводно-активных ферментов, финансируемый Национальным научным фондом (DBI-1652164).

Результаты исследования

В результате проведенных исследований нами были выявлены отличия в микробиоме на уровне гликолитических ферментов путей, ответственных за метаболизм простых углеводов (KO00010), возникающие под влиянием глифосата. Под влиянием глифосата и глифосата в сочетании с антибиотиками произошло снижение числа обнаруживаемых ферментов, участвующих в данном метаболическом пути. В контрольной группе I было выявлено 67 генов, во II (ГФ) – 62, в III (ГФ +АБ1) и IV (ГФ + АБ2) группах по 63 гена. Отличия касались потери или значительного снижения уровня таких ферментов как – пируватдекарбоксилаза, НАД зависимая альдегиддегидрогеназа. Пируватдекарбоксилаза представляет собой фермент (ЕС 4.1.1.1), катализирующий декарбоксилирование пировиноградной кислоты до ацетальдегида, а альдегиддегидрогеназа - катализирует окисление альдегидов до уксусной кислоты.

В цикле трикабоновых кислот, наибольшие различия были отмечены в 4 группе птицы – отсутствовал ген малатдегидрогеназы - фермента, катализирующего последний этап цикла Кребса. Уже сообщалось, что активность малатдегидрогеназы и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы снижалась при воздействии глифосата на крыс [16].

Все использованные нами ксенобиотики способствовали изменению микробного разнообразия в слепом кишечнике, связанном со снижением процессов катаболизма углеводов. Анализ наличия гликозилгидролаз, участвующих в разложении простых и сложных углеводов, по базе Cazy выявил снижение разнообразия данных ферментов под влиянием глифосата

и антибиотиков в микробиоме слепых отростков опытной птицы (Рис.1). В контрольной группе I было обнаружено 99 различных семейств GH, в группе II – 95 семейств, группе III – 94 семейства, группе IV – 92 семейства гликозилгидролаз. Подобные изменения опосредовано могут приводить к снижению эффективности пищеварительных процессов переваривания корма птицей и снижению уровня энергетического метаболизма. Различия наблюдались в 18 семейств гликозилгидролаз.

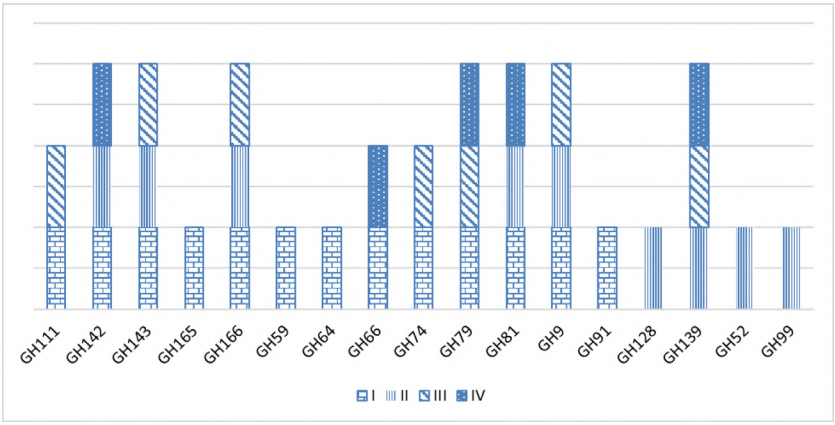


Рис. 1. Основные различия в продукции гликозилгидролаз различных семейств в микробиоме слепых отростков опытных птиц
I-IV: группы цыплят-бройлеров.
GH: наименование семейств гликозилгидролаз

В контрольной группе были выявлены четыре уникальных семейств гликозилгидролаз (GH 59, GH64, GH91 и GH165). Эти виды гликозилгидролаз были элиминированы из микробного сообщества после применения глифосата и антибиотиков.

Анализ метагенома микробного сообщества цыплят-бройлеров позволил выявить отличия в синтезе бактериальных сидерофоров. Были выявлены отличия между группами по разнообразию выявленных ферментов, участвующих в синтезе сидерофоров бактерий (Рис. 2). Наименьшее число сидерофоров было выявлено в контрольной группе – бацилибактин и пиохелин. В остальных группах было выявлено намного больше генов. В группе II (ГФ) и III (ГФ+АБ1) дополнительно выявлялись вибриобактин, энтеробактин, миксохелин и микобактин. В группе IV (ГФ-АБ2) были выявлены бацилибактин, пиохелинвибриобактин, энтеробактин, миксохелин.

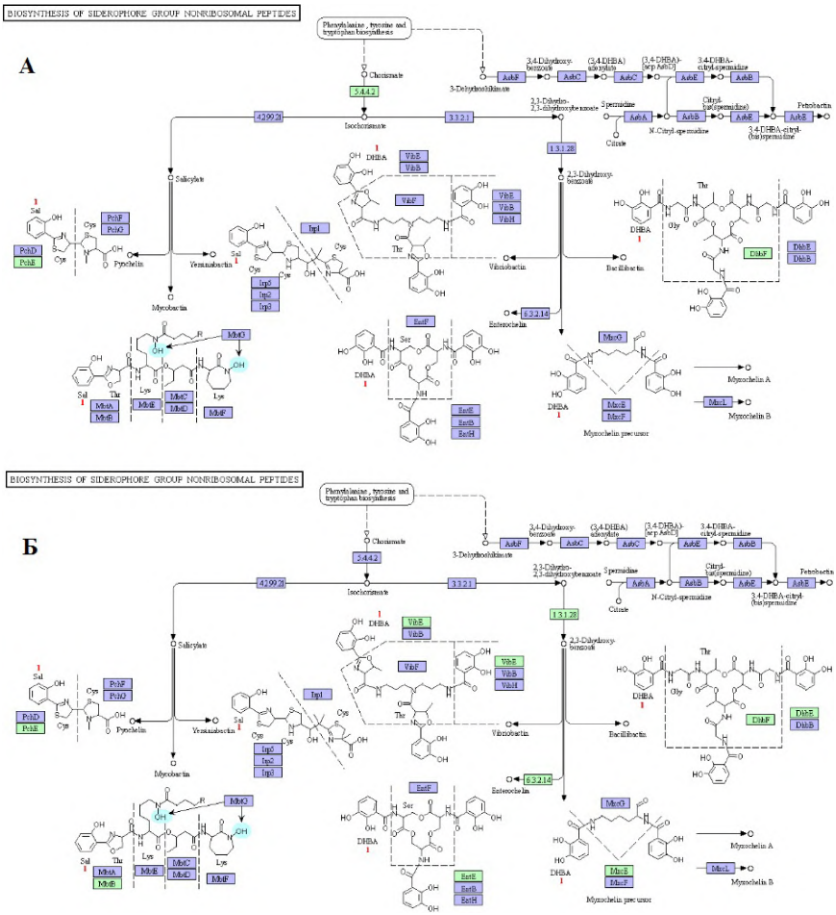


Рис. 2. Функциональные отличия в продукции сидерофоров, возникающие в микробиоме слепых отростков птиц под влиянием глифосата и антибиотиков. А – группа I (контроль), Б – группа IV (ГФ+АБ2)

Также в группах, подверженных влиянию глифосата был выявлен фермент 2,3-дигидро-2,3-дигидроксибензоатдегидрогеназа [EC:1.3.1.28]. Это ген, который необходим для биосинтеза 2,3-дигидроксибензойной кислоты (DHBA).2,3-Дигидроксибензойная кислота включена в различные сидерофоры (железопереносящие белки), которые представляют собой молекулы, которые связывают ионы железа для переноса в бактерии.

Обсуждение

Слепой кишечник птиц является ключевым органом для ферментации различных форм полисахаридов и тесно связана со здоровьем и продуктивностью [17]. Микробиота слепой кишки играет центральную роль в метаболизме сложных полисахаридов, поскольку организм цыплят не обладает полным метаболическим циклом для производства легкоусвояемых форм полисахаридов. Сержант и др. [18] сообщили о многочисленных ферментах, расщепляющих полисахариды, обнаруженных в метагеноме слепой кишки, а Qu et al. [19] показали, что гены углеводного обмена занимают около 20% генов в метагеноме микробиоты ЖКТ [19], включая ключевые ферменты, такие как: углеводная эстераза, полисахаридлиаза и гликозидгидролаза, которые отсутствуют у кур [20].

В результате проведенных исследований нами были выявлены отличия в микробиоме на уровне гликолитических ферментов путей, ответственных за метаболизм простых углеводов (KO00010), возникающие под влиянием глифосата. Под влиянием глифосата и глифосата в сочетании с антибиотиками произошло снижение числа обнаруживаемых ферментов, участвующих в данном метаболическом пути.

В цикле трикабоновых кислот, наибольшие различия были отмечены в 4 группе птицы – отсутствовал ген малатдегидрогеназы - фермента, катализирующего последний этап цикла Кребса. Уже сообщалось, что активность малатдегидрогеназы и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы снижалась при воздействии глифосата на крыс [16].

Все использованные нами ксенобиотики способствовали изменению микробного разнообразия в слепом кишечнике, связанном со снижением процессов катаболизма углеводов. Подобные изменения опосредовано могут приводить к снижению эффективности пищеварительных процессов переваривания корма птицей и снижению уровня энергетического метаболизма. Различия наблюдались по 18 семействам гликозилгидролаз.

В контрольной группе были выявлены четыре уникальных семейств гликозилгидролаз (GH 59, GH64, GH91 и GH165). Эти виды гликозилгидролаз были элиминированы из микробного сообщества после применения глифосата и антибиотиков. Интересно, что семейство GH 91 объединяет в себе гликозилгидролазы с функцией разрушения инулина (инулин фруктотрансферазы (EC 4.2.2.17 и EC 4.2.2.17)). Инулин — это природный полисахарид, который не переваривается пищеварительными ферментами организма позвоночных животных и относится к группе растворимых пищевых волокон, обладающих пребиотическим эффектом.

Молекула инулина - это цепочка из 30-35 остатков фруктозы в фуранозной форме. Инулин является запасным углеводом во многих растениях. Он встречается во фруктах и овощах и в злаках, таких как пшеница [21]. Инулин используется некоторыми микробами толстой кишки, бифидобактериями и лактобактериями [22]. Как правило, эти бактерии способны ферментировать неперевариемые углеводы, а также снижать pH кишечника, вырабатывать короткоцепочечные жирные кислоты, стимулировать выработку иммуноглобулинов и способствовать конкурентному исключению патогенов [23]. В результате метаболизма инулина микрофлорой в толстой кишке образуется эндогенная масляная кислота (бутират), и стимулируется рост бутират-продуцирующих бактерий, в частности, Faecalibacterium prausnitzii. Наши данные показывают, что при использовании глифосата происходит значительное снижение микроорганизмов, способных вырабатывать ферменты, метаболизирующие полисахарид инулин. Возможно, это связано со снижением численности лактобактерий, обладающих способностью ферментировать инулин [24], ведь многие данные указывают на то, что данная группа бактерий является чрезвычайно чувствительной к глифосату [25].

Процессы, приводящие к образованию короткоцепочечных жирных кислот крайне важны, ведь во время переваривания полисахаридов микробиота ЖКТ продуцирует различные короткоцепочечные летучие жирные кислоты, ацетет, пропионат, бутилат, валерат, изобутилат и изовалерат [26].

Анализ метагенома микробного сообщества цыплят-бройлеров позволил выявить отличия в синтезе бактериальных сидерофоров. Сидерофоры, которые обнаружены у бактерий, грибов и млекопитающих, способны извлекать железо из нерастворимых неорганических соединений, а в организме хозяина – из комплексов с белками, выполняющими функцию неспецифической защиты млекопитающих от инфекций [27]. У патогенных бактерий сидерофоры играют важную роль в вирулентности, выполняя множество функций в организме хозяина, помимо обеспечения микробов железом и другими биологическими металлами. Они участвуют в хранении токсичного для клеток избытка железа, защищают бактерии от реактивных соединений кислорода, конкурируют за железо с фагоцитами, оказывают токсическое действие на клетки хозяина, в некоторых случаях играя роль секретируемого бактериального токсина. Сидерофоры бактерий выполняют сигнальную функцию и регулируют как свой собственный синтез, так и синтез других факторов вирулентности [27]. Многие патогенные бактерии продуцируют несколько сидерофоров, активных в разных

условиях, в отношении разных источников железа в организме хозяина и на разных этапах инфекционного процесса.

Были выявлены отличия между группами по разнообразию выявленных ферментов, участвующих в синтезе сидерофоров бактерий (Рис. 2). Наименьшее число сидерофоров было выявлено в контрольной группе – бацилибактин и пиохелин. В остальных группах было выявлено намного больше генов. В группе II (ГФ) и III (ГФ+АБ1) дополнительно выявлялись вибриобактин, энтеробактин, миксохелин и микобактин. В группе IV (ГФ-АБ2) были выявлены бацилибактин, пиохелинвибриобактин, энтеробактин, миксохелин.

Также в группах, подверженных влиянию глифосата был выявлен фермент 2,3-дигидро-2,3-дигидроксибензоатдегидрогеназа [EC:1.3.1.28]. Это ген, который необходим для биосинтеза 2,3-дигидроксибензойной кислоты (DHBA).2,3-Дигидроксибензойная кислота включена в различные сидерофоры (железопереносящие белки), которые представляют собой молекулы, которые связывают ионы железа для переноса в бактерии. Это может указывать на увеличение численности и активности патогенных и условно-патогенных бактерий под влиянием глифосата. Сочетание влияния глифосата с антибиотиками увеличивает разнообразие обнаруженных сидерофоров, что может говорить об увеличении дисбаланса микробного сообщества под влиянием антибиотиков.

Заключение

Расширение знаний о микробиоме желудочно-кишечного тракта кур с помощью независимого от культуры метагеномного анализа способствует пониманию динамики микробных сообществ под влиянием таких ксенобиотиков как гербициды на основе глифосата и антибиотики, а также оценить и их роль в метаболизме и состоянии здоровья птицы. Исследования микробиоты ЖКТ необходимы для выявления вредного воздействия этих ксенобиотиков для разработки методов снижения токсической нагрузки и сохранения высокой продуктивности. В результате данного исследования было показано, что глифосат с высокой вероятностью оказывает более сильное воздействие на микробиом, чем антибиотики. Но последние могут значительно усиливать негативное влияние гербицида, что выражается в более значительных функциональных изменениях, связанных с перевариимостью сложных углеводов и энергетическим метаболизмом, а также с усилением развития патогенной микрофлоры вследствие нарушения баланса микробиоты с слепых отростках цыплят-бройлеров.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 22-16-00128-П «Изучение токсического действия глифосатов на функциональное состояние микробного сообщества кишечника птиц, их рост и развитие и разработка биопрепарата на основе штамма-деструктора глифосата».

Список литературы / References

1. Foldager, L., Winters, J. F. M., Nørskov, N. P., et al. (2021). Impact of feed glyphosate residues on broiler breeder egg production and egg hatchability. *Scientific Reports*, *11*, 19290. https://doi.org/10.1038/s41598-021-98962. EDN: https://elibrary.ru/PRVNWN
2. Schönbrunn, E., Eschenburg, S., Shuttleworth, W. A., Schloss, J. V., Amrhein, N., Evans, J. N., & Kabsch, W. (2001). Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase in atomic detail. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(4), 1376–1380. https://doi.org/10.1073/pnas.98.4.1376. EDN: https://elibrary.ru/LSWCXN
3. Jasper, R., Locatelli, G. O., Pilati, C., & Locatelli, C. (2012). Evaluation of biochemical, hematological and oxidative parameters in mice exposed to the herbicide glyphosate-Roundup®. *Interdisciplinary Toxicology*, *5*, 133–140. https://doi.org/10.2478/v10102-012-0022-5. EDN: https://elibrary.ru/YDSNUV
4. Larsen, K., Najle, R., Lifschitz, A., Maté, M. L., Lanusse, C., & Virkel, G. L. (2014). Effects of sublethal exposure to a glyphosate-based herbicide formulation on metabolic activities of different xenobiotic-metabolizing enzymes in rats. *International Journal of Toxicology*, *33*, 307–318. https://doi.org/10.1177/1091581814540481
5. Gill, J. P. K., Sethi, N., Mohan, A., Datta, S., & Girdhar, M. (2018). Glyphosate toxicity for animals. *Environmental Chemistry Letters*, *16*, 401–426. https://doi.org/10.1007/s10311-017-0689-0. EDN: https://elibrary.ru/DTDSLH
6. Cattani, D., Struyf, N., Steffensen, V., Bergquist, J., Zamoner, A., Brittebo, E., et al. (2021). Perinatal exposure to a glyphosate-based herbicide causes dysregulation of dynorphins and an increase of neural precursor cells in the brain of adult male rats. *Toxicology*, *461*, 152922. https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.152922. EDN: https://elibrary.ru/IGTEAV
7. Grau, D., Grau, N., Gascuel, Q., Paroissin, C., Stratonovitch, C., & Lairon, D., et al. (2022). Quantifiable urine glyphosate levels detected in 99 % of the French population, with higher values in men, in younger people, and in farmers. *Environ-*

mental Science and Pollution Research International, *29*, 32882–32893. https://doi.org/10.1007/s11356-021-18110-0. EDN: https://elibrary.ru/DJWFDU

8. Shehata, A. A., Schrodl, W., Aldin, A. A., Hafez, H. M., & Krüger, M. (2013). The effect of glyphosate on potential pathogens and beneficial members of poultry microbiota in vitro. *Current Microbiology*, *66*, 350–358. https://doi.org/10.1007/s00284-012-0277-2. EDN: https://elibrary.ru/QOOOBU
9. Ruuskanen, S., Rainio, M. J., Gómez-Gallego, C., Selenius, O., Salminen, S., Collado, M. C., et al. (2020). Glyphosate-based herbicides influence antioxidants, reproductive hormones and gut microbiome but not reproduction: A long-term experiment in an avian model. *Environmental Pollution*, *266*, 115108. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115108. EDN: https://elibrary.ru/IDIFWL
10. Pereira, R., Bortoluzzi, C., Durrer, A., Fagundes, N. S., Pedroso, A. A., Rafael, J. M., de Lima Perim, J. E., Zavarize, K. C., Napty, G. S., Andreote, F. D., et al. (2019). Performance and intestinal microbiota of chickens receiving probiotic in the feed and submitted to antibiotic therapy. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, *103*, 72–86.
11. Schokker, D., de Klerk, B., Borg, R., Bossers, A., & Rebel, J. M. J. (2021). Factors influencing the succession of the fecal microbiome in broilers. *Livestock Science*, *247*, 104486. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104486. EDN: https://elibrary.ru/PDMHXO
12. Ocejo, M., Oporto, B., & Hurtado, A. (2019). 16S rRNA amplicon sequencing characterization of caecal microbiome composition of broilers and free-range slow-growing chickens throughout their productive lifespan. *Scientific Reports*, *9*, 2506. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39323-x. EDN: https://elibrary.ru/QJDHXR
13. Shah, T. M., Patel, J. G., Gohil, T. P., Blake, D. P., & Joshi, C. G. (2019). Host transcriptome and microbiome interaction modulates physiology of full-sibs broilers with divergent feed conversion ratio. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, *5*, 24. https://doi.org/10.1038/s41522-019-0096-3. EDN: https://elibrary.ru/IPDGGU
14. Wen, C., Yan, W., Sun, C., Ji, C., Zhou, Q., Zhang, D., et al. (2019). The gut microbiota is largely independent of host genetics in regulating fat deposition in chickens. *The ISME Journal*, *13*, 1422–1436. https://doi.org/10.1038/s41396-019-0367-2. EDN: https://elibrary.ru/LFMXIY
15. El Kaoutari, A., Armougom, F., Gordon, J. I., Raoult, D., & Henrissat, B. (2013). The abundance and variety of carbohydrate-active enzymes in the human gut microbiota. *Nature Reviews Microbiology*, *11*, 497–504. https://doi.org/10.1038/nrmicro3050
16. Józefiak, D., Rutkowski, A., & Martin, S. A. (2004). Carbohydrate fermentation in the avian ceca: A review. *Animal Feed Science and Technology*, *113*, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.09.007

17. Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: Short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell*, *165*, 1332–1345. https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041
18. Daruich, J., Zirulnik, F., & Gimenez, M. S. (2001). Effect of the herbicide glyphosate on enzymatic activity in pregnant rats and their fetuses. *Environmental Research*, *85*, 226–231. https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4229
19. Stanley, D., Hughes, R. J., & Moore, R. J. (2014). Microbiota of the chicken gastrointestinal tract: Influence on health, productivity and disease. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *98*, 4301–4310. https://doi.org/10.1007/s00253-014-5646-2. EDN: https://elibrary.ru/BLNKYW
20. Sergeant, M. J., Constantinidou, C., Cogan, T. A., Bedford, M. R., Penn, C. W., & Pallen, M. J. (2014). Extensive microbial and functional diversity within the chicken cecal microbiome. *PLOS ONE*, *9*(3), e91941.
21. Qu, A., Brulc, J. M., Wilson, M. K., Law, B. F., Theoret, J. R., Joens, L. A., Konkel, M. E., Angly, F., Dinsdale, E. A., Edwards, R. A., Nelson, K. E., & White, B. A. (2008). Comparative metagenomics reveals host-specific metavirulomes and horizontal gene transfer elements in the chicken cecum microbiome. *PLOS ONE*, *3*(8), e2945. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002945. EDN: https://elibrary.ru/MSJKWN
22. Yeoman, C. J., Chia, N., Jeraldo, P., Sipos, M., Goldenfeld, N. D., & White, B. A. (2012). The microbiome of the chicken gastrointestinal tract. *Animal Health Research Reviews*, *13*, 89–99.
23. Roberfroid, M. B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, *93*(Suppl 1), S13–S25.
24. Samanta, A. K., Senani, S., Kolte, A. P., Sridhar, M., Bhatta, R., & Jayapal, N. (2012). Effect of prebiotic on digestibility of total mixed ration. *Indian Veterinary Journal*, *89*, 41–42.
25. Xia, Y., Miao, J., Zhang, Y., Zhang, H., Kong, L., Seviour, R., & Kong, Y. (2021). Dietary inulin supplementation modulates the composition and activities of carbohydrate-metabolizing organisms in the cecal microbiota of broiler chickens. *PLOS ONE*, *16*(10), e0258663. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258663. EDN: https://elibrary.ru/CTDAKY
26. FAO. (2023). *The impact of pesticide residues on the gut microbiome and human health — A food safety perspective*. Food Safety and Quality Series, No. 19. Rome. https://doi.org/10.4060/cc5306en
27. Khasheii, B., Mahmoodi, P., & Mohammadzadeh, A. (2021). Siderophores: Importance in bacterial pathogenesis and applications in medicine and industry. *Microbiological Research*, *250*, 126790. https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126790. EDN: https://elibrary.ru/EXOUSH

ВКЛАД АВТОРОВ

Лаптев Г.Ю.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.
Тюрина Д.Г.: общее руководство направлением исследования.
Морозов В.Ю.: общее руководство направлением исследования.
Филиппова В.А.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.
Йылдырым Е.А.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.
Ильина Л.А.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.
Горфункель А.П.: постановка опытов, отбор образцов.
Пономарева Е.С.: биоинформатический анализ данных.
Соколова К.А.: лабораторные исследования.
Заикин В.А.: лабораторные исследования.
Ключникова И.А.: лабораторные исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Georgy Yu. Laptev: general management of the research direction, interpretation of results.
Darya G. Turina: general management of the research direction.
Vitaly Yu. Morozov: general management of the research direction.
Valentina A. Filippova interpretation of results, preparation of the article.
Elena A. Yildirim: general management of the research direction, interpretation of results.
Larisa A. Ilina: general management of the research direction, interpretation of results.
Elena P. Gorfunkel: setting up experiments, sampling.
Ekaterina S. Ponomareva: bioinformatics data analysis.
Ksenia A. Sokolova: laboratory research.
Vasily A. Zaikin: laboratory research.
Irina A. Klyuchnikova: laboratory research.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Лаптев Георгий Юрьевич, доктор биологических наук, генеральный директор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ООО «БИОТРОФ+»

Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
georg-laptev@rambler.ru

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

Морозов Виталий Юрьевич, доктор ветеринарных наук, ректор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация
supermoroz@mail.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. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
filippova@biotrof.ru

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. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
deniz@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. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
ilina@biotrof.ru

Горфункель Елена Павловна, контролер по качеству
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
elena@biotrof.ru

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

Соколова 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. Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
kalitkina.xeniya@gmail.com

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

Ключникова Ирина Александровна, магистрант факультета зооинженерии и биотехнологий
ООО «БИОТРОФ+»
б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
klyuchnikova.irinaa@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

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

Darya G. Turina, PhD in Economics, Chief Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ LLC
19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
tiurina@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9001-2432

Vitaly Yu. Morozov, Doctor of Veterinary Sciences, Rector
Saint Petersburg State Agrarian University
2, Petersburg Highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
supermoroz@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3688-1546

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

Elena A. Yildirim, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Livestock Farming
Saint Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ LLC
2, Petersburg Highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation; 19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
deniz@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5846-5105

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

Elena P. Gorfunkel, Quality Controller
BIOTROF+ LLC
19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
elena@biotrof.ru

Ekaterina S. Ponomareva, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ LLC
19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
kate@biotrof.ru

Ksenia A. Sokolova, Postgraduate Student of the Faculty of Zooengineering and Biotechnology
Saint Petersburg State Agrarian University; BIOTROF+ LLC
2, Petersburg Highway, St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation; 19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
kalitkina.xeniya@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9541-6839

Vasily A. Zaikin, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory
BIOTROF+ LLC
19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
dfcx@biotrof.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8029-9955

Irina A. Klyuchnikova, Master's Student of the Faculty of Zooengineering and Biotechnology
BIOTROF+ LLC
19, bldg. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
klyuchnikova.irinaa@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6484-1235

Поступила 20.05.2025 Received 20.05.2025
После рецензирования 02.07.2025 Revised 02.07.2025
Принята 25.07.2025 Accepted 25.07.2025

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1334 **EDN: NPDHVL**
УДК 574.24

CC BY NC ND

Научная статья

ОЦЕНКА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ И МАРКЕРА ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА У БЫЧКА-ПЕСОЧНИКА (*NEOGOBIUS FLUVIATILIS*), ОБИТАЮЩЕГО В СЕВЕРНОМ КАСПИИ

Т.В. Кузина, А.В. Кузин

Аннотация

Обоснование. В настоящее время изменение окружающей среды при нефтегазодобыче на Северном Каспии контролируется при проведении локального экологического мониторинга, обязательность которого определена Федеральными нормами и правилам. Среди маркеров оценки состояния гидробионтов выделяют биохимические и цитогенетические.

Цель. Оценка цитогенетических показателей и маркёра оксидативного стресса у бычка-песочника, отловленного в местах ликвидированных скважин ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть».

Материалы и методы. Исследование проведено на 308 экземплярах рыб. Цитогенетические нарушения исследовали микроядерным тестом. Интенсивность ПОЛ в тканях печени оценивали по уровню накопления МДА. Результаты обработаны статистически с помощью программ «Microsoft Office Excel 2007».

Результаты. Средняя частота встречаемости эритроцитов с микроядрами у рыб на отдельных участках превышала уровень при спонтанном мутагенезе, и составляла 0,25%. Отмечали повышенное содержание МДА в гепатоцитах. Проведенный анализ между показателями оксидативного стресса и количе-

ством микроядер позволяет сделать вывод, что образование микроядер после воздействия свободных радикалов может являться адаптивной реакцией на данный стрессовый фактор в условиях обитания.

Заключение. Полученные результаты биохимического и цитогенетического исследования свидетельствуют о наличии у рыб двух одновременно протекающих патологических процессов. С одной стороны, повышение интенсивности процессов свободнорадикального окисления, с другой, нестабильность генома с повышенным числом цитогенетических перестроек. Следовательно, дестабилизация генома происходит на фоне активации свободнорадикальных процессов, и в условиях повышения уровня МДА более 65 нмоль значительно возрастает мутагенное действие свободных радикалов на геном.

Ключевые слова: МДА; микроядра; эритроциты; окислительный стресс; генетический мониторинг

Для цитирования. Кузина, Т. В., & Кузин, А. В. (2025). Оценка цитогенетического показателя и маркера оксидативного стресса у бычка-песочника (*Neogobius fluviatilis*), обитающего в Северном Каспии. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 217-229. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1334

Original article

ASSESSMENT OF CYTOGENETIC INDEX AND MARKER OF OXIDATIVE STRESS IN A MONKEY GOBY (*NEOGOBIUS FLUVIATILIS*) NATIVE TO THE NORTHERN CASPIAN SEA

T.V. Kuzina, A.V. Kuzin

Abstract

Background. Currently, environmental changes during oil and gas production in the Northern Caspian Sea are controlled through local environmental monitoring, the obligation of which is determined by Federal Standards and Regulations. Biochemical and cytogenetic markers are distinguished among the markers for assessing the state of aquatic organisms.

Purpose. Assessment of cytogenetic parameters and markers of oxidative stress in a monkey goby captured at the sites of liquidated wells by «LUKOIL-Nizhnevolzhskneft».

Materials and methods. The study was conducted on 308 fish specimens. Cytogenetic disorders were investigated by a micronucleus test. The intensity of POL in liver tissues was assessed by the level of accumulation of MDA. The results were processed statistically using Microsoft Office Excel 2007 software.

Results. The average frequency of occurrence of erythrocytes with micronuclei in fish in some areas exceeded the level of spontaneous mutagenesis, and amounted to 0.25%. An increased content of MDA in hepatocytes was noted. The analysis between the indicators of oxidative stress and the number of micronuclei allows us to conclude that the formation of micronuclei after exposure to free radicals may be an adaptive response to this stress factor in living conditions.

Conclusion. The obtained results of biochemical and cytogenetic studies indicate the presence of two simultaneous pathological processes in fish. On the one hand, an increase in the intensity of free radical oxidation processes, on the other, genome instability with an increased number of cytogenetic rearrangements. Consequently, the destabilization of the genome occurs against the background of activation of free radical processes, and with an increase in the level of MDA above 65 nmol, the mutagenic effect of free radicals on the genome increases significantly.

Keywords: MDA; micronuclei; erythrocytes; oxidative stress; genetic monitoring

For citation. Kuzina, T. V., & Kuzin, A. V. (2025). Assessment of cytogenetic index and marker of oxidative stress in a monkey goby (*Neogobius fluviatilis*) native to the Northern Caspian Sea. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 217-229. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1334

Введение

Создание Единой системы государственного экологического мониторинга направлено на защиту окружающей среды. Одной из ключевых задач этого мониторинга является регулярное отслеживание состояния окружающей среды, включая компоненты природной среды и естественные экосистемы, а также наблюдение за процессами, явлениями и изменениями, происходящими в этой среде. Оценка состояния окружающей среды в местах размещения объектов нефтегазодобычи дается на основе анализа как химического состава морской воды, так и изменений биохимических показателей ихтиофауны, обитающей в местах расположения нефтегазодобывающей отрасли. Привлечение широкого комплекса биохимических показателей позволяет выявить механизмы воздействия поллютантов на определенные звенья метаболизма, провести раннюю диагностику токсикозов, определить основные загрязнители и степень их

токсичности для гидробионтов [6]. Среди биохимических показателей результативными являются оценка интенсивности протекания перекисных процессов в организме рыб, прежде всего в печени. Изменение качества воды способно усиливать окислительный стресс у гидробионтов, который можно отслеживать с помощью различных показательных маркеров [7]. Печень в силу своих функциональных особенностей, быстрее других органов реагирует на изменение условий внешней среды и действие токсических агентов. Оценивая ряд биохимических показателей гепатоцитов, в частности уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ), можно судить о степени адаптационных или патологических изменений в печени. Высокое содержание вторичного продукта ПОЛ – малонового диальдегида (МДА), свидетельствует о сниженной активности антиоксидантной защиты в гепатоцитах, и как следствие, повышении вероятности развития в клетках патологических процессов.

МДА образовывается в процессе свободно-радикального окисления полиненасыщенных жирных кислот, которые содержаться в фосфолипидах клеточных мембран, происходит это под воздействием активных форм кислорода (АФК). При этом малоновый диальдегид является высокотоксическим соединением, вызывающим полимеризацию белков, разрушение ДНК, модификацию липидного слоя клеточных мембран [9]. Процессы перекисного окисления липидов являются общебиологическими и играют ключевую роль в метаболизме, приводя к повышению проницаемости клеточных мембран и, в итоге, к цитолизу. Накопление продуктов ПОЛ замедляет клеточное деление, вызывает сужение сосудов и ухудшает кровоснабжение тканей. Супероксид и другие активные формы кислорода, присутствующие в нормально работающих клетках, выполняют функции посредников, участвуют в сигнальной трансдукции и помогают поддерживать окислительно-восстановительный баланс клеток и уровень ионов кальция. Однако их избыток приводит к окислительной модификации белков, активации процессов ПОЛ в мембранах, инактивации ферментов и повреждению ДНК [11].

Метод учета микроядер в клетках крови для оценки нестабильности генома является наиболее чувствительным [8]. Так в работах таких авторов, как Крюков В. И., Кочкарёв П. В. приводятся результаты исследования частоты микроядер в клетках крови 9 видов рыб из пресных водоёмов полуострова Таймыр (0-0,15%) [5]. Другими авторами приводятся данные о встречаемости эритроцитов с микроядрами и с повреждениями ДНК, выявляемыми методом ДНК-комет, у леща *Abramis brama* и серебряного карася *Carassius gibelio* дельты р. Волга в сентябре 2021 г. В результатах

данного исследования авторы не отмечают повышенной частоты встречаемости клеток с микроядрами [3].

В литературных источниках имеется достаточно много информации по частоте встречаемости эритроцитов с микроядрами. В работе Крюкова В. И. анализ частот клеток с микроядрами по местам вылова рыб (независимо от их видовой принадлежности) показал, что минимальные частоты клеток с микроядрами обнаружены у рыб из Енисея в районе посёлка Ананьи-но (0,04%). Несколько выше были частоты аберрантных клеток в крови рыб из озера Кета и Ла-даннах (0,05 и 0,06, соответственно). Максимальная частота (0,10%) аномальных клеток обнаружена у рыб, отловленных в Енисее у посёлка Потапово. Более чем двукратные различия в частотах микроядер у рыб, отловленных в Енисее на участках, разделённых всего 170-200 километрами, автор объясняет разным видовым составом выборок [5].

Согласно литературным данным все большую роль в образовании микроядер отводят эпигенетическим процессам. Вероятно, что гипометилирование ДНК в центромерной области может модифицировать платформу для правильной ориентации кинетохор и прикрепления к веретену, что приводит к неправильной сегрегации хромосом и образованию микроядер. Такая гипотеза в основном подтверждается проводимыми экспериментами с участием активаторов/ингибиторов метилирования ДНК, которые влияют на образование микроядер. Например, обработка фибробластов человека *S*-аденозилметионином (SAM) снижает частоту микроядер, вызываемого арсенитом натрия [15]. Генотоксичность мышьяка характеризуется образованием свободных радикалов, изменениями в паттернах метилирования ДНК, ингибированием репарации ДНК и образованием микроядер. Следует заметить, что в этом исследовании SAM снизил уровень микроядер, индуцированных мышьяком [15]. Эти литературные данные позволяют судить об эпигенетических механизмах образования микроядер. Таким образом, образование микроядер индуцируется эпигенетически, главным образом, за счет потери метилирования ДНК. В частности, гипометилирование гетерохроматина в перицентрических областях связано с деконденсацией хроматина, что приводит к неправильному разделению хромосом и обособлению микроядер; тогда как глобальное гипометилирование связано с несвязанным хроматином, повышенной экспрессией генов, повышенным повреждением ДНК и разрывами хромосом, вследствие чего образуются микроядра из ацентрических фрагментов хромосом [15].

Цель исследования – оценить уровень цитогенетических показателей и маркёра оксидативного стресса у бычка-песочника (*N. fluviatilis*), обитающего в местах ликвидированных поисково-оценочных скважин ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в мелководной части Северного Каспия, в рамках программы производственного экологического контроля и мониторинга.

Материалы и методы исследования

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательской работы «Проведение физиологических исследований гидробионтов в районах поисково-оценочного бурения на ЛУ ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» в 2022-2023 гг.»» на базе лаборатории «Биомедицины, физиологии и генетики» Астраханского государственного университета имени В.Н. Татищева. Материал для исследования был собран в ходе экспедиционных выездов на мелководную часть Северного Каспия (табл.1), доставлен в лабораторию в замороженном виде.

Таблица 1.

Точки отбора проб в мелководной части Северного Каспия

	Координаты	
Полигон	Широта	Долгота
2	44,90830	48,94943
4	44,91783	48,96457
5	44,92013	48,96760
6	44,92322	48,97230
7	44,91952	48,95890
8	44,92283	48,95862
9	44,92723	48,95862
10	44,92910	48,99507
11	44,90547	48,95892
12	44,90800	48,95850
13	44,90098	48,95862
14	44,89780	48,99241
15	44,89777	48,92926
16	44,92896	48,93570

Интенсивность перекисного окисления липидов в гепатоцитах определяли по уровню накопления вторичных продуктов. Концентрацию МДА оценивали спектрофотометрическим методом, основанном на образова-

нии окрашенного комплекса МДА с тиобарбитуровой кислотой при нагревании [10].

Исследование проведено на 308 экземплярах рыб. Цитогенетические нарушения исследовали в эритроцитах периферической крови микроядерным тестом (OECD Test №474, 2016). Каплю крови наносили на чистое сухое предметное стекло и покровным стеклом готовили мазок. Препараты высушивали на воздухе в течение нескольких часов. Свежие высушенные мазки фиксировали 90% этиловым спиртом. Сухие препараты окрашивали красителем Гемокрафикс. Для исследования уровня эритроцитов с микроядрами осматривали по 1-2 препарата от каждого образца. В каждом случае анализировали 10000 эритроцитов. Число эритроцитов с микроядрами выражали в %. За микроядра принимали хроматиновое тело округлой или овальной формы с гладким непрерывным краем, размером не более 1/3 ядра, лежащее четко отдельно от ядра, не преломляющее свет, имеющее интенсивность окрашивания и рисунок хроматина, как у основного ядра, и находящееся в одной плоскости с ядром.

Результаты обработаны статистически с помощью программ «Microsoft Office Excel 2007» и «Statistica 10», достоверность оценивали по критерию Стьюдента. При статистической обработке данных вычисляли средние значения и их ошибку. Достоверность различий оценивали при $p \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

О степени окислительного стресса судили по накоплению (МДА), который является цитотоксическим продуктом перекисного окисления липидов и индикатором последующего повреждения тканей. Среднее значение накопления МДА в печени бычков по всем полигонам в 2023 году снизилось относительно 2022 г. В 2023 г. не было отмечено сверх высоких показателей МДА в печени рыб. В то время как на полигоне 3 в 2022 г. средний показатель содержания вторичного продукта ПОЛ превышал 110,0 нмоль. На полигонах 10 и 13 показатель МДА был на одном уровне в 2022 г. и составлял 71,73 и 71,44 нмоль соответственно. Низкие значения этого продукта отмечены на полигонах 4 и 15 в 2022 г. В 2023 г. уровень МДА превышал условную физиологическую норму (60 нмоль) на четырёх полигонах. На полигоне 1 зафиксирован самый низкий уровень МДА – 7,27 нмоль.

На рисунке 1 представлена диаграмма накопления МДА в печени и микроядер в эритроцитах периферической крови рыб за годы исследования, а с помощью регрессионного анализа построена трендовая модель с коэффициентом аппроксимации R^2=0,6797 в 2022 г. и R^2=0,6232 в 2023 г.

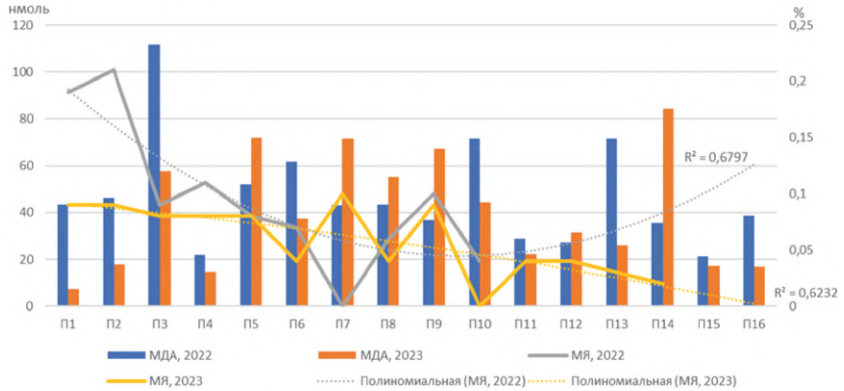


Рис. 1. Изменения накопления МДА в печени и МЯ в эритроцитах бычковых рыб Северного Каспия

Доля эритроцитов с микроядрами у бычка-песочника (*N. fluviatilis)*, обитающего в Северном Каспии, несколько превышала значения, указанные в литературных данных, согласно которым в норме частота встречаемости клеток с микроядрами при спонтанном мутагенезе равна 0,5-1‰ и составила 1,2±0,21‰. Данные показатели свидетельствует о начальных развивающихся патологических процессов в кроветворных клетках рыб.

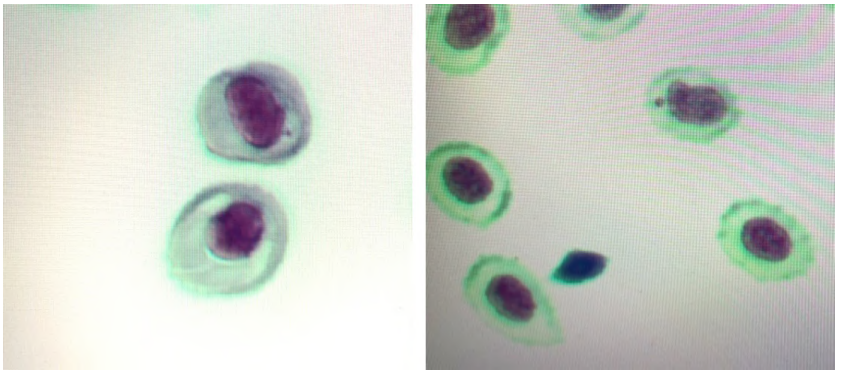


Рис. 2. Эритроциты с микроядрами в периферической крови бычков, ув.×1000

Обнаруженные цитогенетические нарушения указывают на дестабилизацию генома проанализированных рыб. Нестабильность может возникать из-за увеличенной генерации эндомутагенов, что приводит к поврежде-

нию метаболических процессов и, как следствие, к росту числа клеток с цитогенетическими изменениями.

Неспецифические биомаркеры не указывают на конкретную причину эффекта, но отражают общий, комплексный характер комбинированного воздействия. К такому типу биомаркеров относят показатель, указывающий на развитие в клетке состояния окислительного стресса: продукты перекисного окисления липидов ПОЛ (малоновый диальдегид). В свою очередь уровень клеток крови с микроядрами может быть удобным биомаркером ранних эффектов генотоксических веществ. Наши исследования подтверждают, что уровень клеток с цитогенетическими нарушениями у гидробионтов зависит от активности образования продуктов перекисного окисления липидов - малонового диальдегида.

Результаты биохимического и цитогенетического исследований показывают, что у изученных рыб наблюдаются два одновременно протекающих патологических процесса. С одной стороны, отмечается увеличение интенсивности свободнорадикального окисления, а с другой - нестабильность генома с повышенным количеством цитогенетических перестроек. Это указывает на то, что дестабилизация генома происходит на фоне активизации свободнорадикальных процессов, и при уровне МДА выше 65 нмоль значительно усиливается мутагенное воздействие свободных радикалов на геном, что ведет к росту спонтанного мутагенеза - 0,21%.

Таким образом, по уровню накопления вторичного продукта ПОЛ можно судить о выраженности окислительного стресса как фактора, дестабилизирующего геном.

Список литературы

1. Гераськин, С. А., & Сарапульцева, Е. И. (Ред.). (2010). *Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг* (208 с.). Издательский центр «Академия».
2. Мирошниченко, И. К., Семёнова, П. В., Прибыткова, Е. В., & Терентьев, К. Ю. (2023). Биохимические процессы в тканях гидробионтов как маркеры окислительного стресса при биомониторинге антропогенного воздействия на водные экосистемы. *Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки*, (4). https://doi.org/10.37614/2949-1215.2023.14.4.033. EDN: https://elibrary.ru/TLRZZD
3. Конькова, А. В., Файзулина, Д. Р., Ширина, Ю. М., Богатов, И. А., Астафьева, С. С., & Жукова, К. А. (2023). Гематологические и генотоксические показатели леща *Abramis brama* и серебряного карася *Carassius*

gibelio (Cyprinidae) дельты реки Волга. *Вопросы ихтиологии*, *63*(2), 218–225. https://doi.org/10.31857/S0042875223020121. EDN: https://elibrary.ru/EZHCKZ

4. Иванова, Т. И., Фесенко, Э. В., Дзиковская, Л. А., Дегтярёва, Е. С., Мкртчян, Л. С., Овсянникова, Н. С., Хорохорина, В. А., & Крикунова, Л. И. (2018). Исследование аберраций хромосом и маркёров оксидативного стресса (малоновый диальдегид, общая антиоксидантная активность плазмы) у жительниц загрязнённых после аварии на ЧАЭС территорий. *Радиация и риск (Бюллетень НРЭР)*, (2), 46–61. https://doi.org/10.21870/0131-3878-2018-27-2-46-61. EDN: https://elibrary.ru/XRBFAL
5. Крюков, В. И. (2013). Частота микроядер в клетках крови рыб пресных водоёмов полуострова Таймыр. *Образование, наука и производство*, (1–2). EDN: https://elibrary.ru/QCKEDJ
6. Кузина, Т. В. (2018). Анализ взаимосвязи цитогенетического гомеостаза и оксидативного стресса в организме бычковых рыб Северного Каспия. *Юг России: экология, развитие*, *13*(2), 64–72. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-64-72. EDN: https://elibrary.ru/XUTKEH
7. Ильинских, Н. Н., Ильинских, И. Н., Новицкий, В. В., & Ванчугова, Н. Н. (1992). *Микроядерный анализ и цитогенетическая нестабильность* (272 с.). Изд-во Томского ун-та. EDN: https://elibrary.ru/QNLOLJ
8. Мороз, В. В. (2005). Проблемы структурной и функциональной геномики при критических состояниях. *Общая реаниматология*, (4). EDN: https://elibrary.ru/IFAHSB
9. Соколова, А. С. (2020). Возрастные изменения уровня малонового диальдегида в тканях двустворчатого моллюска *Anodonta cygnea* (L., 1758). *Биология внутренних вод*, (1), 97–101. https://doi.org/10.31857/S0320965220010167. EDN: https://elibrary.ru/XEDLBE
10. Строев, Е. А., & Макарова, В. Г. (1986). *Практикум по биологической химии* (с. 211–214). Высшая школа. EDN: https://elibrary.ru/WBNBEN
11. Чернышова, Е. Н. (2013). Процессы перекисного окисления липидов и преждевременное старение при метаболическом синдроме. *Кубанский научный медицинский вестник*, *1*(136), 181–184. EDN: https://elibrary.ru/QCCQMV
12. Abdel-Khalek, A. A. (2015). Antioxidant responses and nuclear deformations in freshwater fish, *Oreochromis niloticus*, facing degraded environmental conditions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *94*, 701–708. https://doi.org/10.1007/s00128-015-1509-5. EDN: https://elibrary.ru/FPUIAA
13. D'Agostini, F. (2021). Micronuclei in fish erythrocytes as genotoxic biomarkers of water pollution: an overview. *Reviews of Environmental Contamination*

and Toxicology, 195–240. https://doi.org/10.1007/398_2021_76. EDN: https://elibrary.ru/JRHTHB

14. Harabawy, A. S. (2014). The role of vitamins A, C, E and selenium as antioxidants against genotoxicity and cytotoxicity of cadmium, copper, lead and zinc on erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *104*, 28–35. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.02.015. EDN: https://elibrary.ru/YFBANV
15. Luzhna, L. (2013). Micronuclei in genotoxicity assessment: from genetics to epigenetics and beyond. *Frontiers in Genetics, Section: Epigenomics and Epigenetics*, (4). https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00131. EDN: https://elibrary.ru/RPHDPR
16. Кузина, Т. В., & Кузин, А. В. (2020). Использование маркера оксидативного стресса (МДА) и цитогенетического маркера в системе эколого-генетического мониторинга Северного Каспия. *Юг России: экология, развитие*, *15*(1), 99–106. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-99-106. EDN: https://elibrary.ru/DJYJLS
17. OECD. (2016). *OECD Test No. 474: Mammalian Erythrocyte Micronucleus Test*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing.
18. Obiakor, M. O., Okonkwo, J. C., Nnabude, P. C., & Ezeonyejiaku, C. D. (2012). Eco genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ aquatic pollution biomarker: a review. *Journal of Animal Science Advances*, *2*(1), 123–133.

References

1. Geraskin, S. A., & Sarapultseva, E. I. (Eds.). (2010). *Biological monitoring of the environment: genetic monitoring*. 208 p. Publishing Center “Academy”
2. Miroshnichenko, I. K., Semenova, P. V., Pribytkova, E. V., & Terentiev, K. Yu. (2023). Biochemical processes in tissues of aquatic organisms as markers of oxidative stress in biomonitoring of anthropogenic impact on aquatic ecosystems. *Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Technical Sciences*, *(4)*. https://doi.org/10.37614/2949-1215.2023.14.4.033. EDN: https://elibrary.ru/TLRZZD
3. Konkova, A. V., Fayzulina, D. R., Shirina, Yu. M., Bogatov, I. A., Astafyeva, S. S., & Zhukova, K. A. (2023). Hematological and genotoxic parameters of bream *Abramis brama* and Prussian carp *Carassius gibelio* (Cyprinidae) in the Volga River delta. *Journal of Ichthyology*, *63*(2), 218–225. https://doi.org/10.31857/S0042875223020121. EDN: https://elibrary.ru/EZHCKZ
4. Ivanova, T. I., Fesenko, E. V., Dzikovskaya, L. A., Degtyareva, E. S., Mkrtchyan, L. S., Ovsyannikova, N. S., Khorokhorina, V. A., & Krikunova, L. I. (2018).

Study of chromosome aberrations and oxidative stress markers (malondialdehyde, total antioxidant activity of plasma) in residents of territories contaminated after the Chernobyl accident. *Radiation and Risk (Bulletin of the NRER)*, *(2)*, 46–61. https://doi.org/10.21870/0131-3878-2018-27-2-46-61. EDN: https://elibrary.ru/XRBFAL

5. Kryukov, V. I. (2013). Frequency of micronuclei in blood cells of fish from freshwater bodies of the Taimyr Peninsula. *Education, Science and Production*, *(1–2)*. EDN: https://elibrary.ru/QCKEDJ
6. Kuzina, T. V. (2018). Analysis of the relationship between cytogenetic homeostasis and oxidative stress in gobiid fish of the Northern Caspian. *South of Russia: Ecology, Development*, *13*(2), 64–72. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2018-2-64-72. EDN: https://elibrary.ru/XUTKEH
7. Ilyinskikh, N. N., Ilyinskikh, I. N., Novitsky, V. V., & Vanchugova, N. N. (1992). *Micronucleus analysis and cytogenetic instability*. 272 p. Tomsk University Press. EDN: https://elibrary.ru/QNLOLJ
8. Moroz, V. V. (2005). Problems of structural and functional genomics in critical conditions. *General Resuscitation*, *(4)*. EDN: https://elibrary.ru/IFAHSB
9. Sokolova, A. S. (2020). Age-related changes in malondialdehyde levels in tissues of the bivalve mollusk *Anodonta cygnea* (L., 1758). *Inland Water Biology*, *(1)*, 97–101. https://doi.org/10.31857/S0320965220010167. EDN: https://elibrary.ru/XEDLBE
10. Stroev, E. A., & Makarova, V. G. (1986). *Practical course in biological chemistry* (pp. 211–214). Vysshaya Shkola. EDN: https://elibrary.ru/WBNBEN
11. Chernyshova, E. N. (2013). Lipid peroxidation processes and premature aging in metabolic syndrome. *Kuban Scientific Medical Bulletin*, *1*(136), 181–184. EDN: https://elibrary.ru/QCCQMV
12. Abdel Khalek, A. A. (2015). Antioxidant responses and nuclear deformations in freshwater fish, *Oreochromis niloticus*, facing degraded environmental conditions. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *94*, 701–708. https://doi.org/10.1007/s00128-015-1509-5. EDN: https://elibrary.ru/FPUIAA
13. D'Agostini, F. (2021). Micronuclei in fish erythrocytes as genotoxic biomarkers of water pollution: an overview. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 195–240. https://doi.org/10.1007/398_2021_76. EDN: https://elibrary.ru/JRHTHB
14. Harabawy, A. S. (2014). The role of vitamins A, C, E and selenium as antioxidants against genotoxicity and cytotoxicity of cadmium, copper, lead and zinc on erythrocytes of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *104*, 28–35. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.02.015. EDN: https://elibrary.ru/YFBANV

15. Luzhna, L. (2013). Micronuclei in genotoxicity assessment: from genetics to epigenetics and beyond. *Frontiers in Genetics, Section: Epigenomics and Epigenetics*, *(4)*. https://doi.org/10.3389/fgene.2013.00131. EDN: https://elibrary.ru/RPHDPR
16. Kuzina, T. V., & Kuzin, A. V. (2020). Use of an oxidative stress marker (MDA) and a cytogenetic marker in the system of ecological and genetic monitoring of the Northern Caspian. *South of Russia: Ecology, Development*, *15*(1), 99–106. https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-99-106. EDN: https://elibrary.ru/DJYJLS
17. OECD. (2016). *OECD Test No. 474: Mammalian erythrocyte micronucleus test*. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing
18. Obiakor, M. O., Okonkwo, J. C., Nnabude, P. C., & Ezeonyejiaku, C. D. (2012). Eco-genotoxicology: micronucleus assay in fish erythrocytes as in situ aquatic pollution biomarker: a review. *Journal of Animal Science Advances*, *2*(1), 123–133

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кузина Татьяна Вячеславовна, доцент, кандидат биологических наук
Астраханский государственный университет имени В.Н. Татищева
ул. Татищева, 20а, г. Астрахань, 414056, Российская Федерация
tatuls@mail.ru

Кузин Алексей Владимирович, ведущий специалист, кандидат географических наук
ПАО «ЛУКОЙЛ»
Сретенский бульвар, 11, г. Москва, 101000, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatiana V. Kuzina, Associate Professor, Candidate of Biological Sciences.
Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev
20a, Tatishcheva Str., Astrakhan, 414056, Russian Federation
tatuls@mail.ru

Alexey V. Kuzin, Leading Specialist, Candidate of Geographical Sciences
PJSC LUKOIL
11, Sretensky Boul., Moscow, 101000, Russian Federation

Поступила 10.05.2025 Received 10.05.2025
После рецензирования 02.07.2025 Revised 02.07.2025
Принята 24.07.2025 Accepted 24.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1342 **EDN: NTPIAB**
УДК 663.18:615.038:579.67

CC BY NC ND

Научная статья

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА В ТЕРАПИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ САЛЬМОНЕЛЛЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВКИ И РЕЖИМА ВВЕДЕНИЯ НА МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

П.А. Вьюшинский, А.И. Лаишевцев, В.А. Савинов, А.В. Супова, П.Н. Шастин, А.В. Хабарова, Е.Г. Ежова

Аннотация

Обоснование. Сальмонеллез остается одной из наиболее распространенных кишечных инфекций, представляющих серьезную угрозу как для животных, так и для человека. В условиях роста антибиотикорезистентности актуальным становится поиск альтернативных методов лечения. Пробиотики на основе штаммов *Lactobacillus* демонстрируют перспективность применения благодаря их способности подавлять рост патогенов, укреплять кишечный барьер и модулировать иммунный ответ.

Материалы и методы. Исследование проводилось на 168 инбредных мышах линии C57BL/6 (84 самца и 84 самки). Модель сальмонеллезной инфекции воспроизводили пероральным заражением *Salmonella enterica ser. typhimurium*. Животные получали многокомпонентный пробиотик (12 штаммов *Lactobacillus*) в трех дозах (1, 2, 3 терапевтические дозы) курсами 1, 7 и 14 дней. Оценивали клинические показатели (масса тела, потребление корма), гематологические и биохимические параметры, а также динамику выделения патогена с фекалиями.

Результаты. Курсовое применение пробиотика (7 и 14 дней) привело к достоверному увеличению массы тела (в среднем на 15–22% по сравнению с плацебо) и нормализации потребления корма. Гематологический анализ выявил снижение лейкоцитоза и нормализацию уровня гемоглобина, особенно выраженные при 14-дневном курсе. Биохимические показатели, включая ак-

тивность печеночных ферментов (АЛТ, АСТ) и уровень альбумина, также приближались к физиологической норме. Наибольшая эффективность отмечена при двухнедельном курсе.

Заключение. Полученные данные подтверждают, что пробиотическая терапия может быть перспективным направлением в лечении сальмонеллеза, особенно в условиях роста антибиотикорезистентности. Разработанный препарат может стать альтернативой антибиотикам при легких и среднетяжелых формах болезни, минимизируя риск дисбиоза. Однако для внедрения в клиническую практику требуется проведение дополнительных доклинических исследований для подтверждения его эффективности и безопасности.

Ключевые слова: пробиотики; *Lactobacillus*; сальмонеллез; терапия; лабораторные мыши

Для цитирования. Вьюшинский, П. А., Лаишевцев, А. И., Савинов, В. А., Супова, А. В., Шастин, П. Н., Хабарова, А. В., & Ежова, Е. Г. (2025). Эффективность пробиотического препарата в терапии экспериментальной сальмонеллезной инфекции: оптимизация дозировки и режима введения на модели лабораторных животных. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 230-253. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1342

Original article

EFFICACY OF A PROBIOTIC PREPARATION IN THE TREATMENT OF EXPERIMENTAL SALMONELLA INFECTION: OPTIMIZATION OF DOSAGE AND ADMINISTRATION REGIMEN IN A LABORATORY ANIMAL MODEL

P.A. Vyushinsky, A.I. Laishevtsev, V.A. Savinov, A.V. Supova, P.N. Shastin, A.V. Khabarova, E.G. Ezhova

Abstract

Background. Salmonellosis remains one of the most common intestinal infections posing a serious threat to both animals and humans. With the growing antibiotic resistance, the search for alternative treatment methods becomes increasingly relevant. Probiotics based on Lactobacillus strains show promising potential due to their ability to suppress pathogen growth, strengthen the intestinal barrier, and modulate immune response.

Materials and methods. The study was conducted on 168 inbred C57BL/6 mice (84 males and 84 females). A salmonellosis infection model was reproduced through oral inoculation with *Salmonella enterica ser. typhimurium*. Animals received a multi-strain probiotic (11 Lactobacillus strains) in three doses (1, 2, 3 therapeutic doses) administered in 1-, 7-, and 14-day courses. Clinical parameters (body weight, food intake), hematological and biochemical markers, as well as pathogen shedding dynamics in feces were evaluated.

Results. Course administration of the probiotic (7 and 14 days) resulted in significant body weight gain (average 15-22% compared to placebo) and normalization of food intake. Hematological analysis revealed reduced leukocytosis and normalized hemoglobin levels, particularly pronounced in the 14-day course. Biochemical parameters, including liver enzyme activity (ALT, AST) and albumin levels, also approached physiological norms. The greatest efficacy was observed with the two-week course.

Conclusion. The obtained data confirm that probiotic therapy could be a promising approach for salmonellosis treatment, especially in the context of increasing antibiotic resistance. The developed preparation may serve as an alternative to antibiotics for mild and moderate disease forms while minimizing dysbiosis risk. However, additional preclinical studies are required to confirm its effectiveness and safety in order to be introduced into clinical practice.

Keywords: probiotics; *Lactobacillus*; salmonellosis; therapy; laboratory mice

For citation. Vyushinsky, P. A., Laishevtsev, A. I., Savinov, V. A., Supova, A. V., Shastin, P. N., Khabarova, A. V., & Ezhova, E. G. (2025). Efficacy of a probiotic preparation in the treatment of experimental Salmonella infection: Optimization of dosage and administration regimen in a laboratory animal model. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 230-253. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1342

Введение

Сальмонеллез, вызываемый бактериями рода *Salmonella*, остается одной из наиболее распространенных кишечных инфекций как у человека, так и у животных [18-21]. Это заболевание характеризуется выраженными воспалительными процессами в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), а в тяжелых случаях может приводить к системным осложнениям. Особую опасность инфекция представляет для уязвимых групп населения с ослабленным иммунитетом [16].

Современная терапия сальмонеллеза сталкивается с серьезными вызовами. Широкое применение антибактериальных препаратов привело к

появлению устойчивых штаммов возбудителя, что значительно осложняет терапию [4; 10; 11]. Кроме того, антибиотики часто вызывают дисбаланс кишечной микробиоты, который может усугублять течение заболевания и способствовать развитию осложнений [7; 15]. В этих условиях возрастает интерес к альтернативным методам лечения, в частности к применению пробиотических препаратов.

Пробиотические штаммы *Lactobacillus* оказывают комплексное защитное действие через несколько механизмов. Во-первых, они напрямую подавляют рост различных микроорганизмов, в том числе сальмонелл, продуцируя бактериоцины (лактоцины, плантарицины) [12-14], органические кислоты (молочную, уксусную) [1; 6] и конкурируя за рецепторы адгезии [5]. Во-вторых, они укрепляют кишечный барьер, стимулируя синтез муцинов (MUC2, MUC3) [8] и регулируя белки плотных контактов (окклюдин, клаудины) [2]. В-третьих, лактобациллы модулируют иммунный ответ, индуцируя противовоспалительные цитокины (IL-10, TGF-β), подавляя провоспалительные (TNF-α, IL-6, IL-8) и активируя IgA-секретирующие клетки [9].

Особый интерес представляет использование комплексных пробиотических препаратов, содержащих несколько штаммов лактобацилл с различными механизмами действия. Такие композиции могут обладать синергетическим эффектом, обеспечивая более выраженную защиту по сравнению с монопрепаратами. Однако для их эффективного применения необходимо решить ряд важных вопросов, связанных с определением оптимальных доз, режимов введения и сроков назначения.

Целью исследования было изучение терапевтической эффективности многокомпонентного пробиотического препарата на основе штаммов *Lactobacillus* при экспериментальной сальмонеллезной инфекции у лабораторных животных. В работе оценивали влияние различных доз и схем введения пробиотика на клинические проявления инфекции, гематологические и микробиологические показатели. Полученные результаты представляют значительный интерес для разработки новых подходов к профилактике и лечению сальмонеллезной инфекции с использованием пробиотиков.

Материалы и методы

Назначением настоящей работы являлось доклиническое изучение эффективности пробиотического препарата. Данный этап входит в обязательную программу доклинических испытаний, необходимых для последующего проведения клинических тестов и регистрации лекарственного

средства. Обоснование методологии и дизайна эксперимента определяется руководствами: «Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая» (2012) под ред. А.Н. Миронова; «Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть вторая» (2012) под ред. А.Н. Миронова.

Доклинические исследования проводились на базе ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН (решение биоэтического комитета №2572/22 от 30.11.2021).

Состав препарата. В составе одной терапевтической дозы готовой лекарственной формы содержался лиофилизат пробиотических культур *Lactobacillus johnsonii* B-13941, *Lactobacillus plantarum* B-12781, *Lactobacillus reuteri* B-13940, *Lactobacillus paracasei* B-14409, *Lactobacillus acidophilus* B-1039, *Lactobacillus rhamnosus* B-14412, *Lactobacillus parabuchneri* B-14410, *Lactobacillus fermentum* B-14414, *Lactobacillus casei subsp. casei* B-1041, *Lactobacillus buchneri* B-14411, *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* B-14408, *Lactobacillus helveticus* B-14407 – по $1x10^8$-$5x10^8$ КОЕ, общим количеством не менее $4,5*10^9$ КОЕ. Все используемые штаммы были подготовлены на производственной базе ООО «Зелёные линии» (г. Красногорск). Обоснование выбора данных микроорганизмов приведено в предыдущей работе коллектива [3].

В качестве вспомогательных веществ использовали олигофруктозу «FOS 80P Prebiose» (порошок), диоксид кремния Sipernat 2200, целлюлозу микрокристалическую (Е460).

Животные. В исследовании использовали инбредных мышей линии C57BL/6 (по 84 самца и 84 самки). Распределение по группам указано в таблице 1.

Дизайн опыта. Животным предварительно формировали сальмонеллезную инфекцию в острой форме. Для этого мышам однократно внутрижелудочно вводили по 20 мг стрептомицина, необходимого для нарушения нормальной резидентной бактериальной флоры кишечного тракта животных. Спустя 24 часа производилось пероральное инфицирование животных патогенным штаммом *Salmonella enterica ser. typhimurium* B-1258 в дозе 10^6-10^8 КОЕ/мл в количестве 0,5 мл [17].

После развития типичного клинико-морфологического проявления патологии, животных подвергали лечению испытуемым средством различными курсами применения (по 1, 2 и 3 терапевтических дозы (ТД) в течение 1, 7 и 14 дней) (таблица 1). Спустя 3 дня после курса применения препарата, животные соответствующих групп подвергались эвтаназии после предварительного получения от них необходимых образцов биологи-

ческого материала (крови, сыворотки крови, мочи). Препаратом сравнения выступал плацебо (физиологический раствор).

Таблица 1.

Принцип реализации исследования по изучению эффективности пробиотического препарата для терапии сальмонеллезной инфекции у лабораторных животных

Препарат/ количество доз	Количество доз / кратность	Группа животных (номера животных)	
		Эвтаназия на 1-й день	
		Самцы	Самцы
Фоновый контроль здоровые	-	Группа 1 (1-6)	Группа 2 (85-90)
Фоновый контроль с патологией	-	Группа 3 (7-12)	Группа 4 (91-96)
Препарат	Количество доз / кратность	Эвтаназия на 4-й день	
		Самцы	Самцы
Плацебо	1 доза однократно	Группа 5 (13-18)	Группа 6 (97-102)
1 ТД	1 доза однократно	Группа 7 (19-24)	Группа 8 (103-108)
2 ТД	2 дозы однократно	Группа 9 (25-30)	Группа 10 (109-114)
3 ТД	3 дозы однократно	Группа 11 (31-36)	Группа 12 (115-120)
Препарат	Количество доз / кратность	Эвтаназия на 10-й день	
		Самцы	Самцы
Плацебо	1 доза курсом 7 дней	Группа 13 (37-42)	Группа 14 (121-126)
1 ТД	1 доза курсом 7 дней	Группа 15 (43-48)	Группа 16 (127-132)
2 ТД	2 дозы курсом 7 дней	Группа 17 (49-54)	Группа 18 (133-138)
3 ТД	3 дозы курсом 7 дней	Группа 19 (55-60)	Группа 20 (139-144)
Препарат	Количество доз / кратность	Эвтаназия на 17-й день	
		Самцы	Самцы
Плацебо	1 доза курсом 14 дней	Группа 21 (61-66)	Группа 22 (145-150)
1 ТД	1 доза курсом 14 дней	Группа 23 (67-72)	Группа 24 (151-156)
2 ТД	2 доза курсом 14 дней	Группа 25 (73-78)	Группа 26 (157-162)
3 ТД	3 доза курсом 14 дней	Группа 27 (79-84)	Группа 28 (163-168)

Ввиду невозможности перорального введения испытуемого препарата в виде капсулы, животным водилось содержимое капсул, предварительно разведенное в стерильном физиологическом растворе в объеме 0,5 $см^3$. Животным группы плацебо вводился стерильный физиологический раствор в аналогичном объеме - 0,5 $см^3$. Выпойка испытуемого препарата проводилась один раз в день.

Масса тела регистрировалась перед введением препаратов на 1 день, а также в день эвтаназии на 4, 10 и 17 день соответственно.

С целью подтверждения воспроизводимости инфекционной модели от животных на 4, 10 и 17 день эксперимента были получены и подвергнуты бактериологическому исследованию образцы фекалий и кишечников с целью выявления в них ранее введенной культуры патогенного микроорганизма.

Ежедневный учет потребления корма проводили для всех особей в пределах одной клетки содержания на протяжении всего исследования.

Взятие крови для проведения гематологического и биохимического анализов осуществлялось тотально из нижней полой вены после наркотизации животного эфиром на 4, 10 и 17-ый день исследования соответственно непосредственно перед некропсией. Гематологический анализ крови проводился в день взятия проб крови на гематологическом анализаторе по следующим параметрам: гематокрит, гемоглобин, эритроциты, средний объем эритроцита, СОЭ, лейкоциты, лейкоцитарная формула.

В сыворотке крови были определены нижеперечисленные параметры с помощью биохимического анализатора с использованием соответствующих для каждого параметра наборов реагентов: билирубин общий, билирубин прямой, АСТ, АЛТ, коэффициент Ритиса, мочевина, креатинин, общий белок, глобулин, альбумин, щелочная фосфатаза, альфа-амилаза, глюкоза, калий, натрий, ионизированный кальций.

Для сравнения значений показателей в группах и определения статистически значимых различий между ними использовали тест Стьюдента (t-критерий) – если p-значение <0,05, различия считаются статистически значимыми.

Результаты и их обсуждение

На фоне воспроизведения острой модели сальмонеллезной инфекции у животных наблюдалось снижение подвижности, животные становились более вялыми, формировались в группы (кучковались в углу клетки). У большинства животных уже в 1 - 2 день после заражения развивалась сильная диарея с неприятным запахом. Шерсть приобретала неестественно грязный цвет, теряла блеск и становилась взъерошенной. При наружном осмотре у большинства инфицированных животных наблюдалось воспаление глаз, в том числе с нагноением. На фоне развития диареи развивалось обезвоживание и истощение (по массе зараженные животные были меньше, чем здоровые).

Результаты оценки массы тела представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты оценки влияния испытуемого препарата на массу тела инбредных мышей C57BL/6 при терапии сальмонеллезной инфекции

День / Группа	1 день	4 день	10 день	17 день
	Ср. знач., г	Ср. знач., г	Ср. знач., г	Ср. знач., г
Фон. контроль здоровых Группа 1 male	19,45±0,87	-	-	-
Фоновый контроль зараженных Группа 3 male	19,47±0,67	-	-	-
Плацебо Группа 5 male однократно	18,82±0,25	19,98±0,87	-	-
Группа 7 male 1 ТД однократно	18,92±0,38	20,08±0,33	-	-
Группа 9 male 2 ТД однократно	18,82±0,47	20,44±0,59	-	-
Группа 11 male 3 ТД однократно	18,95±0,30	19,58±0,26	-	-
Плацебо Группа 13 male 7 дней	18,88±0,23	-	21,40±0,26	-
Группа 15 male 1 ТД 7 дней	18,95±0,51	-	22,67±0,38	-
Группа 17 male 2 ТД 7 дней	18,85±0,30	-	22,82±0,55	-
Группа 19 male 3 ТД 7 дней	18,72±0,29	-	22,75±0,29	-
Плацебо Группа 21 male 14 дней	18,90±0,47	-	-	24,05±0,21
Группа 23 male 1 ТД 14 дней	19,17±0,44	-	-	24,67±0,27
Группа 25 male 2 ТД 14 дней	18,83±0,44	-	-	24,63±0,25
Группа 27 male 3 ТД 14 дней	18,82±0,41	-	-	24,68±0,50
Фоновый контроль здоровых Группа 2 female	19,02±0,59	-	-	-
Фоновый контроль зараженных Группа 4 female	18,93±0,31	-	-	-
Плацебо Группа 6 female однократно	18,90±0,31	20,78±0,50	-	-
Группа 8 female 1 ТД однократно	18,82±0,33	20,60±0,37	-	-
Группа 10 female 2 ТД однократно	18,72±0,35	20,36±0,71	-	-
Группа 12 female 3 ТД однократно	18,58±0,23	20,23±0,50	-	-
Плацебо Группа 14 female 7 дней	18,72±0,18	-	20,54±0,29	-
Группа 16 female 1 ТД 7 дней	18,67±0,23	-	22,22±0,32	-
Группа 18 female 2 ТД 7 дней	18,65±0,25	-	21,60±0,53	-
Группа 20 female 3 ТД 7 дней	18,60±0,37	-	21,67±0,84	-
Плацебо Группа 22 female 14 дней	18,73±0,32	-	-	24,15±0,52
Группа 24 female 1 ТД 14 дней	18,80±0,33	-	-	25,22±0,58
Группа 26 female 2 ТД 14 дней	18,67±0,21	-	-	25,17±0,60
Группа 28 female 3 ТД 14 дней	18,78±0,21	-	-	25,13±0,62

*male – самцы
*female – самки

Исследование влияния испытуемого пробиотического препарата на массу тела инбредных мышей линии C57BL/6 при терапии желудочно-кишечной инфекции, вызванной *Salmonella typhimurium*, показало следующие результаты:

- Семидневный курс терапии: у самцов мышей в группах 15, 17 и 19, получавших 1, 2 и 3 ТД соответственно, наблюдалось значительное увеличение массы тела по сравнению с группой плацебо 13. Аналогичная тенденция была отмечена у самок в группах 16, 18 и 20, получавших те же дозы.
- Двухнедельный курс терапии: у самцов в группах 23, 25 и 27, получавших 1, 2 и 3 ТД, также зафиксирован прирост массы тела по сравнению с группой плацебо 21. Положительная динамика была выявлена и у самок в группах 24, 26 и 28.

Таким образом, достоверные различия ($p < 0,05$) наблюдались только в группах, получавших препарат в течение 7 и 14 дней, по сравнению с плацебо. В остальных случаях значимых изменений не зафиксировано. Таким образом, применение испытуемого комплекса пробиотиков в течение 7 и 14 дней способствовало увеличению массы тела у инфицированных мышей, независимо от дозировки, что свидетельствует о его положительном влиянии на динамику привесов при терапии сальмонеллезной инфекции.

С целью подтверждения приживаемости возбудителя сальмонеллезной инфекции в ЖКТ животных было проведено исследование фекалий, полученных на 1, 4, 10 и 17 дни, а также кишечников, отобранных после некропсии.

Согласно полученным результатам, уже на 1-й день после перорального заражения мышей *Salmonella typhimurium* патоген был обнаружен в фекалиях, что свидетельствует о его прохождении через ЖКТ. На 4-е сутки эксперимента было установлено, что возбудитель не только временно персистирует в организме, но и успешно колонизирует кишечник, что сопровождается активной репликацией микроорганизма и развитием типичных клинических и морфологических признаков инфекции. К 10-му и 17-му дню интенсивность выделения бактерии с фекалиями снизилась. Однако, поскольку эта тенденция наблюдалась как в опытных группах, получавших препарат, так и в группах плацебо, можно сделать вывод, что уменьшение выделения патогена связано не с действием испытуемого препарата, а с естественным течением заболевания. Это позволило предположить, что *Salmonella typhimurium* вызвала острую инфекцию, после которой у переболевших животных сформировалось фоновое бактерионосительство. Для проверки этой гипотезы были исследованы образцы кишечника, полученные после эвтаназии и некропсии. Результаты показали, что культура *Salmonella typhimurium* сохранялась в ЖКТ у большинства инфицированных животных на всех этапах эксперимента, независимо от курса приема препарата и пола мышей. Исключение составили лишь единичные особи и группы здоровых контрольных животных, у которых

патоген отсутствовал. Таким образом, исследование подтвердило, что у переболевших мышей возбудитель способен длительно персистировать в кишечнике, даже при отсутствии его выделения с фекалиями.

Результаты изучения потребления корма животными в исследовании отражены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты изучения динамики потребляемости корма мышами в эксперименте по оценке терапевтической эффективности использования комплекса пробиотиков для терапии сальмонеллезной инфекции (групповой и индивидуальной)

Группы	Кол-во животных	Суммарное потребление корма группами мышей, среднее за день, грамм	Индивидуальное потребление корма группами мышей, среднее за день, грамм
1 m	6	16,7	2,8
3 m	4	10,24	2,6
5 m	4	11,4±3,4	2,51±0,17
7 m	4	11,6±3,4	2,55±0,17
9 m	5	13,2±0,8	2,52±0,09
11 m	4	12,3±3,0	2,72±0,07
13 m	3	9,4±3,1	2,62±0,14
15 m	6	15,7±0,6	2,61±0,11
17 m	6	16,6±1,1	2,77±0,18
19 m	6	16,2±1,4	2,69±0,24
21 m	4	10,9±1,6	2,63±0,13
23 m	6	17,6±1,5	2,93±0,25
25 m	6	16,7±2,0	2,79±0,33
27 m	6	16,8±1,8	2,80±0,3
2 f	6	16,6	2,8
4 f	5	12,4	2,5
6 f	4	11,91±2,2	2,66±0,1
8 f	5	13,16±1,61	2,5±0,1
10 f	5	13,8±1,81	2,62±0,16
12 f	4	11,75±2,84	2,61±0,16
14 f	5	13,37±1,53	2,57±0,11
16 f	6	15,98±1,32	2,66±0,22
18 f	6	16,34±0,93	2,72±0,15
20 f	6	16,57±1,2	2,76±0,2
22 f	4	10,87±1,35	2,64±0,16
24 f	6	16,92±1,55	2,82±0,26
26 f	6	17,49±2,06	2,92±0,34
28 f	6	17,01±1,43	2,84±0,24

*m – самцы

*f – самки

Результаты исследования свидетельствуют о наличии дозозависимого и курсового влияния испытуемого препарата на показатели потребления корма у животных. Поскольку часть животных погибла в процессе эксперимента, для корректной оценки применяли данные индивидуального потребления корма.

Анализ данных выявил следующие закономерности:

У самцов однократное введение 3 ТД (группа 11) вызывало достоверное увеличение ($p<0,05$) потребления корма по сравнению с 1 ТД (группа 7), семидневный курс 2 ТД (группа 17) демонстрировал более выраженный эффект относительно 1 ТД (группа 15), четырнадцатидневный прием 1 ТД (группа 23) обеспечивал статистически значимое преимущество перед группой плацебо (группа 21).

У самок недельные курсы 2 и 3 ТД (группы 18 и 20 соответственно) значимо повышали показатели относительно контроля (группа 14), двухнедельное применение всех исследуемых доз (1, 2 и 3 ТД в группах 24, 26 и 28 соответственно) показывало устойчивое влияние на алиментарные показатели.

Полученные данные позволяют заключить, что оптимальный терапевтический эффект в отношении кормового поведения достигается при двухнедельном курсе применения препарата в однократной дозировке, что, вероятно, связано с кумулятивным действием активных компонентов препарата и их влиянием на трофические процессы в условиях бактериальной интоксикации.

Результаты гематологического анализа крови представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты изучения гематологических (клинических) показателей крови (средние по группе) мышей в эксперименте оценки терапевтической эффективности использования пробиотического препарата при терапии сальмонеллезной инфекции

Показатели	PCV	Hb	RBC	MCV	ESR	WBC	Bands	Neu	Mon	Bas	Lym	PLT
Нормативные значения	39,6 - 57,0	120-182	6,36 - 10,6	49,2 - 65,4	1,9-2,4	2,1 - 18,3	0 - 0,8	0,1 - 2,0	0 - 0,8	0 - 0,1	1,7 - 13,2	612 - 1509
Ед. измерения / Группы	%	г/л	$x10^{12}$/л	мкм^3(фл)	мм/ч	$x10^9$/л	$x10^9$/л	$x10^9$/л	$x10^9$/л	$x10^9$/л	$x10^9$/л	$x10^9$/л
1 m	50,9±6,0	162,6±14,3	8,4±1,1	60,7±7,9	2,2±0,1	8,0±3,6	0,52±0,2	0,8±0,6	0,4±0,1	0,03±0,05	5,9±4,1	958,5±256,1
3 m	70,2±3,7	198,2±21,8	8,6±1,5	83,5±15,5	2,4±0,2	40,5±6,9	0,3±0,1	0,6±0,6	0,5±0,2	0,07±0,05	38,8±6,8	963,1±236,9
5 m	74,5±5,3	203,5±23,2	9,2±0,4	81,2±8,5	2,5±0,2	49,5±11,7	0,48±0,3	0,6±0,5	0,6±0,1	0,05±0,06	47,4±11,9	1168,0±295,2
7 m	58,1±0,8	202,2±24,1	9,0±1,1	65,3±10,2	2,5±0,2	48,9±7,6	0,43±0,2	1,7±0,3	0,4±0,3	0,08±0,05	46,0±7,5	912,7±224,5
9 m	62,6±5,2	181,4±22,4	8,7±0,7	72,0±3,1	2,3±0,1	52,6±7,1	0,58±0,2	0,6±0,5	0,3±0,3	0,06±0,05	50,7±7,1	1287,8±288,6

11 m	60,3±5,3	191,2±14,4	8,2±1,4	73,7±7,3	2,4±0,2	45,9±8,1	0,3±0,2	0,8±0,7	0,4±0,3	0,05±0,06	44,1±7,9	1269,7±193,3
13 m	73,2±8,2	202,1±35,6	9,1±0,3	80,3±8,7	2,5±0,2	45,6±2,0	0,37±0,1	1,2±0,5	0,3±0,4	0,03±0,06	43,4±2,1	1235,6±220,9
15 m	55,6±5,5	154,9±13,8	8,3±0,9	66,9±9,3	2,3±0,1	20,4±3,1	0,37±0,2	1,1±0,4	0,8±0,2	0,07±0,05	17,7±2,9	773,8±89,0
17 m	51,1±6,5	163,2±13,4	8,8±0,9	57,9±6,9	2,2±0,1	19,2±1,5	0,4±0,1	1,2±0,7	0,7±0,2	0,07±0,05	16,3±1,9	947,0±183,6
19 m	53,6±5,6	156,6±10,8	9,9±1,0	54,7±9,8	2,4±0,1	19,5±3,0	0,32±0,2	0,5±0,4	0,8±0,2	0,05±0,05	17,5±2,7	974,6±158,3
21 m	67,8±9,1	176,1±13,2	8,1±1,8	85,4±15,7	2,3±0,2	43,1±8,1	0,58±0,1	1,2±0,5	0,4±0,2	0,03±0,05	40,3±7,7	932,7±262,5
23 m	51,7±5,7	152,2±7,9	8,2±1,7	64,9±14,5	2,0±0,1	16,1±2,3	0,28±0,2	1,2±0,7	0,8±0,3	0,03±0,05	13,5±2,1	1250,3±185,8
25 m	53,6±6,2	154,8±10,9	9,2±1,4	58,9±9,9	2,0±0,1	14,1±2,1	0,35±0,1	0,7±0,4	0,7±0,1	0,03±0,05	11,9±2,3	1063,1±209,0
27 m	52,1±3,2	156,9±9,0	8,5±1,3	62,1±8,3	2±0,1	14,0±2,2	0,45±0,3	1,1±0,4	0,7±0,2	0,05±0,05	11,2±2,4	1132,3±311,4
2 f	48,7±5,4	157,9±16,6	8,1±1,2	60,4±7,6	2,1±0,2	8,5±2,7	0,33±0,2	0,6±0,5	0,4±0,2	0,05±0,05	6,9±3,0	1036,8±323,0
4 f	70,4±7,9	200,7±17,3	8,0±1,4	89,5±18,3	2,2±0,1	46,3±8,7	0,32±0,2	1,3±0,5	0,5±0,3	0,07±0,05	43,8±8,3	899,5±191,1
6 f	66,4±9,4	198,6±23,9	9,0±0,8	74,4±14,0	2,5±0,2	39,8±8,7	0,25±0,2	1,2±0,5	0,2±0,2	0,08±0,05	37,9±8,1	1220,2±206,4
8 f	61,7±4,8	204,6±15,0	8,5±1,2	73,9±13,9	2,4±0,2	55,2±6,5	0,34±0,2	1,3±0,7	0,4±0,3	0,08±0,04	52,9±6,5	1082,6±261,2
10 f	66,3±3,8	187,4±14,0	8,1±1,3	83,0±12,4	2,3±0,3	48,3±11,4	0,36±0,2	1,1±1,0	0,6±0,2	0,04±0,05	45,9±11,0	1158,6±245,8
12 f	69,3±7,4	189,3±29,4	8,7±1,0	79,5±4,3	2,5±0,2	42,4±5,7	0,4±0,3	0,7±0,8	0,3±0,2	0±0	40,6±5,1	1444,2±52,9
14 f	62,9±3,8	185,0±19,4	7,3±1,4	88,1±14,5	2,4±0,2	50,0±7,6	0,5±0,2	0,5±0,4	0,3±0,3	0,06±0,05	48,3±7,0	1040,0±208,6
16 f	54,9±5,5	164,2±12,5	8,7±1,6	65,2±15,9	2,2±0,1	18,2±2,7	0,37±0,1	1,3±0,2	0,7±0,2	0,02±0,04	15,6±2,6	1140,1±231,2
18 f	56,8±3,4	152,1±7,5	8,0±0,8	71,1±10,0	2,3±0,1	18,8±3,2	0,38±0,3	0,8±0,8	0,8±0,2	0,07±0,05	16,4±2,8	1038,1±224,5
20 f	54,2±6,2	166,4±6,0	8,6±1,8	65,4±17,0	2,3±0,1	17,7±3,0	0,38±0,3	0,8±0,5	0,8±0,2	0,03±0,05	15,6±2,7	1321,3±152,6
22 f	67,6±3,9	196,9±19,6	8,7±1,2	78,7±13,7	2,6±0,1	40,1±2,6	0,45±0,1	1,4±0,3	0,4±0,3	0,1±0	37,2±2,1	1095,7±275,5
24 f	53,1±5,7	161,4±10,8	8,3±0,9	63,9±9,0	2,0±0,1	15,3±2,8	0,28±0,2	1,1±0,6	0,8±0,1	0,03±0,05	12,9±2,3	1144,1±301,7
26 f	53,8±5,4	162,7±11,7	8,1±1,6	68,1±14,0	2,0±0,1	15,6±2,2	0,62±0,1	1,2±0,6	0,7±0,2	0,03±0,05	12,7±2,4	1165,1±313,5
28 f	53,4±6,8	168,4±13,4	9,5±1,1	56,2±8,7	2,1±0,1	16,7±1,6	0,45±0,2	1,1±0,3	0,9±0,2	0,08±0,04	13,7±1,4	1115,6±260,5

Примечание: *PCV - Гематокрит
*Hb - Гемоглобин
*RBC - Эритроциты
*MCV - Средний объём эритроцита
*ESR – Скорость оседания эритроцитов (СОЭ)
*WBC - Лейкоциты
*Bands - Палочкоядерные нейтрофилы
*Neu - Сегментоядерные нейтрофилы
*Mon - Моноциты
*Bas - Базофилы
*Lym - Лимфоциты
*PLT – Тромбоциты

Проведенное исследование выявило значимое влияние испытуемого препарата на показатели крови у мышей C57BL/6 с экспериментальным сальмонеллезом. Наиболее выраженные изменения наблюдались в группах, получавших препарат курсом 7 и 14 дней. При недельном курсе в группе плацебо отмечались патологически высокие уровни лейкоцитов, лимфоцитов и гематокрита, тогда как у животных, получавших пробиотики, эти показатели демонстрировали тенденцию к нормализации. Особенно заметным был эффект в группах, получавших 2 и 3 ТД, где значения гематокрита и среднего объема эритроцитов возвращались к нормальным показателям.

У самок мышей результаты также показали зависимость эффекта от схемы применения. Однократный прием 1 ТД вызывал временное повышение уровня лейкоцитов и лимфоцитов, превышающее физиологическую норму, тогда как 3 ТД, напротив, способствовали их снижению. При двухнедельном курсе терапии во всех опытных группах наблюдалась стабилизация основных гематологических параметров, включая гемоглобин, гематокрит и СОЭ, которые достигали нормальных значений. Важно отметить, что в контрольных группах зараженных животных, не получавших лечение, все ключевые показатели крови значительно превышали физиологическую норму, что подтверждало развитие выраженного воспалительного процесса.

Полученные данные позволяют заключить, что исследуемый препарат оказывает нормализующее действие на гематологические показатели при сальмонеллезной инфекции. Наиболее стабильный эффект достигался при курсовом применении препарата в течение 1-2 недель, независимо от используемой дозировки. Эти результаты свидетельствуют о потенциальной терапевтической ценности изучаемой добавки для коррекции нарушений, вызванных желудочно-кишечной инфекцией.

Результаты изучения биохимических показателей крови мышей C57BL/6 в эксперименте по оценке терапевтической эффективности пробиотического препарата при терапии инфекции, вызванной *Salmonella typhimurium*, отражены в таблице 5.

Таблица 5.

Результаты изучения биохимических показателей крови (средние по группе) мышей в эксперименте оценки терапевтической эффективности использования пробиотического препарата при терапии сальмонеллезной инфекции

Показатели	Билирубин общий	Билирубин прямой	АСТ	АЛТ	Коэф. Ритиса	Мочевина	Креатинин	Общий белок
Нормативные значения	2-15	*	54-269	26-77	*	6,1-10	27-88	35-72
Группы \ Ед. измерения	мкмоль/л	мкмоль/л	ед./л	ед./л	-	ммоль/л	мкмоль/л	г/л
1 m	10,3±1,7	2,1±0,4	175,2±65,3	44,4±15,2	4,7±2,9	8,4±0,8	53,1±12,7	37,9±2,6
3 m	10,1±3,2	2,3±0,3	270,4±119,4	84,8±17,2	3,5±1,9	6,7±0,7	54,8±20,4	42,4±7,3
5 m	11,7±2,7	2,1±0,4	224,4±113,7	81,8±9,0	2,9±1,6	6,9±0,6	52,3±23,6	50,5±10,0
7 m	13,0±0,8	2,1±0,7	307,9±106,7	85,5±16,8	3,7±1,2	6,7±0,7	51,2±4,3	48,8±10,8
9 m	11,1±2,7	2,2±0,4	295,7±124,1	83,1±7,4	3,6±1,6	7,0±0,5	44,8±15,6	41,9±6,0
11 m	10,1±3,9	2,4±0,3	301,3±146,9	75,1±13,0	4,0±2,0	7,0±0,6	67,4±17,6	41,7±10,1
13 m	10,3±1,7	2,2±0,5	117,8±24,9	85,4±20,2	1,5±0,7	7,0±0,4	60,2±12,7	50,9±7,3
15 m	10,3±2,2	1,9±0,4	196,2±56,5	52,7±13,2	3,9±1,3	7,5±1,0	44,7±19,3	39,0±2,8
17 m	11,3±2,0	2,2±0,4	214,0±70,1	60,7±14,6	3,6±4,8	7,3±0,2	56,8±12,9	38,7±2,2
19 m	12,1±1,9	2,2±0,4	215,2±102,0	72,0±11,7	3,2±1,8	6,9±0,4	61,7±15,8	43,6±6,5

21 m	10,8±3,0	1,9±0,3	299,1±43,1	88,5±13,2	3,5±0,9	6,9±0,7	62,4±14,8	40,6±4,7
23 m	9,8±2,2	2,2±0,5	219,6±102,0	55,6±15,7	4,6±2,9	7,9±0,8	60,0±16,5	36,7±4,8
25 m	12,0±2,3	2,3±0,5	237,0±79,6	65,5±13,9	3,7±1,5	7,5±1,0	49,9±7,6	42,7±2,7
27 m	9,6±2,4	1,7±0,2	189,0±89,0	66,3±17,3	3,0±1,4	7,7±0,7	61,0±14,1	41,3±5,8
2 f	9,3±3,1	2,0±0,3	170,5±83,9	57,8±12,8	3,1±1,4	7,2±1,0	63,2±25,6	38,2±1,8
4 f	11,2±2,0	2,0±0,2	260,1±98,5	81,9±19,7	3,1±0,8	7,3±0,3	47,6±19,3	46,0±6,8
6 f	11,5±11,5	2,3±2,3	257,5±132,2	81,4±7,8	3,1±1,5	6,7±0,7	66,8±18,8	38,7±3,7
8 f	9,7±3,1	2,2±0,4	263,8±106,7	80,9±14,3	3,3±1,3	6,7±0,6	50,4±12,5	45,4±10,8
10 f	10,7±1,8	2,0±0,4	292,4±120,2	85,9±14,4	3,3±1,0	6,9±0,4	68,0±19,4	46,2±8,6
12 f	8,6±1,5	2,4±0,5	314,5±69,7	82,3±15,6	3,9±0,7	6,8±0,8	60,1±17,6	46,8±9,2
14 f	11,7±3,3	2,3±0,5	251,3±124,6	79,3±15,1	3,4±2,1	7,0±0,8	64,4±11,4	45,8±5,0
16 f	11,2±2,8	2,1±0,3	243,1±84,3	58,9±18,7	4,4±2,1	6,8±0,8	68,6±13,5	46,0±5,9
18 f	11,1±2,6	2,0±0,5	199,8±55,7	61,4±15,2	3,6±1,7	7,3±1,0	60,4±17,9	44,0±3,7
20 f	10,5±3,3	1,9±0,3	166,6±90,7	59,5±13,2	2,9±1,7	7,7±0,7	48,6±19,3	39,0±6,6
22 f	7,9±1,9	2,7±0,1	232,5±71,7	78,4±17,8	3,2±1,5	7,2±0,3	45,5±18,8	55,8±4,1
24 f	10,6±2,4	2,2±0,5	204,2±66,2	60,2±14,9	3,4±0,7	8,0±0,5	56,0±14,3	39,3±7,2
26 f	10,1±1,8	2,1±0,4	180,8±82,1	54,4±11,5	3,7±2,2	7,8±0,9	58,0±16,6	40,9±5,6
28 f	11,3±1,7	2,3±0,5	190,8±90,5	65,4±14,9	3,1±1,6	7,5±0,9	60,9±18,6	40,1±2,9
Показатели	**Глобулин**	**Альбумин**	**Щел. фосфатаза**	**а-Амилаза**	**Глюкоза**	**Калий**	**Натрий**	**Иониз. кальций**
Нормативные значения	6-24	18,4-19,6	45-222	*	3,3-12,7	5,1-10,4	112-193	1,0-1,2
Ед. измерения / Группы	г/л	г/л	ед./л	ед./л	ммоль/л	ммоль/л	ммоль/л	ммоль/л
1 m	19,0±2,6	18,9±0,3	156,7±44,7	1187,2±56,9	7,8±1,5	7,3±1,4	148,4±25,4	0,9±0,2
3 m	28,9±6,8	13,6±1,5	147,3±15,1	1501,3±43,7	7,1±1,7	7,4±1,5	105,5±28,4	1,0±0,2
5 m	36,5±8,4	14,0±2,1	158,0±45,7	1501,8±104,0	6,2±2,6	7,6±0,6	129,2±14,3	0,9±0,2
7 m	34,4±10,3	14,4±1,8	158,3±18,1	1527,0±92,7	6,6±2,3	6,3±1,2	92,2±34,0	1,1±0,2
9 m	28,3±6,5	13,6±1,3	123,6±57,3	1574,6±63,0	8,1±2,8	7,3±1,0	118,8±23,6	1,0±0,2
11 m	28,8±9,9	12,9±1,6	150,5±71,2	1508,3±99,1	10,4±1,4	7,6±1,7	104,4±26,1	1,0±0,2
13 m	35,9±7,7	15,0±0,8	111,7±73,2	1550,0±109,3	8,3±1,7	9,3±0,5	123,8±17,1	0,9±0,2
15 m	21,2±2,8	17,8±0,3	149,5±41,1	1451,2±94,9	8,1±3,4	8,5±1,4	134,4±15,3	1,0±0,1
17 m	21,7±2,1	17,0±0,5	137,2±59,2	1437,3±94,2	7,3±0,7	7,7±0,4	127,8±3,2	0,9±0,0
19 m	26,6±6,1	17,0±0,6	139,7±44,8	1411,5±70,9	6,8±2,8	8,0±1,4	145,1±24,4	0,9±0,2
21 m	26,7±6,1	13,9±1,5	138,5±32,6	1525,8±49,5	8,2±2,4	8,6±0,5	122,6±19,5	0,9±0,2
23 m	19,3±5,0	17,5±0,4	133,8±62,0	1260,3±46,9	9,3±2,1	7,1±1,4	164,5±7,8	1,1±0,1
25 m	25,3±2,8	17,4±0,4	151,2±57,4	1203,7±67,5	6,6±3,0	7,2±1,7	159,9±18,7	0,9±0,2
27 m	23,4±5,9	17,9±0,3	94,8±45,0	1196,8±68,2	7,9±2,6	7,3±1,4	163,5±15,6	1,0±0,1
2 f	19,4±1,8	18,8±0,3	157,5±38,0	1254,5±86,6	8,8±2,4	7,7±1,5	146,4±24,9	1,0±0,2
4 f	32,6±7,4	13,3±1,3	157,5±40,0	1514,7±83,5	7,7±2,5	7,5±1,6	112,0±32,8	1,1±0,2
6 f	25,8±2,5	13,0±1,5	100,8±30,0	1527,3±94,7	7,6±3,1	8,4±1,8	100,5±33,0	1,0±0,2
8 f	31,3±10,6	14,1±1,9	155,0±50,6	1532,0±106,3	8,3±3,8	6,9±1,5	99,2±28,5	0,9±0,2
10 f	33,1±9,4	13,2±1,6	129,6±67,9	1543,4±60,4	8,9±3,1	9,1±0,6	90,8±16,2	1,0±0,1
12 f	33,5±8,5	13,3±1,6	137,0±48,7	1473,5±37,6	8,5±2,6	6,8±1,5	94,4±18,9	1,1±0,1
14 f	32,8±5,0	13,0±0,9	149,2±42,2	1490,8±71,7	7,4±3,7	7,5±1,6	104,7±24,1	1,1±0,1
16 f	28,8±6,3	17,3±0,8	162,5±53,2	1375,8±69,0	7,6±3,2	9,8±0,5	139,9±19,8	1,0±0,2
18 f	26,4±3,8	17,7±0,4	142,8±48,2	1411,2±46,5	7,9±2,5	7,7±1,8	122,3±21,3	1,2±0,1
20 f	21,7±6,5	17,3±0,5	152,8±38,9	1429,0±65,4	8,1±2,8	6,9±0,8	132,0±14,1	0,9±0,2
22 f	40,6±3,2	15,2±1,3	158,3±44,8	1544,5±91,0	9,1±1,2	7,1±1,3	105,1±27,3	0,9±0,1
24 f	21,4±7,4	17,8±0,4	137,5±54,5	1239,2±61,4	9,5±2,4	8,3±1,8	159,1±19,1	1,0±0,2
26 f	23,5±6,1	17,4±0,7	121,2±39,1	1231,7±69,1	7,2±2,5	7,9±1,6	162,4±15,3	1,1±0,1
28 f	22,5±3,2	17,7±0,5	145,7±40,2	1236,8±55,5	6,9±3,1	6,2±0,8	160,6±13,7	1,1±0,2

Согласно данным, представленным в таблице 5, применение исследуемого препарата оказывало значимое влияние на биохимические показатели крови мышей с сальмонеллезной инфекцией. При однократном введении отмечалось повышение активности печеночных ферментов (АЛТ, АСТ) и снижение уровня альбумина, сохранявшееся при всех схемах применения. Семидневный курс терапии способствовал нормализации белкового показателя, проявлявшейся в снижении уровня глобулина и тенденции к повышению альбумина, хотя его значения оставались ниже физиологической нормы. Наиболее выраженный эффект наблюдался при двухнедельном курсе, при котором отмечалась стабилизация как белкового обмена (альбумин, общий белок), так и показателей печеночной функции (билирубин, АЛТ). Особого внимания заслуживает корригирующее действие препарата на электролитный баланс, выражавшееся в нормализации уровней натрия и калия, которые у животных группы плацебо демонстрировали значительные отклонения от нормы. Сравнение с контрольными группами подтвердило, что у инфицированных животных, не получавших лечение, сохранялись выраженные нарушения биохимического статуса, включая гипоальбуминемию, диспротеинемию и электролитный дисбаланс. Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследуемый комплекс пробиотиков проявляет наиболее выраженный нормализующий эффект на биохимические показатели при курсовом применении в течение 7-14 дней.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует значимый терапевтический эффект многокомпонентного пробиотического препарата при экспериментальной сальмонеллезной инфекции у мышей. Курсовое применение пробиотика в течение 7 и 14 дней обеспечило:

1. Нормализацию физиологических показателей: увеличение массы тела и потребления корма по сравнению с группами плацебо. При 7-дневном курсе оптимальный эффект достигался при дозах 2 ТД и 3 ТД, тогда как 14-дневный курс с 1 ТД показал сопоставимые или даже лучшие результаты без необходимости увеличения дозировки.
2. Коррекцию гематологических нарушений: снижение уровня лейкоцитов и лимфоцитов до нормы, улучшение показателей гемоглобина и гематокрита. Наиболее выраженная нормализация наблюдалась при 14-дневной схеме, что подтверждает важность длительности терапии.
3. Стабилизацию биохимических параметров: нормализацию уровня альбумина, активности печеночных ферментов (АЛТ, АСТ) и элек-

тролитного баланса. При этом 14-дневный курс с 1 ТД оказался достаточным для достижения устойчивого эффекта, тогда как при 7-дневном применении требовались повышенные дозы (2 ТД и 3 ТД).

Наибольшая эффективность наблюдалась при 14-дневном курсе терапии препаратом в стандартной дозировке 1 ТД, что подчеркивает важность длительного, а не повышенного дозирования пробиотиков для достижения устойчивого эффекта. При этом 7-дневный курс требовал увеличения дозы до 2-3 ТД для сопоставимого эффекта. Полученные данные подтверждают целесообразность использования многокомпонентных пробиотических препаратов в стандартной дозировке курсом 14 дней в качестве вспомогательной терапии при сальмонеллезе, особенно в условиях роста антибиотикорезистентности.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Информация о финансировании. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Список литературы

1. Абдуллаева, Н. Ф., Тагизаде, З. А., Мустафаева, Р. С. (2017). Микробиологические и биохимические характеристики молочнокислых бактерий и области их применения (обзор). *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, (3-3), 31–35. EDN: https://elibrary.ru/YFMBXJ
2. Беляков, Д. Г., Гаус, О. В. (2021). Роль мукозального барьера в формировании синдрома раздражённого кишечника как потенциальная мишень для терапии заболевания. *Научный вестник Омского государственного медицинского университета*, *1*(4), 67–76. https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-8-458-463. EDN: https://elibrary.ru/CHJQDN
3. Лаишевцев, А. И., Вьюшинский, П. А., Савинов, В. А., Шастин, П. Н., Хабарова, А. В., Якимова, Э. А., Капустин, А. В., Супова, А. В., Ежова, Е. Г., Белкова, М. Д., Киселёва, И. А., Зубкова, Е. С., Пасивкина, М. А., Анурова, М. Н., Жиленкова, О. Г., Алёшкин, А. В. (2023). Доклиническое изучение эффективности и безопасности пробиотических штаммов Lactobacillus spp. для профилактики инфекционных заболеваний желудочно-кишечного тракта, в том числе ассоциированных с постковидным синдромом. *Бактериология*, *8*(3), 7–15. https://doi.org/10.20953/2500-1027-2023-3-7-15
4. Забровская, А. В. (2012). Чувствительность к антимикробным препаратам микроорганизмов, выделенных от сельскохозяйственных животных

и из продукции животноводства. *VetPharma*, (5 (10)), 20–24. EDN: https://elibrary.ru/RDJYLF

5. Хакимова, Л. Р., Потапова, С. М., Ахметова, Л. Р., Гимранова, И. А. (2023). Изучение биологических свойств аутоштаммов Lactobacillus spp. для создания пробиотиков. *Клиническая лабораторная диагностика*, *68*(8), 484–492. https://doi.org/10.51620/0869-2084-2023-68-8-480-488. EDN: https://elibrary.ru/PPIRVW
6. Османова, С. О., Гусейнов, Г. О., Магомедова, З. М., Тьявмагомедова, П. М. (2022). Исследование состава метаболитов штаммов молочнокислых бактерий на основе препарата пробиотического действия. *Молекулярная медицина*, *20*(3), 47–53. https://doi.org/10.29296/24999490-2022-03-07. EDN: https://elibrary.ru/WFLKFT
7. Козлов, И. Г. (2018). Микробиота, мукозальный иммунитет и антибиотики: тонкости взаимодействия. *Русский медицинский журнал*, *26*(8-1), 19–27. EDN: https://elibrary.ru/MAEMLZ
8. Корниенко, Е. А., Нетребенко, О. К. (2016). Пробиотики: механизмы действия и показания в соответствии с международными рекомендациями в педиатрии. *Педиатрия. Журнал им. Г. Н. Сперанского*, *95*(1), 109–121. EDN: https://elibrary.ru/VOAKYP
9. Косенкова, Т. В., Бойцова, Е. А. (2022). Кишечная микробиота: основные функции и роль в формировании толерантности у детей раннего возраста. *Children's Medicine of the North-West*, *10*(2), 22–37. EDN: https://elibrary.ru/ELTQDO
10. Егорова, С. А., Макарова, М. А., Забровская, А. В., Матвеева, З. Н., Сужаева, Л. В., Войтенкова, Е. В., Кафтырева, Л. А. (2011). Многообразие механизмов антибиотикорезистентности сальмонелл. *Инфекция и иммунитет*, *1*(4), 303–310. EDN: https://elibrary.ru/NXERVL
11. Тапальский, Д. В., Осипов, В. А., Жаворонок, С. В., Тирещенко, Л. А., Шитикова, П. В., Торчишник, Е. Н., Козлова, А. И., Волченко, А. Н. (2005). Проблемы устойчивости сальмонелл к клинически значимым антибактериальным препаратам. *Проблемы здоровья и экологии*, (1 (3)), 103–110. EDN: https://elibrary.ru/YUFOSD
12. Рыбальченко, О. В., Орлова, О. Г., Бондаренко, В. М. (2013). Антимикробные пептиды лактобацилл. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*, (4), 89–100. EDN: https://elibrary.ru/TLNSNZ
13. Рябинин, Г. В., Бараненко, Д. А. (2020). Альтернативные антимикробные агенты, полученные селективной сорбцией из культуры Lactobacillus helveticus D75. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппара-*

ты пищевых производств», (1 (43)), 81–90. https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-81-90. EDN: https://elibrary.ru/FWDKXN

14. Субботина, М. С., Лундовских, И. А. (2017). Исследование бактериоцинов, продуцируемых бактериями рода Lactobacillus. *Общество. Наука. Инновации (НПК-2017)*, 190–195. EDN: https://elibrary.ru/YSQUCD
15. Becattini, S., Taur, Y., & Pamer, E. G. (2016). Antibiotic-induced changes in the intestinal microbiota and disease. *Trends in Molecular Medicine*, *22*(6), 458–478. https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.04.003. EDN: https://elibrary.ru/WVGMYJ
16. Bula-Rudas, F. J., Rathore, M. H., & Maraqa, N. F. (2015). Salmonella infections in childhood. *Advances in Pediatrics*, *62*(1), 29–58. https://doi.org/10.1016/j.yapd.2015.04.005
17. Coombes, B. K., Coburn, B. A., Potter, A. A., Gomis, S., Mirakhur, K., Li, Y., & Finlay, B. B. (2005). Analysis of the contribution of Salmonella pathogenicity islands 1 and 2 to enteric disease progression using a novel bovine ileal loop model and a murine model of infectious enterocolitis. *Infection and Immunity*, *73*(11), 7161–7169. https://doi.org/10.1128/iai.73.11.7161-7169.2005
18. Foster, N., Tang, Y., Berchieri, A., Geng, S., Jiao, X., & Barrow, P. (2021). Revisiting persistent Salmonella infection and the carrier state: what do we know? *Pathogens*, *10*(10), 1299. https://doi.org/10.3390/pathogens10101299. EDN: https://elibrary.ru/ARILIG
19. Popa, G. L., & Papa, M. I. (2021). Salmonella spp. infection — a continuous threat worldwide. *Germs*, *11*(1), 88. https://doi.org/10.18683/germs.2021.1244. EDN: https://elibrary.ru/UAYKKN
20. Sanchez, S., Hofacre, C. L., Lee, M. D., Maurer, J. J., & Doyle, M. P. (2002). Animal sources of salmonellosis in humans. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *221*(4), 492–497.
21. Wibisono, F. M., Wibison, F. J., Effendi, M. H., Plumeriastuti, H., Hidayatullah, A. R., Hartadi, E. B., & Sofiana, E. D. (2020). A review of salmonellosis on poultry farms: Public health importance. *Systematic Reviews in Pharmacy*, *11*(9), 481–486.

References

1. Abdullaeva, N. F., Tagizade, Z. A., & Mustafaeva, R. S. (2017). Microbiological and biochemical characteristics of lactic acid bacteria and areas of their application (review). *Actual Problems of Humanities and Natural Sciences*, *(3–3)*, 31–35. EDN: https://elibrary.ru/YFMBXJ
2. Belyakov, D. G., & Gaus, O. V. (2021). The role of the mucosal barrier in the formation of irritable bowel syndrome as a potential target for disease therapy.

Scientific Bulletin of Omsk State Medical University, *1*(4), 67–76. https://doi.org/10.32364/2587-6821-2022-6-8-458-463. EDN: https://elibrary.ru/CHJQDN

3. Laishevtsev, A. I., Vyushinsky, P. A., Savinov, V. A., Shastin, P. N., Khabarova, A. V., Yakimova, E. A., Kapustin, A. V., Supova, A. V., Ezhova, E. G., Belkova, M. D., Kiseleva, I. A., Zubkova, E. S., Pasivkina, M. A., Anurova, M. N., Zhilenkova, O. G., & Aleshkin, A. V. (2023). Preclinical study of efficacy and safety of probiotic *Lactobacillus* spp. strains for prevention of gastrointestinal infections, including those associated with post-COVID syndrome. *Bacteriology*, *8*(3), 7–15. https://doi.org/10.20953/2500-1027-2023-3-7-15
4. Zabrovskaya, A. V. (2012). Antimicrobial susceptibility of microorganisms isolated from farm animals and animal products. *VetPharma*, *(5 (10))*, 20–24. EDN: https://elibrary.ru/RDJYLF
5. Khakimova, L. R., Potapova, S. M., Akhmetova, L. R., & Gimranova, I. A. (2023). Study of biological properties of auto-strains of *Lactobacillus* spp. for probiotic development. *Clinical Laboratory Diagnostics*, *68*(8), 484–492. https://doi.org/10.51620/0869-2084-2023-68-8-480-488. EDN: https://elibrary.ru/PPIRVW
6. Osmanova, S. O., Guseinov, G. O., Magomedova, Z. M., & Tyavmagomedova, P. M. (2022). Study of metabolite composition of lactic acid bacteria strains based on a probiotic preparation. *Molecular Medicine*, *20*(3), 47–53. https://doi.org/10.29296/24999490-2022-03-07. EDN: https://elibrary.ru/WFLKFT
7. Kozlov, I. G. (2018). Microbiota, mucosal immunity and antibiotics: subtleties of interaction. *Russian Medical Journal*, *26*(8–1), 19–27. EDN: https://elibrary.ru/MAEMLZ
8. Kornienko, E. A., & Netrebenko, O. K. (2016). Probiotics: mechanisms of action and indications according to international guidelines in pediatrics. *Pediatrics. Journal named after G. N. Speransky*, *95*(1), 109–121. EDN: https://elibrary.ru/VOAKYP
9. Kosenkova, T. V., & Boytsova, E. A. (2022). Intestinal microbiota: main functions and role in tolerance development in infants. *Children's Medicine of the North West*, *10*(2), 22–37. EDN: https://elibrary.ru/ELTQDO
10. Egorova, S. A., Makarova, M. A., Zabrovskaya, A. V., Matveeva, Z. N., Suzhayeva, L. V., Voytenkova, E. V., & Kaftyreva, L. A. (2011). Diversity of antibiotic resistance mechanisms in Salmonella. *Infection and Immunity*, *1*(4), 303–310. EDN: https://elibrary.ru/NXERVL
11. Tapalsky, D. V., Osipov, V. A., Zhavoronok, S. V., Tireschenko, L. A., Shitikova, P. V., Torchishnik, E. N., Kozlova, A. I., & Volchenko, A. N. (2005). Problems of Salmonella resistance to clinically significant antibacterial drugs. *Health and Ecology Issues*, *(1 (3))*, 103–110. EDN: https://elibrary.ru/YUFOSD

12. Rybalchenko, O. V., Orlova, O. G., & Bondarenko, V. M. (2013). Antimicrobial peptides of lactobacilli. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, *(4)*, 89–100. EDN: https://elibrary.ru/TLNSNZ
13. Ryabinin, G. V., & Baranenko, D. A. (2020). Alternative antimicrobial agents obtained by selective sorption from *Lactobacillus helveticus* D75 culture. *Scientific Journal of NRU ITMO. Series "Processes and Equipment of Food Production"*, *(1 (43))*, 81–90. https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-81-90. EDN: https://elibrary.ru/FWDKXN
14. Subbotina, M. S., & Lundovskikh, I. A. (2017). Study of bacteriocins produced by bacteria of the genus *Lactobacillus*. *Society. Science. Innovations (SPC 2017)*, 190–195. EDN: https://elibrary.ru/YSQUCD
15. Becattini, S., Taur, Y., & Pamer, E. G. (2016). Antibiotic-induced changes in the intestinal microbiota and disease. *Trends in Molecular Medicine*, *22*(6), 458–478. https://doi.org/10.1016/j.molmed.2016.04.003. EDN: https://elibrary.ru/WVGMYJ
16. Bula Rudas, F. J., Rathore, M. H., & Maraqa, N. F. (2015). Salmonella infections in childhood. *Advances in Pediatrics*, *62*(1), 29–58. https://doi.org/10.1016/j.yapd.2015.04.005
17. Coombes, B. K., Coburn, B. A., Potter, A. A., Gomis, S., Mirakhur, K., Li, Y., & Finlay, B. B. (2005). Analysis of the contribution of *Salmonella* pathogenicity islands 1 and 2 to enteric disease progression using a novel bovine ileal loop model and a murine model of infectious enterocolitis. *Infection and Immunity*, *73*(11), 7161–7169. https://doi.org/10.1128/iai.73.11.7161-7169.2005
18. Foster, N., Tang, Y., Berchieri, A., Geng, S., Jiao, X., & Barrow, P. (2021). Revisiting persistent Salmonella infection and the carrier state: what do we know? *Pathogens*, *10*(10), 1299. https://doi.org/10.3390/pathogens10101299. EDN: https://elibrary.ru/ARILIG
19. Popa, G. L., & Papa, M. I. (2021). Salmonella spp. infection — a continuous threat worldwide. *Germs*, *11*(1), 88. https://doi.org/10.18683/germs.2021.1244. EDN: https://elibrary.ru/UAYKKN
20. Sanchez, S., Hofacre, C. L., Lee, M. D., Maurer, J. J., & Doyle, M. P. (2002). Animal sources of salmonellosis in humans. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *221*(4), 492–497.
21. Wibisono, F. M., Wibison, F. J., Effendi, M. H., Plumeriastuti, H., Hidayatullah, A. R., Hartadi, E. B., & Sofiana, E. D. (2020). A review of salmonellosis on poultry farms: Public health importance. *Systematic Reviews in Pharmacy*, *11*(9), 481–486.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Вьюшинский Павел Александрович, младший научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
lumbolka1@yandex.ru

Лаишевцев Алексей Иванович, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией, ведущий научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
cvat19@gmail.com

Савинов Василий Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
visik06@mail.ru

Супова Анастасия Владимировна, научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук

Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
supova.nastya@yandex.ru

Шастин Павел Николаевич, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
shastin.pasha@yandex.ru

Хабарова Алла Викторовна, младший научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
xabarova.alla97@mail.ru

Ежова Екатерина Геннадьевна, младший научный сотрудник
ФГБНУ ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко Российской академии наук
Рязанский проспект, 24, корп. 1, Москва, 109428, Российская Федерация
ezhova@micro-ecology.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Pavel A. Vyushinsky, Junior Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
lumbolka1@yandex.ru
SPIN-code: 8985-2239
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7830-1757

Aleksey I. Laishevtsev, Candidate of Biological Sciences, Acting Head of Laboratory, Leading Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
cvat19@gmail.com
SPIN-code: 5227-6309
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5050-2274
ResearcherID: S-2948-2017
Scopus Author ID: 57222720220

Vasiliy A. Savinov, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
visik06@mail.ru
SPIN-code: 9058-8164
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1891-0005
ResearcherID: S-2948-2017
Scopus Author ID: 57194714895

Anastasiya V. Supova, Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
supova.nastya@yandex.ru
SPIN-code: 9483-6135
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0728-538X
Scopus Author ID: 57211158087

Pavel N. Shastin, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation

shastin.pasha@yandex.ru
SPIN-code: 7702-1795
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7360-927X
ResearcherID: AAV-1781-2021
Scopus Author ID: 57218209497

Alla V. Khabarova, Junior Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
xabarova.alla97@mail.ru
SPIN-code: 4368-3041
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2115-1882
ResearcherID: ABD-3086-2022
Scopus Author ID: 57300650000

Ekaterina G. Ezhova, Junior Researcher
Federal Scientific Center – K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine of the Russian Academy of Sciences 24, Build. 1, Ryazansky Prospekt, Moscow, 109428, Russian Federation
ezhova@micro-ecology.ru
SPIN-code: 6685-7068
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1578-6594

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1313 **EDN: PDMGPP**
УДК 633.88.004.8

CC BY NC ND

Научная статья

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ШРОТА ЭЛЕУТЕРОКОККА ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

О.А. Петренко, А.А. Кузнецова, О.В. Щеняцкая, Ю.В. Щербакова, Р.К. Закиров, Ф.Ю. Ахмадуллина

Аннотация

Обоснование. На фармацевтических предприятиях при производстве лекарственных композиций из растительного сырья образуется достаточно большое количество отходов (шроты). Однако, шрот лекарственных растений может являться недорогим источником целлюлозы и остаточных биологически активных веществ, кроме того, это экологически чистый отход. В связи с этим растительные шроты можно использовать как вторичное сырье для производства ценных продуктов.

Цель исследования. Целью данной работы являлось изучение свойств шрота элеутерококка колючего и оценка его потенциала для переработки с использованием биотехнологий.

Материалы и методы. Объект исследования – шрот элеутерококка колючего. У шрота определяли влажность и зольность, остаточные биологически активные вещества оценивали в водных экстрактах шрота элеутерококка, полученных методом мацерации. С помощью качественных реакций выявляли белки, углеводы, флавоноиды, витамины группы В. Количественное определение витаминов С и Р проводили методом титриметрии. Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. Интегральную антиоксидантную активность экстрактов измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом. Элементный состав оценивали на элементном CHNSO-высокотемпературном анализаторе Euro EA 3028-HT-OM.

Результаты. Все исследованные фитоэкстракты содержали белки, углеводы, флавоноиды и витамины группы В, С и Р. Все экстракты обладали антиоксидантной активностью.

Заключение. Внесены предложения по утилизации шрота элеутерококка: показано возможность использования экстрактов на его основе как компонента питательной среды для культивирования хлебопекарных дрожжей, а шрот после вторичного экстрагирования использовать в качестве субстрата для выращивания плодовых грибов.

Ключевые слова: шрот элеутерококка; экстракция; антиоксидантная активность; вторичное использование отходов

Для цитирования. Петренко, О. А., Кузнецова, А. А., Щеняцкая, О. В., Щербакова, Ю. В., Закиров, Р. К., & Ахмадуллина, Ф. Ю. (2025). Оценка потенциала шрота элеутерококка для вторичного использования. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 254-269. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1313

Original article

CAPACITY ASSESSMENT OF ELEUTHEROCOCCUS MEAL FOR SECONDARY USE

O.A. Petrenko, A.A. Kuznetsova, O.V. Shchenyatskaya, Yu.V. Shcherbakova, R.K. Zakirov, F.Yu. Akhmadullina

Abstract

Background. In the production of medicinal compositions from plant raw materials, pharmaceutical enterprises generate a fairly large amount of waste (meals). However, the meal of medicinal plants can be an inexpensive source of cellulose and residual bioactive substances. In addition, it is environmentally friendly waste. In this regard, plant meals can be used as secondary raw materials for the production of valuable products.

Purpose. The purpose of this work was to study the properties of Eleutherococcus senticosus meal and assess its potential for processing using biotechnologies.

Materials and methods. The object of the study is Eleutherococcus senticosus meal. The content of moisture and ash of the meal were determined, residual bioactive substances were estimated in aqueous extracts of Eleutherococcus meal obtained by maceration. Proteins, carbohydrates, flavonoids, and B vitamins were identified using qualitative reactions. Vitamins C and P were quantitatively determined by titrimetric method. Antiradical activity was determined by a colorimetric method using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl reagent. The integral antioxidant activity of the extracts was measured by coulometric titration with electrogenerat-

ed bromine. The elemental composition was estimated on a Euro EA 3028-HT-OM elemental CHNSO high-temperature analyzer.

Results. All the phytoextracts studied contained proteins, carbohydrates, flavonoids and vitamins of groups B, C and P. All extracts showed antioxidant activity.

Conclusion. Suggestions were made for the utilization of Eleutherococcus meal: the possibility of using extracts based on it as a component of a nutrient medium for cultivating baker's yeast was shown, and the meal after secondary extraction can be used as a substrate for growing fruit mushrooms.

Keywords: Eleutherococcus meal; extraction; antioxidant activity; waste recycling

For citation. Petrenko, O. A., Kuznetsova, A. A., Shchenyatskaya, O. V., Shcherbakova, Yu. V., Zakirov, R. K., & Akhmadullina, F. Yu. (2025). Capacity assessment of Eleutherococcus meal for secondary use. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 254-269. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1313

Введение

В современном мире из-за воздействия множества антропогенных факторов очень актуальными стали проблемы бережного отношения к приплодным ресурсам и сохранению благоприятных для жизни условий окружающей среды. За последние десятилетия особенно острой стала проблема, связанная с накоплением отходов. Увеличения потребительского спроса, и как следствие развитие промышленности стали результатом того, что предприятия каждый день производят огромное количество различных видов отходов. Их утилизация становиться все более сложной задачей, так как для этого необходимо большое количество ресурсов и затрат. Так же стоит отметить, что из-за увеличения разновидности отходов и их объёмов, требуется разработка и развитее новых технологий по их утилизации и вторичному использованию.

Элеутерококк колючий – Eleutherococcus senticosus (Rupr. et Maxim.), сем. Araliaceae- является всемирно известным лекарственным растением, которое широко используется в медицине. Популярность элеутерококка как научного объекта и медицинского средства объясняется его востребованными фармакологическими свойствами и достаточной сырьевой базой [1; 2; 17; 20]. В основном как лекарственное средство он применяется в виде жидких экстрактов. При получении лекарственных экстрактов образуется шрот, который относится к отходам Г класса (СанПиН 2.1.3684-21). Для фармакологических предприятий данные отходы являются статьей расхода, т.к. требуют средств для их утилизации сторонними организациями. Однако, согласно литературным данным [16; 18], шрот может являться

недорогим источником целлюлозы и остаточных биологически активных веществ. Кроме того, отходы фармпроизводства можно отнести к экологически чистым, поскольку сырье проходит жесткий контроль качества на предприятиях, в том числе и по токсическим элементам. Это обусловливает возможность использования шрота как источника целлюлозы для выращивания на нем высших грибов [10], а вторичные экстракты шрота как источник биологически активных веществ [4], которые можно использовать в качестве компонента питательных сред для культивирования микроорганизмов-продуцентов ценных биомолекул. К таким микроорганизмам можно отнести дрожжи *Saccharomyces cerevisiae.*

Цель. В связи с этим целью данной работы являлось изучение свойств шрота элеутерококка колючего и оценка его потенциала для переработки с использованием биотехнологий.

Материалы и методы

Объект исследования – шрот, полученный после экстракции корней и корневищ элеутерококка колючего на АО «Татхимфармпрепараты».

У шрота в работе определяли влажность (ОФС.1.5.3.0007.15.) и зольность (ОФС.1.2.2.2.0013.15.) с помощью стандартных общепринятых методик.

Остаточные биологически активные вещества в шроте элеутерококка определяли в его водных экстрактах.

Методы получения экстрактов из шрота

Мацерация при комнатной температуре (Экстракт А). Брали навеску шрота в количестве 35 г, в качестве экстрагента использовали дистиллированную воду (гидромодуль 1:4). Настаивание проводили в течение 24 часов при комнатной температуре (22 ˚С). После мацерации экстракт фильтровали через бумажный фильтр при комнатной температуре (22 ˚С) [1].

Мацерация при температуре 100^{0}С (экстракт Б). Навеску шрота (35 г) заливали дистиллированной водой (гидромодуль 1:4) и доводили до кипения. После экстракт фильтровали через бумажный фильтр при комнатной температуре (22 ˚С).

Методы исследования водных экстрактов из шрота элеутерококка

Качественные реакции. Наличие углеводов определяют с помощью реакции Молиша, наличие белка с помощью реакции Бредфорда [7]. Флавоноиды определяют с помощью качественной реакции с гидроксидом натрия [8]. Также проводили качественные реакции на водорастворимые витамины (B_1, B_5) [11].

Количественное содержание аскорбиновой кислоты в окрашенных растворах. Метод основан на способности аскорбиновой кислоты восстанавливать 2,6-дихлорфенолиндофенол. В щелочной среде 2,6-дихлориндофенол имеет синюю окраску, в кислой – красную, а при восстановлении обесцвечивается [12].

Количественное определение рутина. Метод основан на способности рутина окисляться перманганатом калия. В качестве индикатора используется индигокармин, который вступает в реакцию с калия перманганатом после того, как окислится весь рутин [13].

Антирадикальную активность определяли колориметрическим методом с использованием реактива 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила при длине волны 517 нм в кювете толщиной 0,5 см. В качестве раствора сравнения использовали 80% этанол. Антирадикальную активность образцов фитоэкстрактов выражали в мкМ-экв Trolox [9].

Интегральную антиоксидантную активность (ИАА) экстрактов измеряли методом кулонометрического титрования электрогенерированным бромом, используя в качестве стандарта рутин [5].

Элементный состав определяли на элементном CHNSO-высокотемпературном анализаторе Euro EA 3028-HT-OM («EuroVector Instruments & Software», Италия).

Результаты

Результаты по изучению свойств шрота (таблица 1) показали, что шрот элеутерококка имеет низкую влажность и зольность, что обусловливает возможность его использования для производства активированного угля. Согласно работе [3], активированный уголь из шрота элеутерококка показал хорошие результаты при очистке сточных вод от антибиотика стрептомицина. В нашем случае, шрот элеутерококка – это отход фармацевтического предприятия, на котором сырье перед поступлением проходит жесткий контроль по токсичным элементам, таким образом, полученный из него активированный уголь можно будет использовать как сорбент медицинского назначения.

Таблица 1.

Показатели шрота элеутерококка

Показатели	Эксперимент 1	Эксперимент 2	Эксперимент 3
Влажность, %	63,02±0,52	63,18±0,65	63,11±0,46
Зольность, %	3,762±0,58	3,780±0,48	3,774±0,49

Полученные экстракты из шрота элеутерококка были проанализированы на наличие в них основных биохимических компонентов с помощью качественных реакций: белки, углеводы, флавоноиды, поскольку растительное сырье является их богатейшим источником (рисунок 2). Наличие липидов было выявлять в фитоэкстрактах нецелесообразно, т.к. экстрагентом являлась дистиллированная вода.

Как показывают результаты, во всех двух экстрактах из шрота элеутерококка, полученных разными методами, были обнаружены углеводы, белки, флавоноиды – т.е., те компоненты, которые могут служить источником питания для культивирования дрожжей. Что касается выращивания грибов, то шрот как отход фитосырья является богатым источником целлюлозы, которая необходима для культивирования высших грибов [14, 15, 19, 21].

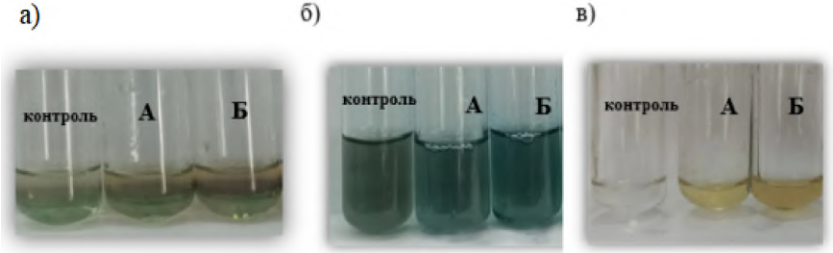


Рис. 2. Результаты качественных реакций: а) результаты реакции Молиша (при положительной реакции образуется соединение фиолетового цвета) б) результаты реакции Бредфорда (при наличие белка развивается голубая окраска), в) реакции на флавоноиды (флавоноиды дают желтое окрашивание): контроль – дистиллированная вода; А – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при комнатной температуре; Б - экстракт из шрота элеутерококка, полученный путем кипячения.

Результаты элементного анализа экстракта из шрота элеутерококка (таблица 2) выполненного на элементном анализаторе, подтверждают наличие в шроте органических соединений, выявленных с помощью качественных реакций.

Таблица 2.

Результаты элементного анализа экстракта шрота элеутерококка

Элементы, %			
C	**H**	**N**	**S**
40,47	6,09	1,27	2,02

Кроме того, для культивирования дрожжей и грибов важно, наличие в среде культивирования факторов роста, в частности витаминов. Поскольку полученные нами экстракты являются водными, в работе представляло интерес определить содержание в них водорастворимых витаминов, наиболее широко распространенными среди которых являются аскорбиновая кислота и витамин Р. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 3.

Основная роль витаминов в грибах сводится к участию в обмене веществ. Являясь составной частью многих ферментов, витамины принимают участие в регуляции азотистого, углеводного и жирового обмена. Биосинтез белков и аминокислот не происходит в отсутствие ряда витаминов, особенно это относится к витаминам группы В.

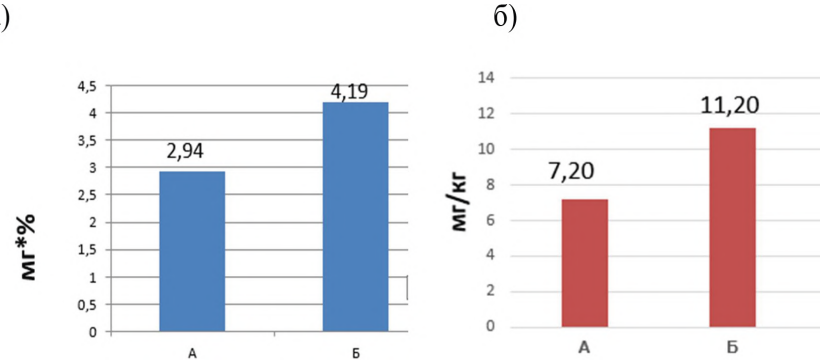


Рис. 3. Содержание а) аскорбиновой кислоты б) рутина в фитоэкстрактах (усредненные данные): А – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при комнатной температуре; Б – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при 100 ^{0}C

В связи с этим в работе дополнительно с помощью качественных реакций определяли витамин B_1 (тиамин) и B_5 (никотинамид). Результаты качественных реакций представлены на рисунке 4.

Поскольку в экстрактах шрота элеутерококка были выявлены флавоноиды, которые являются основными антиоксидантами растительного сырья и могут выполнять защитные функции, повышая стрессоустойчивость микроорганизмов, культивируемых на средах, содержащих их, в работе оценивали антиоксидантную активность фитоэкстрактов двумя методами: метод DPPH и кулонометрическим титрованием электрогенерированным бромам (рисунок 5).

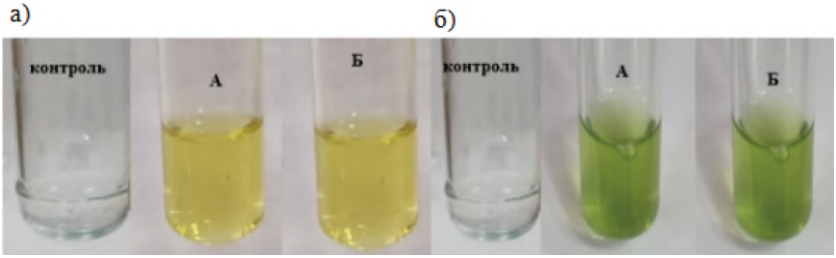


Рис. 4. Результаты проведения качественной реакции на а) тиамин (при наличии тиамина образуется тиохром желтого цвета) и б) никотинамид (при наличии никотинамида образуется комплексное соединения зеленого цвета): контроль – дистиллированная вода; А – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при комнатной температуре; Б – экстракт из шрота элеутерококка, полученный путем кипячения

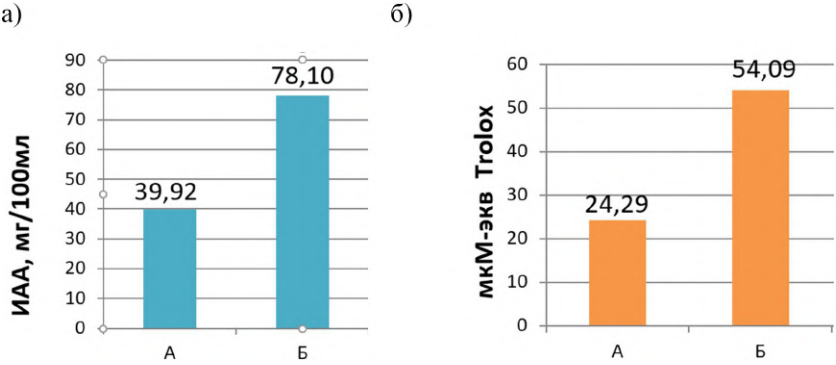


Рис. 5. Антиоксидантная активность экстрактов шрота элеутерококка (усредненные данные), исследованная методом кулонометрического титрования (а) и методом DPPH (б): А – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при комнатной температуре; Б – экстракт из шрота элеутерококка, полученный методом мацерации при 100 ^{0}C

Заключение

1. Были получены водные экстракты из шрота элеутерококка следующими методами: мацерацией при комнатной температуре, мацерацией при температуре 100 ^{0}C;

2. Все исследованные фитоэкстракты содержали белки, углеводы, флавоноиды и витамины группы В, С и Р;

3. Было определено содержание аскорбиновой кислоты и рутина в исследуемых экстрактах: все экстракты обладали антиоксидантной активностью;

4. Внесены предложения по утилизации шрота элеутерококка: показано возможность использования экстрактов на его основе как компонента питательной среды для культивирования хлебопекарных дрожжей, а шрот после вторичного экстрагирования использовать в качестве субстрата для выращивания плодовых грибов.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Абашкин, И. А., Елеев, Ю. А., Глухан, Е. Н. и др. (2021). Методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья (обзор). *Химия и технология органических веществ*, (2 (18)), 43–59. https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43. EDN: https://elibrary.ru/NZTCMB
2. Базарнова, Ю. Г., Иванченко, О. Б. (2016). Исследование состава биологически активных веществ экстрактов дикорастущих растений. *Вопросы питания*, (5), 100–107. EDN: https://elibrary.ru/WYMSPN
3. Григорьев, Л. Н., Веренцова, Л. Г., Шанова, О. А., Родионова, А. А. (2015). Получение активного угля из растительных остатков и оценка его адсорбционных свойств. *Химия растительного сырья*, (4). EDN: https://elibrary.ru/VJYXFH
4. Исхакова, К. Р., Денисюк, З. О., Романова, Е. В., Щербакова, Ю. В. (2023). Возможность использования шрота лекарственных растений для получения экстрактов, обладающих антиоксидантными свойствами. В *Сборник конкурсных работ «Жить в XXI веке»* (с. 344–347). Красноярск: Научно-инновационный центр.
5. Казимова, К. Ш., Ахмадуллина, Ф. Ю., Акулов, А. Н., Щербакова, Ю. В., Никитин, Е. Н. (2024). Скрининг параметров извлечения биологически активных веществ из цветов бархатцев распростёртых (Tagetes patula) и оценка антиоксидантной активности их водных экстрактов. *Химия растительного сырья*, (3), 250–258. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240313383. EDN: https://elibrary.ru/GWNKRG
6. Комарова, А. А., Степанова, Т. А. (2018). Элеутерококк колючий — популярный адаптоген Дальнего Востока: история изучения, исследование биологической и фармакотерапевтической активности. *Дальневосточный медицинский журнал*, (2), 65–71. EDN: https://elibrary.ru/XTGXOX
7. Кравченко, Е. М., Одарюк, И. Д. (2021). Сравнение методик определения белка в растительном сырье. В *Химические проблемы современности 2021:*

Сборник материалов V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с. 116–119). Донецк: Донецкий национальный университет. EDN: https://elibrary.ru/PVLHZB

8. Лукичева, В. Н., Нестерова, О. В. (2020). Проведение и анализ качественных химических реакций на определённые группы органических веществ в ферментированном растворе чайного гриба (Medusomyces gisevii лат.). В *Современная медицина: новые подходы и актуальные исследования: сборник материалов международной научно-практической конференции* (с. 521–526). Грозный: Чеченский государственный университет. https://doi.org/10.36684/33-2020-1-521-526. EDN: https://elibrary.ru/MCJNIZ
9. Макарова, Н. В., Валиулина, Д. Ф., Азаров, О. И., Кузнецов, А. А. (2018). Сравнительные исследования содержания фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантной активности яблок разных сортов. *Химия растительного сырья*, (2). https://doi.org/10.14258/jcprm.2018022205. EDN: https://elibrary.ru/XQIGVV
10. Минаков, Д. В., Севодина, К. В., Севодин, В. П. (2016). Культивирование Grifola frondosa на субстрате с берёзовыми опилками. *Техника и технология пищевых производств*, *40*(1), 39–45. EDN: https://elibrary.ru/VRDJAT
11. Петренко, О. А., Романова, Е. В., Исхакова, К. Р. и др. (2023). Получение водных экстрактов на основе шрота фитосырья (тезисы докладов научной конференции). В *Материалы XVIII Всероссийской конференции молодых учёных, аспирантов и студентов с международным участием «Пищевые технологии и биотехнологии»* (с. 379–382). Казань: КНИТУ. EDN: https://elibrary.ru/PXZKXT
12. Попов, В. С., Смятская, Ю. А. (2020). Модифицированный титриметрический метод количественного определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах. *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*, (4). https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.4.04. EDN: https://elibrary.ru/EDGXCM
13. Романов, Н. А., Павлова, Е. В. (2025). Количественное определение содержания рутина в различных сортах зелёного и чёрного чая. *Вестник науки*, (2 (83)). EDN: https://elibrary.ru/SMIKIY
14. Ahmed, R., Niloy, M. A. H. M., Islam, M. S. et al. (2024). Optimizing tea waste as a sustainable substrate for oyster mushroom (Pleurotus ostreatus) cultivation: a comprehensive study on biological efficiency and nutritional aspect. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1308053. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1308053. EDN: https://elibrary.ru/OKFVAC
15. Gao, S., Huang, Z., Feng, X. et al. (2020). Bioconversion of rice straw agro-residues by Lentinula edodes and evaluation of non-volatile taste compounds in mushrooms. *Scientific Reports*, *10*, 1814. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58778-x. EDN: https://elibrary.ru/ULVKVP

16. Haile, A., Gelebo, G. G., Tesfaye, T. et al. (2021). Pulp and paper mill wastes: utilizations and prospects for high value-added biomaterials. *Bioresources and Bioprocessing*, *8*, 35. https://doi.org/10.1186/s40643-021-00385-3. EDN: https://elibrary.ru/EUJRUX
17. Li, X.-T., Zhou, J.-C., Zhou, Y. et al. (2022). Pharmacological effects of Eleutherococcus senticosus on the neurological disorders. *Phytotherapy Research*, *36*. https://doi.org/10.1002/ptr.7555. EDN: https://elibrary.ru/NNJWSC
18. Sadh, P. K., Duhan, S., & Duhan, J. S. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, *5*, 1. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z. EDN: https://elibrary.ru/GHBWYB
19. Suwannarach, N., Kumla, J., Zhao, Y., & Kakumyan, P. (2022). Impact of cultivation substrate and microbial community on improving mushroom productivity: a review. *Biology (Basel)*, *11*(4), 569. https://doi.org/10.3390/biology11040569. EDN: https://elibrary.ru/YISKWB
20. Tohda, C., Matsui, M., Inada, Y., Yang, X., Kuboyama, T., Kimbara, Y., & Watari, H. (2020). Combined treatment with two water extracts of Eleutherococcus senticosus leaf and rhizome of Drynaria fortunei enhances cognitive function: a placebo-controlled, randomized, double-blind study in healthy adults. *Nutrients*, *12*, 303. https://doi.org/10.3390/nu12020303. EDN: https://elibrary.ru/PGRPFL
21. Wu, N., Tian, F., Moodley, O. et al. (2019). Optimization of agro-residues as substrates for Pleurotus pulmonarius production. *AMB Express*, *9*, 184. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0907-1. EDN: https://elibrary.ru/XDMUIF

References

1. Abashkin, I. A., Eleev, Yu. A., Glukhan, E. N., et al. (2021). Methods of extraction of biologically active substances from plant raw materials (review). *Chemistry and Technology of Organic Substances*, *(2 (18))*, 43–59. https://doi.org/10.54468/25876724_2021_2_43. EDN: https://elibrary.ru/NZTCMB
2. Bazarnova, Yu. G., & Ivanchenko, O. B. (2016). Study of the composition of biologically active substances in extracts of wild plants. *Nutrition Issues*, *(5)*, 100–107. EDN: https://elibrary.ru/WYMSPN
3. Grigoriev, L. N., Verentsova, L. G., Shanova, O. A., & Rodionova, A. A. (2015). Production of activated carbon from plant residues and evaluation of its adsorption properties. *Chemistry of Plant Raw Materials*, *(4)*. EDN: https://elibrary.ru/VJYXFH
4. Iskhakova, K. R., Denisyuk, Z. O., Romanova, E. V., & Shcherbakova, Yu. V. (2023). Possibility of using herbal meal for obtaining extracts with antioxidant properties. In *Collection of Competition Works "To Live in the XXI Century"* (pp. 344–347). Krasnoyarsk: Scientific and Innovation Center

5. Kazimova, K. Sh., Akhmadullina, F. Yu., Akulov, A. N., Shcherbakova, Yu. V., & Nikitin, E. N. (2024). Screening of extraction parameters for biologically active substances from *Tagetes patula* flowers and evaluation of antioxidant activity of their aqueous extracts. *Chemistry of Plant Raw Materials*, *(3)*, 250–258. https://doi.org/10.14258/jcprm.20240313383. EDN: https://elibrary.ru/GWNKRG
6. Komarova, A. A., & Stepanova, T. A. (2018). *Ele11utherococcus senticosus* — a popular adaptogen of the Far East: history of study, research of biological and pharmacotherapeutic activity. *Far Eastern Medical Journal*, *(2)*, 65–71. EDN: https://elibrary.ru/XTGXOX
7. Kravchenko, E. M., & Odaryuk, I. D. (2021). Comparison of methods for protein determination in plant raw materials. In *Chemical Problems of Modernity 2021: Collection of Materials of the V International Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists* (pp. 116–119). Donetsk: Donetsk National University. EDN: https://elibrary.ru/PVLHZB
8. Lukicheva, V. N., & Nesterova, O. V. (2020). Conducting and analyzing qualitative chemical reactions for certain groups of organic substances in a fermented solution of kombucha (*Medusomyces gisevii* L.). In *Modern Medicine: New Approaches and Current Research: Collection of Materials of an International Scientific and Practical Conference* (pp. 521–526). Grozny: Chechen State University. https://doi.org/10.36684/33-2020-1-521-526. EDN: https://elibrary.ru/MCJNIZ
9. Makarova, N. V., Valiulina, D. F., Azarov, O. I., & Kuznetsov, A. A. (2018). Comparative studies of phenolic compounds, flavonoids and antioxidant activity in apples of different varieties. *Chemistry of Plant Raw Materials*, *(2)*. https://doi.org/10.14258/jcprm.2018022205. EDN: https://elibrary.ru/XQIGVV
10. Minakov, D. V., Sevodina, K. V., & Sevodin, V. P. (2016). Cultivation of *Grifola frondosa* on a substrate with birch sawdust. *Technique and Technology of Food Production*, *40*(1), 39–45. EDN: https://elibrary.ru/VRDJAT
11. Petrenko, O. A., Romanova, E. V., Iskhakova, K. R., et al. (2023). Obtaining aqueous extracts based on herbal meal (abstracts of scientific conference reports). In *Materials of the XVIII All-Russian Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students with International Participation "Food Technologies and Biotechnologies"* (pp. 379–382). Kazan: KNITU. EDN: https://elibrary.ru/PXZKXT
12. Popov, V. S., & Smyatskaya, Yu. A. (2020). Modified titrimetric method for quantitative determination of vitamin C in colored plant extracts. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, *(4)*. https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.4.04. EDN: https://elibrary.ru/EDGXCM
13. Romanov, N. A., & Pavlova, E. V. (2025). Quantitative determination of rutin content in various varieties of green and black tea. *Bulletin of Science*, *(2 (83))*. EDN: https://elibrary.ru/SMIKIY

14. Ahmed, R., Niloy, M. A. H. M., Islam, M. S., et al. (2024). Optimizing tea waste as a sustainable substrate for oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) cultivation: a comprehensive study on biological efficiency and nutritional aspect. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1308053. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1308053. EDN: https://elibrary.ru/OKFVAC
15. Gao, S., Huang, Z., Feng, X., et al. (2020). Bioconversion of rice straw agro residues by *Lentinula edodes* and evaluation of non-volatile taste compounds in mushrooms. *Scientific Reports*, *10*, 1814. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58778-x. EDN: https://elibrary.ru/ULVKVP
16. Haile, A., Gelebo, G. G., Tesfaye, T., et al. (2021). Pulp and paper mill wastes: utilizations and prospects for high value added biomaterials. *Bioresources and Bioprocessing*, *8*, 35. https://doi.org/10.1186/s40643-021-00385-3. EDN: https://elibrary.ru/EUJRUX
17. Li, X.-T., Zhou, J.-C., Zhou, Y., et al. (2022). Pharmacological effects of *Eleutorococcus senticosus* on neurological disorders. *Phytotherapy Research*, *36*. https://doi.org/10.1002/ptr.7555. EDN: https://elibrary.ru/NNJWSC
18. Sadh, P. K., Duhan, S., & Duhan, J. S. (2018). Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, *5*, 1. https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z. EDN: https://elibrary.ru/GHBWYB
19. Suwannarach, N., Kumla, J., Zhao, Y., & Kakumyan, P. (2022). Impact of cultivation substrate and microbial community on improving mushroom productivity: a review. *Biology (Basel)*, *11*(4), 569. https://doi.org/10.3390/biology11040569. EDN: https://elibrary.ru/YISKWB
20. Tohda, C., Matsui, M., Inada, Y., Yang, X., Kuboyama, T., Kimbara, Y., & Watari, H. (2020). Combined treatment with two water extracts of Eleutherococcus senticosus leaf and rhizome of Drynaria fortunei enhances cognitive function: a placebo-controlled, randomized, double-blind study in healthy adults. *Nutrients*, *12*, 303. https://doi.org/10.3390/nu12020303. EDN: https://elibrary.ru/PGRPFL
21. Wu, N., Tian, F., Moodley, O. et al. (2019). Optimization of agro-residues as substrates for Pleurotus pulmonarius production. *AMB Express*, *9*, 184. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0907-1. EDN: https://elibrary.ru/XDMUIF

ВКЛАД АВТОРОВ

Щербакова Ю.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Закиров Р.К.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Ахмадуллина Ф.Ю.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.
Кузнецова А.А.: сбор и анализ данных.
Петренко О.А.: статистическая обработка.
Щеняцкая О.В.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yuliya V. Shcherbakova: study conception and design, drafting of the manuscript.
Rustem K. Zakirov: study conception, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.
Akhmadullina F. Yunusovna: study conception, editing of the draft of the manuscript, writing of the manuscript.
Alena A. Kuznetsova: data collection and analysis.
Ol'ga A. Petrenko: statistical data analysis.
Oksana V. Shchenyatskaya: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Петренко Ольга Андреевна, бакалавр кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
olga.petrenko.04@bk.ru

Кузнецова Алёна Артёмовна, магистрант кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
Aloynasoft2002@gmail.com

Щеняцкая Оксана Витальевна, бакалавр кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
oksana291203@gmail.com

Щербакова Юлия Владимировна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
balakirevajulia3@mail.ru

Закиров Рустем Каюмович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
ZakirovRK@corp.knrtu.ru

Ахмадуллина Фарида Юнусовна, старший преподаватель кафедры промышленной биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»
ул. К. Маркса, 68, г. Казань, 420015, Российская Федерация
AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ol'ga A. Petrenko, Bachelor's Student, Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
olga.petrenko.04@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-9962-0631

Alena A. Kuznetsova, Master's Student, Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University

68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
aloynasoft2002@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-1811-2341

Oksana V. Shchenyatskaya, Bachelor's Student, Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0515-5040
oksana291203@gmail.com

Yuliya V. Shcherbakova, PhD in Biology, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
balakirevajulia3@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7534-7119
Scopus Author ID: 57433382000

Rustem K. Zakirov, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
ZakirovRK@corp.knrtu.ru
SPIN-code: 6512-3102
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3771-4077
Scopus Author ID: 8933764000

Akhmadullina F. Yunusovna, Senior Lecturer of the Department of Industrial Biotechnology
Kazan National Research Technological University
68, Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation
AkhmadullinaFYu@corp.knrtu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6538-5616

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1289 **EDN: QQGCUO**
УДК 635.262:631.582.9

CC BY NC ND

Научная статья

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИДЕРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) В ДВУПОЛЬНОМ СЕВООБОРОТЕ

А.В. Поляков

Аннотация

Обоснование. Несмотря на высокий спрос и высокую стоимость отечественного чеснока производство его не развивается и урожайность остается на уровне 9 т/га, что в 2-3 раза ниже, чем в Китае и ряде стран Европы. Основными причинами этого является высокая трудоемкость выращивания и необходимость больших площадей для соблюдения севооборотов. Одним из путей решения проблемы является выращивание чеснока в специализированных севооборотах, что позволит эффективно производить чеснок в узко специализированных хозяйствах.

Цель исследования – агроэкологическая оценка выращивания чеснока в двупольном севообороте.

Материалы и методы. Выращивание чеснока и сопутствующие наблюдения осуществляли в полевых условиях в соответствии с существующими методами. Агрохимические анализы проведены в лабораторных условиях с использованием стандартных методик.

Результаты и обсуждение. В статье обоснована эффективность выращивания чеснока в двухпольном севообороте, в котором одно поле используется под чеснок, а второе под сидераты, позволяющим получать высокий и качественный урожай, поддержать плодородие почвы на высоком уровне. Исследования, проведенные в течение пяти ротаций, показали высокую эффективность последовательного возделывания озимой ржи и яровой вики. Ис-

пользование такого сочетания сидератов обеспечило получение около 80 т/га зеленой массы, подавление сорняков, фитопатогенов и урожайность луковиц около 20 т/га.

Заключение. Использование двухпольного севооборота выгодно для всех категорий производителей чеснока. Внедрение такого севооборота позволит решить проблему импортозамещения этой культуры, а также частично обеспечить занятость населения в сельской местности.

Ключевые слова: чеснок; севооборот; сидерат; урожайность; экономическая эффективность

Для цитирования. Поляков, А. В. (2025). Эффективность сидератов при выращивании чеснока (*Allium sativum* L.) в двупольном севообороте. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 270-287. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1289

Original article

EFFICIENCY OF SIDERITES UNDER GROWING GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) IN DOUBLE CROP ROTATION

A.V. Polyakov

Abstract

Background. Despite the high demand and high cost of domestic garlic, its production is not developing and the yield remains at the level of 9 t / ha, which is 2-3 times lower than in China and a number of European countries. The main reasons for this are the high labor intensity of cultivation and the need for large areas to maintain crop rotations. One of the ways to solve the problem is to grow garlic in specialized crop rotations, which will allow efficient production of garlic in highly specialized farms.

Purpose. The purpose of the investigation is agroecological assessment of garlic cultivation in two-field crop rotation.

Materials and methods. Garlic cultivation and related observations were carried out in according to existing methods. Agrochemical analyses were carried out in the laboratory using standard techniques.

Results. The article substantiates the efficiency of garlic cultivation in two-field crop rotation, in which one field is used for garlic, and the second for siderites, allowing to obtain high-quality yield, maintain soil fertility at a high level. Carried

out investigations during five rotations have showed high efficiency of sequential cultivation of winter rye and spring vetch. The use of such a combination of green manure provided the production of about 80 t / ha of green mass, suppression of weeds, phytopathogens and a bulb yield of about 20 t / ha.

Conclusion. The use of the two-field crop rotation is beneficial for all categories of garlic producers. The introduction of such crop rotation will solve the problem of import substitution of this crop, as well as partially provide employment in rural areas.

Keywords: Allium sativum L., garlic; crop rotation; siderites; yield; economic efficiency

For citation. Polyakov, A. V. (2025). Efficiency of siderites under growing garlic (*Allium sativum* L.) in double crop rotation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 270-287. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1289

Введение

В настоящее время наблюдается повышенный интерес к производству чеснока как со стороны крупных производителей сельскохозяйственной продукции, так и мелких, включая фермеров и садоводов любителей.

Этот интерес можно объяснить тем, что объемы производства отечественного чеснока недостаточны для удовлетворения спроса внутреннего рынка, а импортный, менее качественный, не соответствует требованиям российского потребителя. Однако несмотря на высокий спрос и высокую стоимость отечественного чеснока производство этой овощной культуры практически не развивается и урожайность остается на уровне 9 т/га (табл. 1), что почти в 3 раза ниже, чем в Китае и ряде стран Европы.

Таблица 1.

Урожайность чеснока в Российской Федерации, т/га [17]

Округа РФ	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Средняя
Российская Федерация	9,7	9,6	9,2	8,5	8,5	9,4	9,1
Центральный федеральный округ	9,0	8,6	8,2	8,6	8,3	8,2	8,5
Северо-западный федеральный округ	9,7	10,1	8,6	8,5	8,2	8,4	8,9
Южный федеральный округ	6,6	6,8	5,9	6,1	6.2	6,6	6,4
Северо-Кавказский федеральный округ	12,8	13,5	13,2	11,0	11,2	15,1	12,8

Приволжский федеральный округ	11,3	10,6	10,3	9,5	9,9	8,9	10,1
Уральский федеральный округ	9,5	9,9	8,4	8,0	7,8	7,5	8,5
Сибирский федеральный округ	9,2	9,8	9,7	9,4	9,2	9,2	9,4
Дальневосточный федеральный округ	7,4	7,5	7,3	7,2	7,2	6,9	7,2

Основными причинами этого является высокая трудоемкость выращивания и необходимость больших площадей для соблюдения севооборотов.

Чеснок (*Allium sativum* L.) – вегетативно размножаемое растение и, в связи с этим, приобретенные в период вегетации болезни передаются с посадочным материалом, что приводит к снижению урожайности, потерям при хранении, а в случае поражения вирусами, вырождению сортов.

Для выращивания чеснока рекомендовано возвращение на то же поле не ранее, чем через 3-4 года, то есть, как минимум необходимо соблюдение четырех-пятипольного севооборота [13; 14; 15]. Однако, как показала практика, если не вести комплексной защиты растений и этот период не является достаточным для освобождения почвы от фитопатогенов, и прежде всего от фузариозных гнилей [8] и нематод.

Признано, что севообороты – основа земледелия, использование которых имеет множество положительных хорошо известных свойств [1; 11; 15]. Кроме того, севооборот может изменить соотношение и численность микроорганизмов в почве, стимулировать рост и распространение полезных микроорганизмов, препятствовать развитию вредных микроорганизмов, что имеет решающее значение для поддержания как жизнеспособности почвенной экосистемы, так и повышения урожая [23].

Однако современное производство, подразумевающее высокую специализацию, нуждается в разработке и использовании сокращенных севооборотов, а иногда и монокультуры.

Известен многочисленный опыт многолетнего выращивания картофеля в монокультуре, особенно в частном секторе, а также показана в ряде исследований возможность в течение длительного периода времени получать высокий урожай хорошего качества этого вида растений [9; 19]. Анализ показывает, что такое выращивание имеет как недостатки, так и преимущества.

К недостаткам можно отнести следующие причины:

- накопление в почве инфекции;

- появление и распространение специфических видов сорной растительности и насекомых;

- необходимость больших затрат на поддержание плодородия и структуры почвы, включающую внесение больших доз, прежде всего, органических удобрений, доведение pH до необходимого уровня.

К достоинствам следует отнести высокую степень специализации производства, что позволяет иметь минимальный набор технических средств и оборудования, необходимый для производства данной культуры.

Выращивание чеснока в монокультуре возможно, но крайне осложнено тем, что период от уборки до посадки чеснока слишком мал для накопления растениями, выращиваемыми на зеленое удобрение – сидератами, достаточной массы и недостаточен для ее полной биодеградации. На большей части территории Российской Федерации этот период составляет около двух месяцев (август и сентябрь). Посадка чеснока в почву со свежей органикой опасна развитием болезнетворных микроорганизмов. Кроме того известно, что период между основной обработкой почвы и посадкой должен быть около месяца [14; 15]. В связи с этим для поддержания плодородия почвы на высоком уровне требуется применение большого объема органических удобрений в виде перегноя или нейтрализованного низинного торфа, сапропеля или хорошо разложившегося компоста, что часто дорогостояще, а внесение трудоемко. Учитывая тот факт, что корни чеснока выделяют большое количество органических кислот, которые подкисляют почву, для их нейтрализации необходимо внесение таких веществ, как зола, известь, доломитовая или фосфоритная мука. Выращивание чеснока в монокультуре требует еще большего, чем выращивание в двупольном севообороте внимания защите растений и использованию здорового посадочного материала.

Опыт китайских производителей чеснока показывает возможность выращивания этой культуры в двупольном севообороте. Часто такой севооборот (культурооборот) состоит из чередования таких культур как: чеснок и кукуруза [23], чеснок и огурец [22], а также чеснок и перец или чеснок и пшеница. При этом такой севооборот, как правило, используют в регионах с теплым климатом, позволяющим получить два полноценных урожая двух культур в год. Высокая урожайность чеснока (25-27 т/га) достигается путем применения высоких доз минеральных удобрений (более 2 т/га), пестицидов, мульчирующих пленок, оптимизированных схем посадки, своевременных достаточных поливов. Однако применение такого севооборота уже привело к резкому снижению показателей плодородия почвы.

Содержание гумуса стало приближаться к нулевому значению. При этом с урожаем происходит неконтролируемый вынос эссенциальных и других элементов, что существенно снижает качество продукции. Такая концентрация посадок одной культуры и борьба с фитопатогенами пестицидами в свою очередь приводит не только к снижению качества продукции, накоплению пестицидов в почве, но и росту инфицированности луковиц чеснока фитопатогенными возбудителями болезней.

По нашему мнению, решение проблемы повышения производства чеснока путем специализации производства возможно путем использования разумного сочетания выращивания чеснока в двупольном севообороте, в котором одно поле занято под выращивание чеснока, а второе под выращивание сидеральной культуры. В настоящее время за рубежом на зеленое удобрение используют редис, горчицу, смеси с горохом и викой, китайскую редьку, яровой и озимой рапс, итальянский райграс [24; 25; 26; 27]. В Российской Федерации кроме вышеуказанных культур используют фацелию эспарцет, донник, рожь, люпин, гречиху.

Как показали исследования посевы озимой ржи, горохоовсяной смеси, гороха способны за сезон накапливать от 44,9 т/га до 55,6 т/га биомассы, содержащей от 485 кг/га до 611 кг/га наиболее значимых элементов питания (NPK) [2].

Учитывая комплекс ценных признаков, в наибольшей степени, отвечающий сидеральной культуре, нами изучено влияние на урожайность и качество продукции чеснока таких культуры, как рожь озимая и вика яровая.

Рожь озимая (*Secale cereale* L.) выделяется среди культурных растений высокой зимостойкостью и засухоустойчивостью, сравнительно низкими требованиями к плодородию почвы, внесению удобрений, применению гербицидов и фунгицидов, что позволяет получать относительно дешевую и экологически чистую продукцию [18].

Рожь отличается хорошо развитой корневой системой, проникающей на глубину до полутора - двух метров и высокой усвояющей способностью труднодоступных для других видов культурных растений питательных веществ. После озимой ржи в почве накапливается до 6 т/га корневых остатков, которые богаты азотом, фосфором, калием и кальцием. Глубоко проникающие корни растений ржи, улучшая структуру и плодородие почвы, положительно влияют на ее фитосанитарное состояние. В зависимости от места произрастания, условий выращивания и сортовых особенностей высота растений возделываемых сортов ржи варьирует от 80 до 180 см. Это приводит к хорошему затеняет поверхности почвы и подавляет

рост сорной растительности [20]. Очищение полей от сорняков снижает риск распространения болезней и вредителей. Благодаря этим свойствам рожь следует считать важнейшей сидеральной культурой.

Вика посевная яровая (*Vicia sativa* L.) является высокопродуктивной широко распространенной относительно нетребовательной бобовой кормовой культурой. В результате жизнедеятельности клубеньковых бактерий *Rhizobium leguminosanum* bv. *viceae* на корневой системе в почву поступает до 109 кг/га биологического азота [21]. Растения вики быстро покрывают поверхность почвы стеблями и листьями и тем самым осложняют рост сорной растительности. Имея тонкий стебель, нежные листья и высокое содержание азота растения быстро перегнивают в почве, высвобождая большое количество питательных веществ для последующей культуры.

Учитывая вышеизложенную информацию, *целью исследования* было экспериментальное обоснование интенсификации производства чеснока без нанесения ущерба для экологии и минимизацией затрат при производстве.

Материалы и методики исследования

Исследования проведены в пяти ротациях севооборота в период с 2019 г. по 2024 г. включительно в условиях открытого грунта в соответствии с методическими рекомендациями [12].

Опыты проведены на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, в которой содержание гумуса в слое 0-20 см в пересчете на сухую массу, до начала экспериментов, составляло 2,9%; реакция среды – pH солевой вытяжки 5,6; степень обеспеченности питательными веществами: фосфором – очень высокая, содержание P_2O_5 составляло 458 мг/кг почвы (по Чирикову); калием – очень высокая, содержание K_2O – 190 мг/кг почвы (по Масловой); азотом - низкая, содержание азота составляло 20 мг/кг почвы (по Корнфилду).

Для поддержания высокого уровня плодородия почвы на поле после уборки чеснока перед зяблевой вспашкой удаляли все остатки чеснока, в почву вносили древесную золу из расчета 2,5 т/га, в которой массовая доля P_2O_5 составляла 5,4-5,7%, K_2O – 11,7-12,0%, CaO – 28,1-29,3%. Химический состав золы определяли согласно ГОСТ 105 38-87 [3]. Вспашку почвы проводили на глубину 20-22 см.

В качестве сидеральных культур использовали рожь озимую сорта Фаленская 4 с нормой высева 7,0 млн. шт. всхожих семян, а также вику посевную яровую сорта Льговская 22 с нормой высева 2,5 млн. шт. всхожих

семян. В качестве контроля применяли перегной, полученный из навоза крупного рогатого скота в дозе 20 т/га, в котором содержание сухого вещества составляло 35-47% [4], общего азота – 0,68-0,74% [5], общего фосфора – 0,40-0,44% [6], общего калия – 0,90-0,93% [7]. Посев семян сидеральных культур проводили рядовым способом с расстоянием между рядами 15 см. Посев и запашку сидератов осуществляли согласно данным, указанным в таблице 2. Период между запашкой сидератов, перегноя и посадкой чеснока составлял не менее месяца.

Таблица 2.

Варианты опыта

Варианты опыта	Дата посева	Дата запашки
Рожь, осень	вторая декада сентября	третья декада июня
Рожь, весна	первая декада мая	вторая декада августа
Вика	первая декада мая	вторая декада августа
Рожь вика	вторая декада сентября	третья декада мая
	первая декада июня	вторая декада августа
Перегной, контроль	перед запашкой	вторая декада августа

Опыт заложен в 4-кратной повторности, площадь учетной делянки 10,0 м^2. Способ посадки чеснока - рядовой, расстояние между рядами 25 см, расстояние между растениями в ряду 10 см. Подавление роста сорной растительности в посадках чеснока осуществлялось по мере необходимости механическим способом, как правило, три раза за весенне-летний сезон. Прополку сидератов не проводили. Для оценки поражения фитопатогенными микроорганизмами анализировали по 100 луковиц в каждом варианте.

Исследования проведены с использованием чеснока озимого сорта Император. Для посадки использовали зубки, изолированные из типичных луковиц без признаков поражения. Разделение луковиц на зубки осуществляли за сутки до посадки. Для посадки использовали зубки массой около 7 г, обработанные фунгицидом Максим, КС в концентрации 2 мл препарата на литр воды, путем замачивания в течение 30 минут.

Для лучшего роста растений чеснока в качестве прикорневой подкормки в третьей декаде апреля-первой декаде мая вносили аммиачную селитру из расчета в физическом весе 300 кг/га (содержание N 34,4%). Погодные условия в целом были благоприятными для выращивания чеснока. Полив растений проводили по мере необходимости.

Оценку интенсивности развития болезней проводили через месяц после уборки визуально по очищенным от сухих чешуй зубкам по следующей шкале:

0 – все зубки здоровые;

1 – слабое поражение зубков;

2 – среднее поражение зубков;

3 – сильное поражение зубков.

Степень развития болезней рассчитывали по формуле:

$$R = \frac{\Sigma(ab)}{NK} 100,$$

R - степень развития болезни (%)

∑(ab) - сумма произведений числа зубков на соответствующий им балл поражения;

N - общее количество учтенных зубков;

K - высший балл шкалы учёта.

Для комплексной оценки засоренности посадок чеснока использовали методику [10].

Результаты и обсуждение

Как показали исследования, в период вегетации сидераты накапливают значительную массу органического вещества, составляющую более 40 т/га, а в случае посева семян ржи осенью, запашке растений в конце мая и посеве вики в начале июня с запашкой ее в средине августа - более 72 т/га. При этом суммарное содержание основных питательных веществ (N, P, K) составляло более 500 кг/га, а в варианте последовательного выращивания ржи озимой и вики на одном поле – 784 кг/га, что в 1,6 раза превосходило перегной (табл. 3).

Таблица 3.

Характеристика сидератов по накоплению биомассы и содержанию питательных веществ, 2019-2024 гг.

Сидерат	Урожайность, т/га		Содержание, кг/га			
	зеленая масса	сухое вещество	N	P_2O_5	K_2O	сумма
Рожь, осень	59,7	9,8	149	89	288	526
Рожь, весна	64,5	11,2	158	96	317	571
Рожь, осень	42,6	7,2	109	64	209	382
вика	29,8	4,3	211	65	126	402

Вика	44,7	6,7	307	99	212	618
Перегной	20,0	8,0	196	101	189	486
$НСР_{05}$	5,3					

Во всех вариантах опыта использование сидератов благоприятно сказалось на росте и развитии растений чеснока, что привело к увеличению урожайности. Существенное увеличение урожайности по сравнению с контролем наблюдалось в варианте последовательного выращивания ржи-вики и только вики. В зависимости от варианта опыта прибавка составила от 17,2% до 24,9 %. Повышение урожайности обеспечила большая масса луковиц, которая в лучших вариантах составляла от 70,7 г до 75,1 г, в то время как в контроле этот показатель был на уровне 60,1 г (табл. 4).

Таблица 4.

Урожайность чеснока в двупольном севообороте при использовании сидератов, 2020-2024 гг.

Сидерат	Масса луковицы чеснока		Урожайность луковиц чеснока		Степень развития болезней
	г	%	т/га	%	%
Рожь, осень	61,6	102,5	17,4	103,0	0,2
Рожь, весна	63,8	106,2	18,0	106,5	0,4
Рожь, вика	75,1	125,0	21,1	124,9	0,8
Вика	70,7	117,6	19, 8	117,2	1,3
Перегной	60,1	100,0	16,9	100,0	5,7
$НСР_{05}$			1,4		

Используемые в опыте сидераты в определенной мере сдерживали распространение фитопатогенов. При выращивании чеснока после ржи степень развития болезней луковиц патогенными грибами не превышала 1%, при выращивании чеснока после вики – 1,3%, в то время как при выращивании его после перегноя этот показатель составлял 5,7% (табл. 4). Во всех вариантах поражения луковиц бактериями не наблюдалось. Возможно, причиной слабого поражения чеснока фитопатогенами является то, что чередование культур может усиливать и поддерживать стабильность как микробных экологических сетей, так и взаимодействий между бактериальными и грибковыми сообществами. Привлечение полезных микроорганизмов рода *Bacillus* в ризосферу чеснока формирует биологическую преграду, которая помогает защитить растения от вторжения патогенных грибов вида *Fusarium oxysporum* приводя к снижению заболеваемости [23],

Выращивание сидератов привело к сдерживанию роста и распространению сорной растительности. Показатели числа и массы сорняков были в 2-4 раза меньше по сравнению с контролем. Наибольшее подавление сорной растительности наблюдалось при последовательном выращивании ржи и вики (табл. 5).

Таблица 5.

Средняя засоренность посадок чеснока в пяти ротациях после выращивания сидератов

Сидерат	Уровень засоренности				
	всего сорняков, шт./ м^2	% к контролю	в т.ч. многолетних, шт./м^2	масса, г/м^2	% к контролю
Рожь, осень	62	35,0	6	220	38,1
Рожь, весна	58	32,8	10	182	31,5
Рожь, вика	43	24,3	4	154	26,7
Вика	79	44,6	15	341	59,1
Перегной	177	100,0	8	577	100,0

Агрохимический анализ почвы показал, что практически круглогодичная занятость поля вегетирующими растениями сидеральных культур, запашка молодых, сочных, богатых азотом растений приводила к быстрой их биодеградации, что сопровождалось повышением содержания питательных веществ в почве (табл. 6). Лучшие показатели почвы, по сравнению с изначальными, отмечены при последовательном использовании ржи и вики. Использование этой комбинации сидератов в течение 5 оборотов привело к увеличению содержания гумуса на 10,3%, фосфора – на 13,1%, калия – на 18,9%, азота - на 25,0%. Улучшение показателя кислотности почвы, на 17,9-19,6%, связан с применением золы. Использование только ржи и только вики благотворно сказалось на плодородии почвы. Результат был на уровне применения перегноя в дозе 20 т/га.

Химический анализ показал, что по анализируемым показателям качество полученного чеснока было высоким. Содержание сухого вещества в зубках, выращенных с использованием перегноя, было наиболее высоким и составляло 44,0%. В других вариантах этот показатель варьировал от 40,8% до 42,4%. Содержание сахаров было также высоким и варьировало от 25,0%, варианте с посевом ржи весной до 26,2%, в варианте применения перегноя. Содержание аскорбиновой кислоты варьировало в диапазоне от 6,0% до 6,8%. Самый низкий показатель отмечен при применении перегноя, а самый высокий при применении вики (табл. 7).

Таблица 6.

Агрохимические показатели почвы в посадках чеснока в конце пятого оборота

Сидерат	Содержание гумуса, %		pH		Содержание P_2O_5, мг/кг почвы		Содержание K_2O, мг/кг почвы		Содержание N, мг/кг почвы	
	в конце оборота	% к изначальному	в конце оборота	% к изначальному	в конце оборота	% к изначальному	в конце оборота	% к изначальному	в конце оборота	% к изначальному
Рожь, осень	3,1	104,1	6,6	117,9	477	104,1	217	114,2	22	110,0
Рожь, весна	3,1	104,1	6,6	117,9	479	104,6	220	115,8	23	115,0
Рожь, вика	3,2	110,3	6,6	117,9	518	113,1	226	118,9	25	125,5
Вика	3,0	103,4	6,6	117,9	480	104,8	214	112,6	24	120,0
Перегной	3,1	104,1	6,7	119,6	485	105,9	208	109,5	23	115,0

Таблица 7.

Химический состав зубков

Варианты опыта	Сухое вещество, %	Сахара, %			Аскорбиновая кислота, мг%
		моно-	ди-	сумма	
Рожь, осень	41,9	0,2	25,2	25,4	6,2
Рожь, весна	40,8	0,2	24,8	25,0	6,4
Рожь, вика	42,4	0,2	25,6	25,8	6,5
Вика	42,2	0,2	25,1	25,3	6,8
Перегной	44,0	0,2	26,0	26,2	6,0

Полученные данные свидетельствуют о том, что использование двупольного севооборота может быть выгодно для всех категорий производителей чеснока. Однако особенно привлекательным оно может быть для фермеров и индивидуальных предпринимателей, имеющих относительно небольшие земельные участки. Расчеты показывают, что выращивание этой культуры даже на площади в 10-50 соток может быть прибыльным. Для обработки такой площади не требуется дорогостоящая техника и семья из 2 человек может успешно справиться со всем необходимым комплексом работ. Даже при относительно невысокой урожайности в 10 тонн на гектар и реализационной цене чеснока хорошего качества 200-300 руб./кг с 10 соток можно получить продукцию на сумму 20-30 тысяч рублей, с 50 соток - 1,0 - 1,5 млн. руб. Примерно одну четвертую-пятую часть урожая необходимо будет оставлять на посадку, но и оставшейся суммы будет достаточно для того, чтобы покрыть основные расходы.

Заключение

Проведенные исследования показали высокую эффективность использования сидератов в посадках чеснока, особенно в варианте посева озимой ржи осенью, запашке ее в конце мая и посеве вики в первой декаде июня и запашке ее во второй декаде августа. Использование такой комбинации сидератов обеспечивает получение около 80 т/га зеленой массы, прибавку урожайности не менее 20% по сравнению с контролем, получение высококачественной продукции, сдерживание роста и развития сорной растительности и фитопатогенов.

Массовое внедрение такого севооборота позволит осуществить частичную занятость населения в сельской местности и решить задачу импортозамещения этой ценной овощной, с выраженными лечебными свойствами культуры.

Заключение комитета по этике. Представленная статья не содержит каких-либо исследований связанных с людьми или животными, использованных в качестве исследуемых объектов.

Информация о конфликте интересов. Автор подтверждает отсутствие конфликтов интересов.

Информация о спонсорстве. Исследования проведены по инициативе и на средства автора.

Благодарности. Я бесконечно благодарен моей жене, Поляковой Екатерине Валентиновне, за понимание и всяческую поддержку.

Список литературы

1. Баздырев, Г. И., Лошаков, В. Г., & Пупонин, А. И. (2000). *Земледелие* (550 с., ил., с. 168).
2. Борисов, В. А. (2016). *Система удобрений овощных культур* (392 с.). Москва: ФГБНУ «Росинформагротех».
3. ГОСТ 10538-87. *Межгосударственный стандарт. Топливо твёрдое. Методы определения химического состава золы* (Дата введения 01.01.1988).
4. ГОСТ 26713-85. *Государственный стандарт Союза ССР. Удобрения органические. Метод определения влажности и сухого остатка* (Дата введения 01.01.1987).
5. ГОСТ 26715-85. *Государственный стандарт Союза ССР. Удобрения органические. Метод определения общего азота* (Дата введения 01.01.1987).
6. ГОСТ 26718-85. *Государственный стандарт Союза ССР. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора* (Дата введения 01.01.1987).

7. ГОСТ 26718-85. *Государственный стандарт Союза ССР. Удобрения органические. Метод определения общего калия* (Дата введения 01.01.1987).
8. Диаките, С., Поляков, А. В., Стахеев, А. А., Алексеева, Т. В., Завриев, С. К., & Said, R. R. (2022). Видовой состав грибов рода Fusarium Link на культуре чеснока в условиях Московской области. *Сельскохозяйственная биология*, *57*(1), 151–157. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.151rus. EDN: https://elibrary.ru/ZHQSAF
9. Засорина, Э. В., Родионов, К. Л., & Коротченков, А. А. (2010). Приёмы повышения продуктивности монокультуры картофеля. В *Научное обеспечение агропромышленного производства* (с. 275–278). EDN: https://elibrary.ru/UXJEMV
10. Захаренко, В. А., & Захаренко, А. В. (2007). Борьба с сорняками в посевах зерновых колосовых культур. *Защита и карантин растений*, (2), 48 с. EDN: https://elibrary.ru/HYLVIX
11. Литвинов, С. С. (2008). *Научные основы современного овощеводства* (776 с.). Москва: РАСХН-ВНИИО. EDN: https://elibrary.ru/VXPYYR
12. Литвинов, С. С. (2011). *Методика полевого опыта в овощеводстве* (650 с.). Москва: ГНУ ВНИИО. EDN: https://elibrary.ru/VVLERZ
13. Пивоваров, В. Ф., Ершов, И. И., & Агафонов, А. Ф. (2001). *Луковые культуры* (500 с., с. 162). Москва: ВНИИССОК. EDN: https://elibrary.ru/WQDCMJ
14. Поляков, А. В., & Алексеева, Т. В. (2022). *Производство чеснока озимого (Allium sativum L.) из воздушных луковичек: монография* (118 с., с. 57). Москва: МГОУ. ISBN: 978-5-7017-3372-3. EDN: https://elibrary.ru/LXVWVM
15. Попков, В. А. (2012). *Чеснок: биология, технология, экономика* (768 с.). Минск: НашаИдея.
16. Разлукина, М. Л., Борисов, В. А., & Журавлёв, Н. Г. (1984). Промежуточные культуры в интенсивном овощеводстве. *Картофель и овощи*, (11), 14–16.
17. Росстат. Получено из: https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL
18. Саранин, К. И., & Беляков, И. И. (1986). *Озимая рожь в Нечерноземье* (173 с.). Москва: Россельхозиздат.
19. Смирнова, А. В., Хлопов, А. А., & Лыбенко, Е. С. (2023). Агроэкологическая оценка монокультуры картофеля на торфяных почвах. *Картофель и овощи*, (9), 25–29. https://doi.org/10.25630/PAV.2023.43.36.005. EDN: https://elibrary.ru/UPRWNF
20. Уткина, Е. И., Кедрова, Л. И., Шамова, М. Г. и др. (2021). *Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия: научно-практические рекомендации* (120 с.). Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. ISBN: 978-5-7352-0162-5. EDN: https://elibrary.ru/ZDQRNO

21. Храмовой, В. К., Рахимова, О. В., & Малахова, Е. И. (2002). Влияние азотных удобрений и способов размещения компонентов вико-овсяной зерносмеси на семенную продуктивность и азотфиксирующую активность вики посевной. *Доклады ТСХА*, 274, 305–309.
22. Ding, H., Alia, A., & Cheng, Zh. (2020). Effect of green garlic/cucumber crop rotation for 3 years on the dynamics of soil properties and cucumber yield in Chinese anthrosol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*, 362–370. https://doi.org/10.1002/jsfa.10050
23. He, Sh., Lv, M., Wang, R. et al. (2024). Long-term garlic–maize rotation maintains the stable garlic rhizosphere microecology. *Environmental Microbiome*, 1–14. https://doi.org/10.1186/s40793-024-00636-8
24. Gill, K., Sandhu, S., Mor, M., Kalmodiya, T., & Singh, M. (2020). Role of green manuring in sustainable agriculture: a review. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, *7*(7), 2361–2366.
25. Morris, R. A., Turos, R. E., & Diros, M. A. (1986). Rice responses to start duration green manure. *Grain Field Agrarian Journal*, (3), 409–412.
26. Morris, R. A. (1996). Organic farming prospekt compared with conceptional faring. B *Phosphorus in Agriculture* (c. 36–82).
27. Tine, W. W., & Blevins, R. J. (1999). Green manuring. *Outlook on Agriculture*, *13*(1), 20–33.

References

1. Bazdyrev, G. I., Loshakov, V. G., & Puponin, A. I. (2000). *Agriculture*. 550 p., ill., p. 168
2. Borisov, V. A. (2016). *Fertilization system for vegetable crops*. 392 p. Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”
3. GOST 10538-87. Interstate standard. *Solid fuel. Methods for determining the chemical composition of ash*. Effective from 01.01.1988
4. GOST 26713-85. State Standard of the USSR. *Organic fertilizers. Method for determination of moisture and dry residue*. Effective from 01.01.1987
5. GOST 26715-85. State Standard of the USSR. *Organic fertilizers. Method for determination of total nitrogen*. Effective from 01.01.1987
6. GOST 26718-85. State Standard of the USSR. *Organic fertilizers. Method for determination of total phosphorus*. Effective from 01.01.1987
7. GOST 26718-85. State Standard of the USSR. *Organic fertilizers. Method for determination of total potassium*. Effective from 01.01.1987
8. Diakité, S., Polyakov, A. V., Stakheev, A. A., Alekseeva, T. V., Zavriev, S. K., & Said, R. R. (2022). Species composition of fungi of the genus *Fusarium* Link

on garlic crops in the Moscow region. *Agricultural Biology*, *57*(1), 151–157. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.151rus. EDN: https://elibrary.ru/ZHQSAF

9. Zasorina, E. V., Rodionov, K. L., & Korotchenkov, A. A. (2010). Techniques for increasing the productivity of potato monoculture. In *Scientific Support of Agro-Industrial Production* (pp. 275–278). EDN: https://elibrary.ru/UXJEMV
10. Zakharenko, V. A., & Zakharenko, A. V. (2007). Weed control in cereal crops. *Plant Protection and Quarantine*, *(2)*, 48 p. EDN: https://elibrary.ru/HYLVIX
11. Litvinov, S. S. (2008). *Scientific foundations of modern vegetable growing*. 776 p. Moscow: RASKHN VNIIO. EDN: https://elibrary.ru/VXPYYR
12. Litvinov, S. S. (2011). *Field experiment methodology in vegetable growing*. 650 p. Moscow: GNU VNIIO. EDN: https://elibrary.ru/VVLERZ
13. Pivovarov, V. F., Ershov, I. I., & Agafonov, A. F. (2001). *Allium crops*. 500 p., p. 162. Moscow: VNIISSOK. EDN: https://elibrary.ru/WQDCMJ
14. Polyakov, A. V., & Alekseeva, T. V. (2022). *Production of winter garlic (Allium sativum L.) from aerial bulbs: monograph*. 118 p., p. 57. Moscow: MGOU. ISBN: 978-5-7017-3372-3. EDN: https://elibrary.ru/LXVWVM
15. Popkov, V. A. (2012). *Garlic: biology, technology, economics*. 768 p. Minsk: NashaIdeya
16. Razlukina, M. L., Borisov, V. A., & Zhuravlev, N. G. (1984). Intermediate crops in intensive vegetable growing. *Potato and Vegetables*, *(11)*, 14–16
17. Rosstat. Retrieved from: https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL
18. Saranin, K. I., & Belyakov, I. I. (1986). *Winter rye in the Non-Chernozem region*. 173 p. Moscow: Rosselkhozizdat
19. Smirnova, A. V., Khlopov, A. A., & Lybenko, E. S. (2023). Agroecological assessment of potato monoculture on peat soils. *Potato and Vegetables*, *(9)*, 25–29. https://doi.org/10.25630/PAV.2023.43.36.005. EDN: https://elibrary.ru/UPRWNF
20. Utkina, E. I., Kedrova, L. I., Shamova, M. G., et al. (2021). *Cultivation of winter rye in northern farming conditions: scientific and practical recommendations*. 120 p. Kirov: FGBNU FANTS Severo-Vostoka. ISBN: 978-5-7352-0162-5. EDN: https://elibrary.ru/ZDQRNO
21. Khramovoy, V. K., Rakhimova, O. V., & Malakhova, E. I. (2002). Effect of nitrogen fertilizers and placement methods of components of vetch-oat grain mixture on seed productivity and nitrogen-fixing activity of common vetch. *Reports of the Timiryazev Agricultural Academy*, *274*, 305–309
22. Ding, H., Alia, A., & Cheng, Zh. (2020). Effect of green garlic/cucumber crop rotation for 3 years on the dynamics of soil properties and cucumber yield in

Chinese anthrosol. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *100*, 362–370. https://doi.org/10.1002/jsfa.10050
23. He, Sh., Lv, M., Wang, R., et al. (2024). Long-term garlic–maize rotation maintains the stable garlic rhizosphere microecology. *Environmental Microbiome*, 1–14. https://doi.org/10.1186/s40793-024-00636-8
24. Gill, K., Sandhu, S., Mor, M., Kalmodiya, T., & Singh, M. (2020). Role of green manuring in sustainable agriculture: a review. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, *7*(7), 2361–2366
25. Morris, R. A., Turos, R. E., & Diros, M. A. (1986). Rice responses to start duration green manure. *Grain Field Agrarian Journal*, *(3)*, 409–412
26. Morris, R. A. (1996). Organic farming prospect compared with conventional farming. In *Phosphorus in Agriculture* (pp. 36–82)
27. Tine, W. W., & Blevins, R. J. (1999). Green manuring. *Outlook on Agriculture*, *13*(1), 20–33.

ВКЛАД АВТОРА

Все исследования, написание и подготовка статьи выполнены лично автором.

AUTHOR CONTRIBUTION

All investigations, writing and preparation of the article was carried out personally by the author.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Поляков Алексей Васильевич, д-р биол. наук, профессор по специальности «Биотехнология», главный научный сотрудник сектора агробиотехнологий

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО-филиал ФГБНУ ФНЦО)

Верея, 500, Раменский район, Московская область, 140153, Российская Федерация.

vita100plus@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Aleksey V. Polyakov, Dr. Sc. (Biology), Professor in the specialty “Biotechnology”, Chief Researcher of the Agrobiotechnology Sector

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing"
500, Vereya, Ramensky District, Moscow Region, 140153, Russian Federation
vita100plus@yandex.ru
SPIN-code: 8248-1588
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5413-0770
ResearchID: J-6504-2-18
Scopus AuthorID: 5721342323

Поступила 10.02.2025
После рецензирования 28.04.2025
Принята 14.05.2025

Received 10.02.2025
Revised 28.04.2025
Accepted 14.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1343 **EDN: RWIILZ**
УДК 632.4.01/.08

CC BY NC ND

Научная статья

ИЗМЕНЕНИЕ ВИРУЛЕНТНОСТИ И АГРЕССИВНОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *PUCCINIA HORDEI* И *PYRENOPHORA TERES* ПОД ВЛИЯНИЕМ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ФУНГИЦИДА ИЗ КЛАССА ТРИАЗОЛОВ И СТРОБИЛУРИНОВ

М.С. Гвоздева, О.А. Кудинова, Я.В. Яхник, В.Д. Руденко, Г.В. Волкова

Аннотация

Обоснование. Потеря чувствительности возбудителей болезней к фунгицидам приводит к снижению эффективности традиционных средств защиты, что негативно сказывается на урожайности и качестве сельскохозяйственной продукции.

Цель исследования – анализ вирулентности и агрессивности популяций *Puccinia hordei* и *Pyrenophora teres* под действием двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (180 г/л пропиконазола + 120 г/л азоксистробина).

Материалы и методы. Приживление фитопатогенов, выделение в чистую культуру и создание искусственных инфекционных фонов проводили по существующим методикам. В опыте использовали несколько норм применения фунгицида: 50 %, 100 %, 150 % и 200 %. Рекомендуемая производителями норма применения препарата (0,6 л/га) была принята за 100 %.

Результаты. Для популяции облигатного патогена *P. hordei* установлено увеличение латентного периода (от 168 ч для исходной популяция без обработки до 192 ч в норме применения 200 % от рекомендуемой), снижение спорулирующей способности (от 0,013 мг спор с одной пустулы в исходной популяции до 0,002 мг в норме применения 200%), жизнеспособности (от 100% в исходной популяции до 24,2% в норме применения 200% от рекомендуемой). В отношении гемибиотрофного гриба *P. teres* отмечено уменьшение длительности латентного периода (от 149 ч. в исходной популяции до 101

ч. при обработке нормой применения фунгицида 50 % от рекомендуемой), инкубационного периода (от 101 ч в исходной популяции до 77 ч в норме применения 150 % от рекомендуемой), спорулирующей способности (от 5,8 *10^3 конидий в 1 мл суспензии в исходной популяции до 2,3*10^3 конидий в норме применения 200 %). Не выявлено влияние обработки фунгицидом в различных нормах применения на рост колоний *P. teres*. Отмечено снижение средней вирулентности обеих популяций по сравнению с исходной необработанной популяцией (от 97,1 % до 37,0 %), показатель которой был принят за 100 %.

Заключение. Установлено снижение агрессивности и вирулентности *P. hordei* и *P. teres* под влиянием фунгицида Балий, что указывает на чувствительность патогенов к фунгициду. Для предотвращения возможного риска возникновения резистентности популяций необходим перманентный мониторинг динамики внутрипопуляционной структуры.

Ключевые слова: ячмень озимый; карликовая ржавчина; сетчатая пятнистость листьев; фунгицид; резистентность; патогенность; агрессивность; вирулентность

Для цитирования. Гвоздева, М. С., Кудинова, О. А., Яхник, Я. В., Руденко, В. Д., & Волкова, Г. В. (2025). Изменение вирулентности и агрессивности популяций *Puccinia hordei* и *Pyrenophora teres* под влиянием двухкомпонентного фунгицида из класса триазолов и стробилуринов. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 288-311. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1343

Original article

CHANGES IN VIRULENCE AND AGGRESSIVENESS OF *PUCCINIA HORDEI* AND *PYRENOPHORA TERES* POPULATIONS INDUCED BY TRIAZOLE AND STROBILURIN CLASS FUNGICIDES

M.S. Gvozdeva, O.A. Kudinova, Ya.V. Yakhnik, V.D. Rudenko, G.V. Volkova

Abstract

Background. Loss of sensitivity of pathogens to fungicides leads to a decrease in the effectiveness of traditional means of protection, which negatively affects the yield and quality of agricultural products.

The **purpose** of the study was to analyze virulence and aggressiveness of *Puccinia hordei* and *Pyrenophora teres* populations under the influence of two-component fungicide Baliy, CME (180 g/l propiconazole + 120 g/l azoxystrobin).

Materials and methods. The engraftment of phytopathogens, isolation into pure culture and creation of artificial infectious backgrounds were carried out according to existing methods. Several fungicide application rates were used in the experiment: 50%, 100%, 150% and 200%. The application rate of the preparation recommended by the manufacturers (0.6 l/ha) was taken as 100%.

Results. For the population of the obligate pathogen *P. hordei*, an increase in latency period (from 168 h for the initial population without treatment to 192 h in the application rate of 200% of the recommended rate), a decrease in sporulation ability (from 0.013 mg of spores per pustule in the initial population to 0,002 mg in the application rate of 200%), and viability (from 100% in the initial population to 24,2% in the application rate of 200% of the recommended rate) were found. With respect to hemibiotrophic fungus *P. teres*, a decrease in the duration of latent period (from 149 h in the original population to 101 h when treated with fungicide application rate of 50 % of the recommended), incubation period (from 101 h in the original population to 77 h in the application rate of 150% of the recommended), sporulating ability (from 5,8 *103 conidia in 1 ml of suspension in the original population to 2,3 *103 conidia in the application rate of 200%) was observed. No effect of fungicide treatment at different application rates on *P. teres* colony growth was detected. The average virulence of both populations decreased compared to the initial untreated population (from 97,1 % to 37,0 %), which was taken as 100%.

Conclusion. A decrease in aggressiveness and virulence of *P. hordei* and *P. teres* under the influence of Baliy fungicide was found, indicating that the pathogens are sensitive to the fungicide. Permanent monitoring of the dynamics of intrapopulation structure is necessary to prevent the possible risk of resistance of populations.

Keywords: winter barley; barley leaf rust; spot blotch; fungicide; resistance; pathogenicity; aggressiveness; virulence

For citation. Gvozdeva, M. S., Kudinova, O. A., Yakhnik, Ya. V., Rudenko, V. D., & Volkova, G. V. (2025). Changes in virulence and aggressiveness of *Puccinia hordei* and *Pyrenophora teres* populations induced by triazole and strobilurin class fungicides. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 288-311. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1343

Введение

Сетчатая пятнистость (возбудитель *Pyrenophora teres* Drechsler) и карликовая ржавчина (возбудитель *Puccinia hordei* Otth.) являются одними из

доминирующих грибных болезней листьев ячменя в мире [30; 35] и в южном регионе России [19; 46]. *P. teres* – гемибиотрофный аскомицет, поражающий, помимо ячменя, другие растения родов *Hordeum, Agropyron, Bromus, Elymus, Hordelymus* и *Stipa* [32]. *P. hordei* – биотрофный базидимицет, поражающий ячмень и его дикие сородичи из рода *Hordeum* [27]. При благоприятных для развития болезней условиях данные патогены могут быть вредоносны, потери урожая составляют в среднем от 40 до 80 % [14; 16].

Исторически данные болезни, как и любые болезни зерновых культур, успешно контролируются с помощью фунгицидов [36]. В условиях современного сельскохозяйственного производства применение фунгицидов является необходимым условием сохранения урожайности и качества сельскохозяйственных культур [28]. Это неизбежно приводит к появлению в популяциях фитопатогенов резистентных к фунгицидам изолятов и ставит под угрозу контроль над болезнями растений [41]. По данным Fungicide Resistance Action Committee (FRAC), зарегистрирована устойчивость к 100 действующим веществам у порядка 230 грибных патогенов растений на различных культурах [24]. Ржавчинные грибы относятся к патогенам с низким риском развития резистентности [38], исследователи отмечают отсутствие изменения чувствительности изолятов ржавчинных грибов к фунгицидам из класса стробилуринов [26], морфолинов [37] и фунгицидов из других химических классов [45]. Тем не менее, существует мнение, что ржавчинные грибы имеют много сходств с патогенами, отнесенными к высокому риску развития резистентности (быстро формируют массовые эпифитотии в благоприятных условиях, могут распространяться на большие расстояния, имеют короткий жизненный цикл в уредостадии, способны экспрессировать мутантные гены), поэтому они ошибочно отнесены к патогенам с низким риском развития резистентности [33]. В литературе периодически регистрируется устойчивость ржавчинных грибов к фунгицидам из класса триазолов. Так, например, в Китае описана устойчивость изолятов *Puccinia striiformis* и *Puccinia triticina* к триадимефону [40; 41]. В России также была описана резистентность изолятов ржавчинных грибов к фунгицидам триазолового класса: *P. striiformis* к триадимефону [2], *P. triticina* – к тебуконазолу [4]. Установлено, что под влиянием фунгицида происходит изменение агрессивности и вирулентности, а также снижение чувствительности популяции фитопатогена. В отношении *P. hordei* таких работ не проводилось как в России, так и за рубежом.

Гриб P. teres, из-за смешанного способа размножения, способен к более быстрой адаптации к действию фунгицидов различных химических

классов. Начиная с 1985 г. [44], имеются многочисленные сообщения об устойчивости изолятов *P. teres* к фунгицидам из класса триазолов [20; 34; 43]. Изоляты *P. teres*, резистентные к стробилуринам, впервые были зарегистрированы в 2004 году [18], в настоящее время резистентные к фунгицидам изоляты гриба распространены в разных странах [20; 23; 29; 42]. Ввиду важности вопроса появления резистентных изолятов *P. teres* к фунгицидам и неизученности этого направления в России, такие исследования начали проводиться в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) с 2023 г. [3; 13].

В целях предотвращения появления резистентных изолятов в популяциях доминирующих на юге России фитопатогенов ячменя необходим перманентный мониторинг их чувствительности к фунгицидам. Как правило, для снижения развития листовых болезней проводятся обработки зерновых культур фунгицидами на основе триазолов и стробилуринов [11]. Одним из таких является двухкомпонентный препарат Балий, КМЭ (120 г/л азоксистробина + 180 г/л пропиконазола), обладающий системным действием и имеющий современную препаративную форму [9].

Цель исследования – анализ вирулентности и агрессивности популяций *P. hordei* и *P. teres* под влиянием двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (180 г/л пропиконазола + 120 г/л азоксистробина).

Материалы и методы исследования

Для выполнения исследования были проведены маршрутные обследования производственных посевов ячменя озимого на территории Республики Адыгея, Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев, в ходе которых отобраны образцы растений, пораженные карликовой ржавчиной и сетчатой пятнистостью листьев. Гербарий хранили при температуре +4 °С [5]. Для приживления популяции *P. hordei* в 0.5 л вазоны был высеян восприимчивый к патогену сорт Вират (оригинатор: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Аграрный научный центр «Донской»).

Для создания искусственного инфекционного фона карликовой ржавчины в фазу всходов ячменя споровую суспензию гриба втирали в листья, затем растения выдерживали в камере при температуре +20 °С и капельножидкой влаге в течение 16 часов. Далее зараженные проростки выращивали в условиях теплицы при относительной влажности воздуха 70-80 %, температуре +20-22 °С и освещенности 10-15 тыс. люкс со сменой дня

и ночи (16/8 часов) [5]. Для искусственного заражения растений ячменя озимого сорта Романс использовали спорово-мицелиальную суспензию чистой культуры гриба *P. teres*, предварительно выделенную из гербарного материала [5]. Зараженные патогеном проростки ячменя помещали во влажную камеру при температуре +18-20 °С на 24 часа, затем переносили в климатическую камеру и содержали при температуре +23-25 °С, освещении 30 Вт UVB 280-315 нм и относительной влажности воздуха 80.0 % [5]. Через 6–7 суток после инокуляции растений ячменя популяцией *P. hordei* и через 3 суток после инокуляции популяцией *P. teres* (при появлении первых признаков болезни) проводили обработку фунгицидом Балий, КМЭ в различных нормах применения: 50 %, 100 %, 150 %, 200 % от рекомендуемой. За 100 % принята нижняя граница рекомендуемой нормы применения согласно справочнику пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории РФ 2023 г. В качестве контроля использовали растения, зараженные патогеном без обработки фунгицидом.

Для оценки показателей агрессивности популяции было проведено повторное заражение интактных растений ячменя спорами карликовой ржавчины, собранными с каждого варианта опыта. В ходе эксперимента оценивали следующие характеристики: латентный период (промежуток времени с момента инокуляции споровой суспензией *P. hordei* до раскрытия пустул) [8], длительность споруляции (с начала раскрытия пустул до завершения споруляции) [10], спорулирующая способность (масса спор с одной пустулы, мг) [10], жизнеспособность (количество проросших спор патогена при содержании биоматериала в условиях капельножидкой влажности в течение 24 часов).

Относительно сетчатой пятнистости с каждого варианта опыта, обработанного различными нормами применения фунгицида, были отобраны пораженные участки и выделена чистая культура *P. teres*. Затем проведена оценка показателей агрессивности гриба: скорость роста колоний гриба на питательной среде (измерение диаметра колонии через 7 суток культивирования], интенсивность споруляции колоний гриба (количество спор в 1 мл конидиальной суспензии) и латентный период (промежуток времени с момента инокуляции до образования конидий) [7]. При повторном заражении интактных растений ячменя спорово-мицелиальной суспензией проведена оценка инкубационного периода (промежуток времени от момента заражения до проявления симптомов болезни) [21].

Для каждого патогена определено изменение средней вирулентности популяций под действием различных норм применения фунгицида. Был

использован набор сортов и линий ячменя, содержащих известные *Rph*-гены устойчивости к возбудителю карликовой ржавчины и набор сортов и линий, содержащих известные *Ptr*-гены устойчивости к возбудителю сетчатой пятнистости листьев [1; 22].

Статистическую достоверность показателей агрессивности оценивали с помощью критерия Фишера (α=0,05). Различия между изолятами популяций по фенотипическому составу и частоте аллелей вирулентности определяли согласно индексу Нея [31].

В исследованиях использована материально-техническая база Уникальной научной установки (УНУ) «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (https://fncbzr.ru/brk-i-unu/unique-installation-2/) и объекты биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов» (https://fncbzr.ru/brk-i-unu/unique-installation-1/).

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено изменение показателей агрессивности популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием фунгицида Балий, КМЭ. Обработка растений, зараженных карликовой ржавчиной, способствовала увеличению латентного периода гриба (рис. 1). В варианте с нормой применения 50-150 % от рекомендуемой этот показатель оставался на уровне исходной популяции (168 ч), при увеличении нормы до 200 % латентный период возрастал до 192 ч (Ff 12.0> Ft 5.32). Латентный период исходной популяции (без обработки) сетчатой пятнистости листьев составил 149 ч. Под действием препарата этот показатель изменялся от 101 ч (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 139 ч (норма применения 150-200 %), однако достоверных различий с исходной популяцией не выявлено (Ff 3.0> Ft 10.1).

С увеличением нормы применения фунгицида Балий, КМЭ установлено снижение спорулирующей способности гриба *P. hordei*. Для исходной популяции (без обработки) этот показатель составил 0,013 мг спор с одной пустулы. Под действием препарата спорулирующая способность патогена снижалась от 0,005 мг (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 0,002 мг (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Для гриба *P. teres*, выделенного в чистую культуру после обработки фунгицидом с нормой применения 50 % от рекомендуемой, спорулиция была значительно выше в сравнении с исходной популяцией (без обработки) и составила $7.0*10^3$ конидий в 1 мл суспензии. С увеличением нормы применения препарата (200 % от рекомендуемой) этот показатель снижал-

ся до 2.3*10^3 конидий в 1 мл (F_f 7.6> F_t4.6). Спорулирующая способность исходной популяции (без обработки), была на уровне 5.8 *10^3 конидий в 1 мл суспензии.

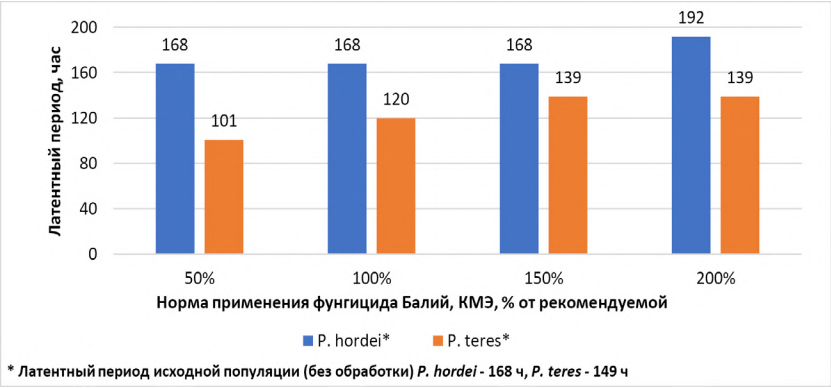


Рис. 1. Изменение латентного периода популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Проанализирована длительность инкубационного периода популяции сетчатой пятнистости листьев под влиянием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (рис. 2). В варианте с исходной популяцией (без обработки) этот показатель был на уровне 101 ч. При обработке растений ячменя препаратом с нормами применения 50-150 % от рекомендуемой отмечалось резкое снижение длительности инкубационного периода от 84 ч до 67 ч. Повышение нормы применения фунгицида до 200 % от рекомендуемой способствовало достоверному увеличению изучаемого показателя до 77 ч (Ff 32,8> Ft 10,1).

Установлено влияние действия фунгицида Балий, КМЭ на рост колоний гриба *P. teres*. Линейная зависимость от нормы применения препарата выявлена не была. Диаметр колонии варьировал от 29.3 мм (рекомендуемая норма применения) до 33.0 мм (норма применения 50 % от рекомендуемой). Для исходной популяции (без обработки) этот показатель составил 26.6 мм (F_f 34,8> F_t 7,7).

Проведена оценка жизнеспособности спор гриба *P. hordei* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ. Для исходной популяции (без обработки) карликовой ржавчины этот показатель был принят за 100 %. При обработке растений препаратом с нормой примене-

ния 50 % от рекомендуемой отмечено снижение жизнеспособности спор до 49.2 %, а при норме применения 200 % от рекомендуемой – до 24.2 % (рис. 3).

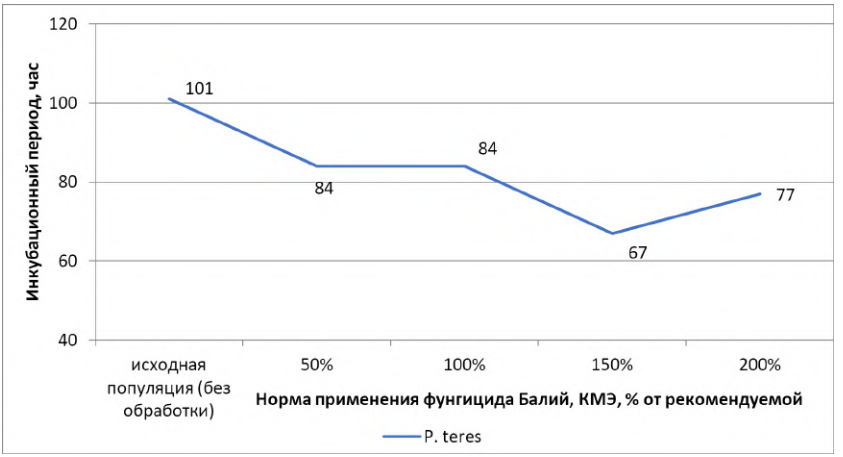


Рис. 2. Инкубационный период популяций сетчатой пятнистости листьев ячменя под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (лабораторный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

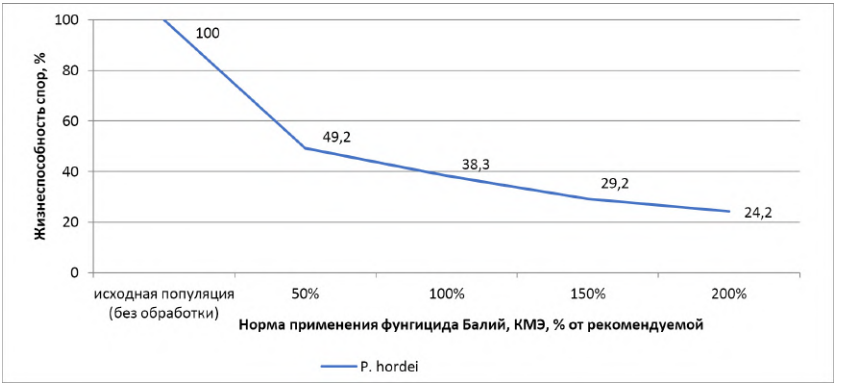


Рис. 3. Влияние разных норм применения фунгицида Балий, КМЭ на жизнеспособность спор карликовой ржавчины ячменя (лабораторный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Установлено изменение вирулентности популяций *P. hordei* под действием фунгицида Балий, КМЭ. С увеличением нормы применения препарата

происходило снижение вирулентности популяции карликовой ржавчины к линиям с генами *Rph2, Rph3, Rph5, Rph6+2, Rph8, Rph12* (табл.1). Использование нормы применения 150 % от рекомендуемой сопровождалось элиминацией вирулентности популяции *P. hordei* к *Rph13, Rph19.* Вирулентность популяции гриба к линиям с генами *Rph1, Rph4, Rph9, Rph13, Rph19, Rph21+2, Rph25,* снизилась во всех вариантах по сравнению с исходной популяцией (без обработки). Согласно индексу Нея, различия по вирулентности между парами сравниваемых популяций составили от 0,19 у.е. (исходная популяция – популяция, обработанная фунгицидом с нормой применения 50 %) до 0,22 у.е. (исходная популяция – популяция, обработанная фунгицидом с нормой применения 100-150 %).

Установлено снижение средней вирулентности популяций *P. hordei* и *P. teres* по сравнению с исходными популяциями без обработки. Средняя вирулентность для исходных популяций фитопатогенов (без обработки) была принята за 100 % (рис. 4). При этом повышение нормы фунгицида способствовало увеличению средней вирулентности популяции возбудителя сетчатой пятнистости (86.1-97.1%) и снижению этого показателя для популяции возбудителя карликовой ржавчины (49.0-37.0 %).

Таблица 1.

Влияние разных норм применения фунгицида Балий, КМЭ на вирулентность популяции *P. hordei*, (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

№	Сорт	ген	Норма применения фунгицида, % от рекомендуемой				Исходная популяция (без обработки)
			50	100	150	200	
1	Sudan	*Rph1*	17	13	19	16	43
2	Peruvian	*Rph2*	46	31	27	17	59
3	Estate	*Rph3*	71	60	58	58	80
4	Gold	*Rph4*	53	57	47	45	57
5	Magnif 104	*Rph5*	40	34	28	26	35
6	Bolivia	*Rph6+2*	42	39	31	31	44
7	Cebada Capa	*Rph7*	0	0	0	0	0
8	Egypt 4	*Rph8*	34	26	25	19	66
9	Abyssinian	*Rph9*	11	17	15	14	59
10	Triumph	*Rph12*	14	11	8	2	42
11	PI 531849	*Rph13*	47	37	0	17	47
12	PI 584760	*Rph14*	0	0	0	0	0
13	Prior	*Rph19*	10	9	0	4	51

14	Ricardo	*Rph21+2*	9	4	15	13	86
15	Fong tein	*Rph25*	10	18	0	7	57
Индекс Нея (Nei distance), у.е.			0,19	0,22	0,22	0,21	-

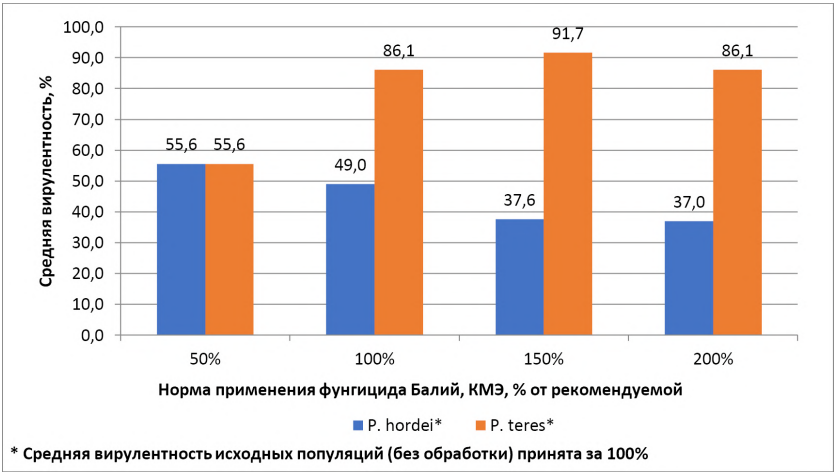


Рис. 4. Изменение средней вирулентности популяций *P. hordei* и *P. teres* под действием различных норм применения фунгицида Балий, КМЭ (тепличный комплекс ФГБНУ ФНЦБЗР, 2024 г.)

Для популяций фитопатогенных грибов свойственна генетическая изменчивость, которая служит причиной формирования резистентности к фунгицидам [25]. Полная потеря чувствительности развивается в результате естественного отбора, при котором факторы окружающей среды способствуют размножению и накоплению устойчивых изолятов [39]. Каждое применение фунгицида с одинаковым механизмом действия ускоряет процесс отбора, избирательно уничтожая восприимчивые к токсиканту изоляты гриба. Это позволяет устойчивым формам без конкуренции накапливаться в популяции и распространяться в агроценозе. Понимание механизма формирования резистентности к фунгицидам в популяциях возбудителей болезней является одной из основных задач, направленных на разработку антирезистентной стратегии.

Выбранный для исследования двухкомпонентный фунгицид Балий, КМЭ обладает несколькими механизмами действия на фитопатогенов: ингибирует процесс биосинтеза эргостерола в мембранах клеток (д.в.: пропиконазол) и ингибирует митохондриальное дыхание, блокируя транспорт электронов (д.в.: азоксистробин).

Ранее нами были получены сведения по оценке биологической эффективности фунгицида Балий, КМЭ против возбудителей карликовой ржавчины и сетчатой пятнистости листьев ячменя. Результаты подтвердили высокий уровень чувствительности гриба *P. hordei* к препарату, при рекомендованной норме применения фунгицида эффективность составляла 98,3 % [12]. Против возбудителя *P. teres* биологическая эффективность была на уровне 83,1 % [13].

В проведенном исследовании определено влияние данного фунгицида на патогенность популяций *P. hordei и P. teres*. Для популяции карликовой ржавчины установлено снижение всех изученных показателей патогенности, в то время как у возбудителя сетчатой пятнистости листьев наблюдалось увеличение показателей.

Полученные данные согласуются с результатами других исследователей. Например, в работах Ю.Т. Дьякова у штаммов гриба *Phytophthora infestans*, контактировавших с пониженной нормой применения фунгицида, чувствительность к токсиканту не изменялась, но отмечалось падение общей приспособленности и агрессивности [6]. В последующие годы, на фоне гибели чувствительных изолятов, численность устойчивой популяции возрастала, в тоже время, становясь более агрессивной. Учеными установлена положительная корреляция между вирулентностью популяции и резистентностью к фунгицидам. Так, в случае с *Zymoseptoria tritici* (Desm.) было обнаружено, что австралийская популяция имела низкую общую вирулентность и устойчивость к ципроконазолу, в то время как швейцарская популяция имела высокое значение вирулентности и обладала устойчивостью к ципроконазолу [15]. Подобные результаты получены и для фитопатогена *Alternaria alternata,* популяция гриба из провинции Китая Хэнань характеризовалась высокой агрессивностью и резистентностью к манкоцебу и дифеноконазолу, в то время как популяция из Шаньдун демонстрировала сниженную агрессивность и высокую чувствительность к фунгицидам [17].

Заключение

В результате проведенных исследований установлено влияние двухкомпонентного фунгицида Балий, КМЭ (д.в.: 120 г/л азоксистробина + 180 г/л пропиконазола) на внутрипопуляционную структуру грибов *P. hordei* и *P. teres* по признакам агрессивности и вирулентности.

Установлено увеличение латентного периода *P. hordei* от 168 ч (исходная популяция, без обработки) до 192 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой). И, напротив, наблюдалось снижение латентного периода

P. teres от 149 ч (исходная популяция, без обработки) до 139 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Под действием препарата спорулирующая способность *P. hordei* снижалась от 0,013 мг спор с одной пустулы (исходная популяция, без обработки) до 0,002 мг (норма применения 200 % от рекомендуемой). Споруляция гриба *P. teres* варьировала от 5.8 *10^3 конидий в 1 мл суспензии (исходная популяция, без обработки) до 2.3*10^3 конидий (200 % от рекомендуемой).

Длительность инкубационного периода возбудителя сетчатой пятнистости листьев изменялась от 101 ч (исходная популяция, без обработки) до 77 ч (норма применения 200 % от рекомендуемой). Отмечено влияние фунгицида Балий, КМЭ *на рост* гриба *P. teres* на питательной среде, диаметр колонии варьировал от 26.6 мм (исходная популяция, без обработки) до 32.3 мм (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Под действием различных норм применения фунгицида установлено снижение жизнеспособности спор гриба *P. Hordei.* Этот показатель варьировал от 100 % (исходная популяция, без обработки) до 24.2 % (норма применения 200 % от рекомендуемой).

Применение разных норм препарата способствовало увеличению средней вирулентности популяции возбудителя сетчатой пятнистости от 55.6 % (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 86.1% (норма применения 200 % от рекомендуемой) и снижению этого показателя для популяции возбудителя карликовой ржавчины от 55.6 % (норма применения 50 % от рекомендуемой) до 37.0 % (норма применения 200 % от рекомендуемой).

При этом средняя вирулентность обеих популяций при обработке различными нормами применения препарата снижена по сравнению с контролем. Различие в показателях вирулентности и агрессивности в ответ на обработку фунгицидом у популяций *P. hordei* и *P. teres* может быть связано с различиями в физиологических особенностях биотрофного и гемибиотрофного патогенов.

Исследования в данном направлении позволяют своевременно выявить изменения в структуре популяций *P. hordei* и *P. teres* по показателям вирулентности и агрессивности, способные привести к накоплению резистентных к фунгициду изолятов. Полученные результаты подтверждают влияние различных норм применения препарата Балий, КМЭ на показатели патогенности, что служит определенным риском снижения чувствительности возбудителей болезней к изученному фунгициду. Для сдерживания скорости развития устойчивости фитопатогенов основополагающими факторами остаются оптимизация качества обработки посевов и строгое соблюдение регламента применения препарата.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10063, https://rscf.ru/project/23-76-10063/

Список литературы

1. Волкова, Г. В., Кудинова, О. А., Гладкова, Е. В., Ваганова, О. Ф., Данилова, А. В., & Матвеева, И. П. (2018). *Вирулентность популяций возбудителей ржавчины зерновых колосовых культур* (38 с.). Краснодар: ИП Дедкова С. А. ISBN: 978-5-905120-07-7. EDN: https://elibrary.ru/YAPANV
2. Волкова, Г. В. (1995). Фунгицидоустойчивая форма возбудителя жёлтой ржавчины пшеницы. *Агрохимия*, (1), 79–83. EDN: https://elibrary.ru/SJRJUV
3. Волкова, Г. В., & Яхник, Я. В. (2023). Чувствительность возбудителя сетчатой пятнистости листьев ячменя (*Pyrenophora teres* Drechsler) к фунгицидам. *Российская сельскохозяйственная наука*, (6), 33–37. https://doi.org/10.31857/S2500262723060078. EDN: https://elibrary.ru/NJHIXM
4. Гвоздева, М. С., & Волкова, Г. В. (2022). Влияние фунгицида Колосаль на структуру популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы по признакам патогенности и чувствительности. *Микология и фитопатология*, *56*(1), 52–63. https://doi.org/10.31857/S0026364822010044. EDN: https://elibrary.ru/ROWMIY
5. Волкова, Г. В., Яхник, Я. В., Кудинова, О. А. и др. (2024). *Грибные патогены зерновых колосовых культур: биология, распространение, вредоносность, методы учёта, сбора и хранения биоматериала. Создание искусственных инфекционных фонов: научнопрактические рекомендации* (98 с.). Краснодар: ФГБНУ ФНЦБЗР. ISBN: 978-5-93491-974-1. EDN: https://elibrary.ru/RFYZXL
6. Дьяков, Ю. Т., & Еланский, С. Н. (2007). Популяционная генетика *Phytophthora infestans*. В *Микология сегодня* (Т. 1, с. 107–139). Москва: Национальная академия микологии.
7. Волкова, Г. В., Яхник, Я. В., Кремнева, О. Ю., & Мерзликина, Е. Н. (2022). Подбор оптимальной питательной среды для культивирования *Pyrenophora teres* Drechsler. *Вестник Ульяновской ГСХА*, (3 (59)). https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-122-127. EDN: https://elibrary.ru/HVVIYF
8. Пыжикова, Г. В. (1972). Влияние температуры на инфекцию и развитие жёлтой ржавчины пшеницы. *Микология и фитопатология*, *6*(3), 51–53.
9. Гришечкина, Л. Д., Долженко, В. И., Кунгурцева, О. В. и др. (2020). Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов. *Агрохимия*, (9), 32–47. https://doi.org/10.31857/S0002188120090070. EDN: https://elibrary.ru/FVOOLD
10. Санин, С. С. (1975). Методы определения количества спор, образуемых ржавчинными и другими фитопатогенными грибами. *Микология и фитопатология*, *9*(3), 443–445.

11. Тютерев, С. Л. (2001). Проблемы устойчивости фитопатогенов к новым фунгицидам. *Вестник защиты растений*, (1), 38–53. EDN: https://elibrary.ru/ZISGCP
12. Гвоздева, М. С., Данилова, А. В., Кудинова, О. А. и др. (2024). Чувствительность возбудителя карликовой ржавчины ячменя (*Puccinia hordei* G.H. Otth.) к фунгицидам — производным триазолов и стробилуринов. *Агрохимия*, (11), 32–38. https://doi.org/10.31857/S0002188124110051. EDN: https://elibrary.ru/AHVZMB
13. Яхник, Я. В., & Волкова, Г. В. (2024). Чувствительность возбудителя сетчатой пятнистости листьев (*Pyrenophora teres*) к двухкомпонентным фунгицидам на основе триазолового и стробилуринового классов. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, (2), 127–138. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-127-138. EDN: https://elibrary.ru/SILTVB
14. Abebe, W. (2021). Barley net blotch disease management: a review. *International Journal of Environment Agriculture Research*, *7*(9), 69–81. https://doi.org/10.5281/zenodo.5554528
15. Yang, L., Gao, F., Shang, L., Zhan, J., & McDonald, B. A. (2013). Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*, *8*(3), e59568. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568
16. Hussain, B., Mohiddin, M. A., Wani, S. H. et al. (2024). Characterization of barley genotypes and their biochemical responses against leaf rust (*Puccinia hordei*) disease under cold arid environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, *33*(1), 185–195. https://doi.org/10.15244/pjoes/170775. EDN: https://elibrary.ru/SCDXOP
17. Yang, L. N., He, M. H., Ouyang, H. B. et al. (2019). Crossresistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, *19*(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8. EDN: https://elibrary.ru/UNUBDI
18. Sierotzki, H., Frey, R., Wullschleger, J. et al. (2007). Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. triticirepentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, *63*(3), 225–233. https://doi.org/10.1002/ps.1330
19. Danilova, A. V., & Volkova, G. V. (2022). Virulence of barley leaf rust in the South of Russia in 2017–2019. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *20*(1), 1001. https://doi.org/10.5424/sjar/2022201-18337. EDN: https://elibrary.ru/WIJUQZ
20. Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L. et al. (2016). Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres* f. sp. teres associated with target site modifi-

cation and inducible overexpression of *Cyp51*. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 1279. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279. EDN: https://elibrary.ru/XUCLWV
21. Afanasenko, O. S., Jalli, M., Pinnschmidt, H. O. et al. (2009). Development of an international standard set of barley differential genotypes for *Pyrenophora teres* f. teres. *Plant Pathology*, *58*(4), 665–676. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02062.x. EDN: https://elibrary.ru/LLWTHJ
22. Dinglasan, E. (2019). Genetic characterization of resistance to *Pyrenophora teres* f. teres in the international barley differential Canadian lake shore. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 326. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00326. EDN: https://elibrary.ru/XUAIEQ
23. Semar, M., Strobel, D., Koch, A. et al. (2007). Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *114*(3), 117–119. https://doi.org/10.1007/BF03356718. EDN: https://elibrary.ru/DUGXKW
24. FRAC. (2020). *List of first confirmed cases of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents*. Brussels: CropLife International.
25. Yin, Y., Miao, J., Shao, W. et al. (2023). Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*, *113*(4), 707–718. https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD. EDN: https://elibrary.ru/NSVMRF
26. Cook, N. M., Chng, S., Woodman, T. L. et al. (2021). High frequency of fungicide resistanceassociated mutations in the wheat yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. *Pest Management Science*, *77*(7), 3358–3371. https://doi.org/10.1002/ps.6380. EDN: https://elibrary.ru/CURFLE
27. Duplessis, S., Lorrain, C., Petre, B. et al. (2021). Host adaptation and virulence in heteroecious rust fungi. *Annual Review of Phytopathology*, *59*(1), 403–422. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-121149. EDN: https://elibrary.ru/XYPCEI
28. Lucas, J. A., Hawkins, N. J., & Fraaije, B. A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, *90*, 29–92. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001. EDN: https://elibrary.ru/YEYUVV
29. Marzani, Q. A., Swarbrick, P., & Rossall, S. (2013). Correlation of the F129L mutation in *Pyrenophora teres*, the pathogen of net blotch of barley, with the efficacy of QoI fungicides. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *3*(4), 66–72. https://doi.org/10.9790/2380-0346672
30. Amouzoune, M., Amri, A., Benkirane, R. et al. (2022). Mining and predictive characterization of resistance to leaf rust (*Puccinia hordei* Otth.) using two subsets of barley genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1–15. https://doi.org/10.1007/s10722-021-01268-4. EDN: https://elibrary.ru/ITUWVG

31. Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, *106*(949), 283–292. https://doi.org/10.1086/282771
32. Tomić, A., Trkulja, V., Matić, S. et al. (2024). Net blotch (*Pyrenophora teres* Drechsler): an increasingly significant threat to barley production. *Plant Protection Science*, *60*(1), 1–30. https://doi.org/10.17221/122/2023-PPS. EDN: https://elibrary.ru/UGGCVL
33. Oliver, R. P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest Management Science*, *70*(11), 1641–1645. https://doi.org/10.1002/ps.3767
34. Peever, T. L., & Milgroom, M. G. (1993). Genetic correlations in resistance to sterol biosynthesisinhibiting fungicides in *Pyrenophora teres*. *Phytopathology*, *83*(10), 1076–1082. https://doi.org/10.1094/Phyto-83-1076
35. Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 614951. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951. EDN: https://elibrary.ru/COFHFY
36. Ransom, J. K., & McMullen, M. V. (2008). Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. *Agronomy Journal*, *100*(4), 1130–1137. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0397
37. Russell, P. E. (1995). Fungicide resistance: occurrence and management. *The Journal of Agricultural Science*, *124*(3), 317–323. https://doi.org/10.1017/S0021859600073275
38. Russell, P. E. (2003). *Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management* (FRAC Monograph No. 3). Brussels: CropLife International.
39. SánchezTorres, P. (2021). Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*, *7*(9), 783–801. https://doi.org/10.3390/jof7090783. EDN: https://elibrary.ru/YUQQJN
40. Zhan, G., Ji, F., Zhao, J. et al. (2022). Sensitivity and resistance risk assessment of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici to triadimefon in China. *Plant Disease*, *106*(6), 1690–1699. https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2168-re. EDN: https://elibrary.ru/LFETDX
41. Ji, F., Zhou, A., Liu, B. et al. (2023). Sensitivity of *Puccinia triticina* f. sp. tritici from China to triadimefon and resistance risk assessment. *Plant Disease*, *107*(12), 3877–3885. https://doi.org/10.1094/PDIS-02-23-0277-RE. EDN: https://elibrary.ru/MHLYVD
42. Lammari, H. I., Rehfus, A., Stammler, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *The Plant Pa-*

thology Journal, *36*(3), 218–230. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237. EDN: https://elibrary.ru/NHWZXA

43. Serenius, M., & Manninen, O. (2008). Prochloraz tolerance of *Pyrenophora teres* population in Finland. *Agriculture and Food Science*, *15*(1), 35–42. https://doi.org/10.2137/145960606777245588. EDN: https://elibrary.ru/MKEMZB
44. Sheridan, J. E., Grbavac, N., & Sheridan, M. H. (1985). Triadimenol insensitivity in *Pyrenophora teres*. *Transactions of the British Mycological Society*, *85*, 338–341.
45. Thind, T. S. (2022). New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection. *Indian Phytopathology*, *75*(4), 927–939. https://doi.org/10.1007/s42360-022-00550-4. EDN: https://elibrary.ru/UWKIPN
46. Volkova, G., & Yakhnik, Y. (2022). *Pyrenophora teres*: population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(10), 103401. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103401. EDN: https://elibrary.ru/ZDQWFP

References

1. Volkova, G. V., Kudinova, O. A., Gladkova, E. V., Vaganova, O. F., Danilova, A. V., & Matveeva, I. P. (2018). *Virulence of pathogen populations causing rust in cereal crops*. 38 p. Krasnodar: IP Dedkova S. A. ISBN: 9785905120077. EDN: https://elibrary.ru/YAPANV
2. Volkova, G. V. (1995). Fungicideresistant form of the yellow wheat rust pathogen. *Agrochemistry*, *(1)*, 79–83. EDN: https://elibrary.ru/SJRJUV
3. Volkova, G. V., & Yakhnik, Ya. V. (2023). Sensitivity of the barley net blotch pathogen (*Pyrenophora teres* Drechsler) to fungicides. *Russian Agricultural Science*, *(6)*, 33–37. https://doi.org/10.31857/S2500262723060078. EDN: https://elibrary.ru/NJHIXM
4. Gvozdeva, M. S., & Volkova, G. V. (2022). Effect of the fungicide Kolosal on the population structure of the brown wheat rust pathogen in terms of pathogenicity and sensitivity traits. *Mycology and Phytopathology*, *56*(1), 52–63. https://doi.org/10.31857/S0026364822010044. EDN: https://elibrary.ru/ROWMIY
5. Volkova, G. V., Yakhnik, Ya. V., Kudinova, O. A., et al. (2024). *Fungal pathogens of cereal crops: biology, distribution, harmfulness, methods of accounting, collection and storage of biomaterial. Creation of artificial infectious backgrounds: scientific and practical recommendations*. 98 p. Krasnodar: FGBNU FNTSBZR. ISBN: 9785934919741. EDN: https://elibrary.ru/RFYZXL
6. D'yakov, Yu. T., & Elanskiy, S. N. (2007). Population genetics of *Phytophthora infestans*. In *Mycology Today* (Vol. 1, pp. 107–139). Moscow: National Academy of Mycology

7. Volkova, G. V., Yakhnik, Ya. V., Kremneva, O. Yu., & Merzlikina, E. N. (2022). Selection of an optimal nutrient medium for cultivation of *Pyrenophora teres* Drechsler. *Bulletin of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, *(3 (59))*. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-3-122-127. EDN: https://elibrary.ru/HVVIYF
8. Pyzhikova, G. V. (1972). Effect of temperature on infection and development of yellow wheat rust. *Mycology and Phytopathology*, *6*(3), 51–53
9. Grishechkina, L. D., Dolzhenko, V. I., Kungurtseva, O. V., et al. (2020). Development of research on the formation of a modern range of fungicides. *Agrochemistry*, *(9)*, 32–47. https://doi.org/10.31857/S0002188120090070. EDN: https://elibrary.ru/FVOOLD
10. Sanin, S. S. (1975). Methods for determining the number of spores produced by rust and other phytopathogenic fungi. *Mycology and Phytopathology*, *9*(3), 443–445
11. Tyuterev, S. L. (2001). Problems of phytopathogen resistance to new fungicides. *Plant Protection Bulletin*, *(1)*, 38–53. EDN: https://elibrary.ru/ZISGCP
12. Gvozdeva, M. S., Danilova, A. V., Kudinova, O. A., et al. (2024). Sensitivity of the dwarf barley rust pathogen (*Puccinia hordei* G.H. Otth.) to triazole and strobilurin fungicides. *Agrochemistry*, *(11)*, 32–38. https://doi.org/10.31857/S0002188124110051. EDN: https://elibrary.ru/AHVZMB
13. Yakhnik, Ya. V., & Volkova, G. V. (2024). Sensitivity of the net blotch leaf pathogen (*Pyrenophora teres*) to twocomponent fungicides based on triazole and strobilurin classes. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, *(2)*, 127–138. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-2-127-138. EDN: https://elibrary.ru/SILTVB
14. Abebe, W. (2021). Barley net blotch disease management: a review. *International Journal of Environment Agriculture Research*, *7*(9), 69–81. https://doi.org/10.5281/zenodo.5554528
15. Yang, L., Gao, F., Shang, L., Zhan, J., & McDonald, B. A. (2013). Association between virulence and triazole tolerance in the phytopathogenic fungus *Mycosphaerella graminicola*. *PLoS One*, *8*(3), e59568. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059568
16. Hussain, B., Mohiddin, M. A., Wani, S. H. et al. (2024). Characterization of barley genotypes and their biochemical responses against leaf rust (*Puccinia hordei*) disease under cold arid environment. *Polish Journal of Environmental Studies*, *33*(1), 185–195. https://doi.org/10.15244/pjoes/170775. EDN: https://elibrary.ru/SCDXOP
17. Yang, L. N., He, M. H., Ouyang, H. B. et al. (2019). Crossresistance of the pathogenic fungus *Alternaria alternata* to fungicides with different modes of action. *BMC Microbiology*, *19*(1), 1–10. https://doi.org/10.1186/s12866-019-1574-8. EDN: https://elibrary.ru/UNUBDI

18. Sierotzki, H., Frey, R., Wullschleger, J. et al. (2007). Cytochrome b gene sequence and structure of *Pyrenophora teres* and *P. triticirepentis* and implications for QoI resistance. *Pest Management Science*, *63*(3), 225–233. https://doi.org/10.1002/ps.1330
19. Danilova, A. V., & Volkova, G. V. (2022). Virulence of barley leaf rust in the South of Russia in 2017–2019. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *20*(1), 1001. https://doi.org/10.5424/sjar/2022201-18337. EDN: https://elibrary.ru/WIJUQZ
20. Mair, W. J., Deng, W., Mullins, J. G. L. et al. (2016). Demethylase inhibitor fungicide resistance in *Pyrenophora teres* f. sp. teres associated with target site modification and inducible overexpression of *Cyp51*. *Frontiers in Microbiology*, *7*, 1279. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01279. EDN: https://elibrary.ru/XUCLWV
21. Afanasenko, O. S., Jalli, M., Pinnschmidt, H. O. et al. (2009). Development of an international standard set of barley differential genotypes for *Pyrenophora teres* f. teres. *Plant Pathology*, *58*(4), 665–676. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02062.x. EDN: https://elibrary.ru/LLWTHJ
22. Dinglasan, E. (2019). Genetic characterization of resistance to *Pyrenophora teres* f. teres in the international barley differential Canadian lake shore. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 326. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00326. EDN: https://elibrary.ru/XUAIEQ
23. Semar, M., Strobel, D., Koch, A. et al. (2007). Field efficacy of pyraclostrobin against populations of *Pyrenophora teres* containing the F129L mutation in the cytochrome b gene. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *114*(3), 117–119. https://doi.org/10.1007/BF03356718. EDN: https://elibrary.ru/DUGXKW
24. FRAC. (2020). *List of first confirmed cases of plant pathogenic organisms resistant to disease control agents*. Brussels: CropLife International.
25. Yin, Y., Miao, J., Shao, W. et al. (2023). Fungicide resistance: progress in understanding mechanism, monitoring, and management. *Phytopathology*, *113*(4), 707–718. https://doi.org/10.1094/PHYTO-10-22-0370-KD. EDN: https://elibrary.ru/NSVMRF
26. Cook, N. M., Chng, S., Woodman, T. L. et al. (2021). High frequency of fungicide resistanceassociated mutations in the wheat yellow rust pathogen *Puccinia striiformis* f. sp. tritici. *Pest Management Science*, *77*(7), 3358–3371. https://doi.org/10.1002/ps.6380. EDN: https://elibrary.ru/CURFLE
27. Duplessis, S., Lorrain, C., Petre, B. et al. (2021). Host adaptation and virulence in heteroecious rust fungi. *Annual Review of Phytopathology*, *59*(1), 403–422. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-020620-121149. EDN: https://elibrary.ru/XYPCEI

28. Lucas, J. A., Hawkins, N. J., & Fraaije, B. A. (2015). The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, *90*, 29–92. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2014.09.001. EDN: https://elibrary.ru/YEYUVV
29. Marzani, Q. A., Swarbrick, P., & Rossall, S. (2013). Correlation of the F129L mutation in *Pyrenophora teres*, the pathogen of net blotch of barley, with the efficacy of QoI fungicides. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, *3*(4), 66–72. https://doi.org/10.9790/2380-0346672
30. Amouzoune, M., Amri, A., Benkirane, R. et al. (2022). Mining and predictive characterization of resistance to leaf rust (*Puccinia hordei* Otth.) using two subsets of barley genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1–15. https://doi.org/10.1007/s10722-021-01268-4. EDN: https://elibrary.ru/ITUWVG
31. Nei, M. (1972). Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, *106*(949), 283–292. https://doi.org/10.1086/282771
32. Tomić, A., Trkulja, V., Matić, S. et al. (2024). Net blotch (*Pyrenophora teres* Drechsler): an increasingly significant threat to barley production. *Plant Protection Science*, *60*(1), 1–30. https://doi.org/10.17221/122/2023-PPS. EDN: https://elibrary.ru/UGGCVL
33. Oliver, R. P. (2014). A reassessment of the risk of rust fungi developing resistance to fungicides. *Pest Management Science*, *70*(11), 1641–1645. https://doi.org/10.1002/ps.3767
34. Peever, T. L., & Milgroom, M. G. (1993). Genetic correlations in resistance to sterol biosynthesisinhibiting fungicides in *Pyrenophora teres*. *Phytopathology*, *83*(10), 1076–1082. https://doi.org/10.1094/Phyto-83-1076
35. Backes, A., Guerriero, G., Ait Barka, E., & Jacquard, C. (2021). *Pyrenophora teres*: taxonomy, morphology, interaction with barley, and mode of control. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 614951. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.614951. EDN: https://elibrary.ru/COFHFY
36. Ransom, J. K., & McMullen, M. V. (2008). Yield and disease control on hard winter wheat cultivars with foliar fungicides. *Agronomy Journal*, *100*(4), 1130–1137. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0397
37. Russell, P. E. (1995). Fungicide resistance: occurrence and management. *The Journal of Agricultural Science*, *124*(3), 317–323. https://doi.org/10.1017/S0021859600073275
38. Russell, P. E. (2003). *Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management* (FRAC Monograph No. 3). Brussels: CropLife International.
39. SánchezTorres, P. (2021). Molecular mechanisms underlying fungicide resistance in citrus postharvest green mold. *Journal of Fungi*, *7*(9), 783–801. https://doi.org/10.3390/jof7090783. EDN: https://elibrary.ru/YUQQJN

40. Zhan, G., Ji, F., Zhao, J. et al. (2022). Sensitivity and resistance risk assessment of *Puccinia striiformis* f. sp. tritici to triadimefon in China. *Plant Disease*, *106*(6), 1690–1699. https://doi.org/10.1094/pdis-10-21-2168-re. EDN: https://elibrary.ru/LFETDX
41. Ji, F., Zhou, A., Liu, B. et al. (2023). Sensitivity of *Puccinia triticina* f. sp. tritici from China to triadimefon and resistance risk assessment. *Plant Disease*, *107*(12), 3877–3885. https://doi.org/10.1094/PDIS-02-23-0277-RE. EDN: https://elibrary.ru/MHLYVD
42. Lammari, H. I., Rehfus, A., Stammler, G., & Benslimane, H. (2020). Sensitivity of the *Pyrenophora teres* population in Algeria to quinone outside inhibitors, succinate dehydrogenase inhibitors and demethylation inhibitors. *The Plant Pathology Journal*, *36*(3), 218–230. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.09.2019.0237. EDN: https://elibrary.ru/NHWZXA
43. Serenius, M., & Manninen, O. (2008). Prochloraz tolerance of *Pyrenophora teres* population in Finland. *Agriculture and Food Science*, *15*(1), 35–42. https://doi.org/10.2137/145960606777245588. EDN: https://elibrary.ru/MKEMZB
44. Sheridan, J. E., Grbavac, N., & Sheridan, M. H. (1985). Triadimenol insensitivity in *Pyrenophora teres*. *Transactions of the British Mycological Society*, *85*, 338–341.
45. Thind, T. S. (2022). New insights into fungicide resistance: a growing challenge in crop protection. *Indian Phytopathology*, *75*(4), 927–939. https://doi.org/10.1007/s42360-022-00550-4. EDN: https://elibrary.ru/UWKIPN
46. Volkova, G., & Yakhnik, Y. (2022). *Pyrenophora teres*: population structure, virulence and aggressiveness in Southern Russia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(10), 103401. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103401. EDN: https://elibrary.ru/ZDQWFP

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гвоздева Мария Сергеевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений» ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация maria-v23@mail.ru

Кудинова Ольга Александровна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»

ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация
alosa@list.ru

Яхник Яна Викторовна, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация
yahnik1@mail.ru

Руденко Валерия Денисовна, научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация
agapovaleraa@ya.ru

Волкова Галина Владимировна, д.б.н., главный научный сотрудник лаборатории иммунитета растений к болезням
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений»
ул. им. Калинина, 62, г. Краснодар, 350039, Российская Федерация
galvol.bpp@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maria S. Gvozdeva, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases
Federal Research Center of Biological Plant Protection
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation
maria-v23@mail.ru
SPIN-code: 3524-9667
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9141-6647
ResearcherID: ABA-9852-2020
Scopus Author ID: 57828466900

Olga A. Kudinova, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases
Federal Research Center of Biological Plant Protection
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation

alosa@list.ru
SPIN-code: 8598-2352
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0568-4312ResearcherID: K-8630-2018
Scopus Author ID: 57212106679

Yana V. Yakhnik, Research Fellow at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases
Federal Research Center of Biological Plant Protection
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation
yahnik1@mail.ru
SPIN-code: 7453-5768
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3410-7928
ResearcherID: ABD-9845-2021
Scopus Author ID: 57802986700

Valeria D. Rudenko, Research Fellow at the Laboratory of Plant Immunity to Diseases
Federal Research Center of Biological Plant Protection
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation
agapovaleraa@ya.ru
SPIN-code: 9931-6807
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7296-3565
ResearcherID: ABA-9862-2020
Scopus Author ID: 57535982300

Galina V. Volkova, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Plant Immunity to Diseases
Federal Research Center of Biological Plant Protection
62, Kalinina Str., Krasnodar, 350039, Russian Federation
galvol.bpp@yandex.ru
SPIN-code: 1949-6965
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3696-2610
ResearcherID: E-3950-2014
Scopus Author ID: 7005497728

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1351 **EDN: TFRPTY**
UDC 631.87:581.14:635.252

Original article

ANALYSIS OF PHYTOHORMONE CONTENT IN LOCAL MICROORGANISMS AND THEIR RESPONSE TO TRUE SHALLOT SEED (TSS) PRODUCTION OF LOCAL EBAN SHALLOTS IN THE MIDDLE PLAINS OF NORTH CENTRAL TIMOR REGENCY

A. Tefa, N. Nik, A. Rusae, A.A. Neonnub, I.S. Manek

Abstract

The technology of shallot seed production through botanical seeds (true shallot seed) is one of the alternatives that need to be developed to overcome the shortage of seeds in North Central Timor Regency (TTU). This study aims to determine the response of local microorganisms to the production of botanical seeds of local shallot cultivar Eban in the middle plains of North Central Timor Regency, as well as to determine the phytohormone content in local microorganisms of banana corms and bamboo shoots. The research design used was a factorial randomized block design. The first factor is the type of local microorganisms consisting of two factors, namely banana corm moles (M1) and bamboo shoot moles (M2). The second factor is the concentration of moles consisting of 4 levels, namely the provision of 1 liter mole: 6 liters of water (K1), the provision of 1 liter mole: 5 liters of water (K2), the provision of 1 liter mole: 4 liters of water (K3), the provision of 1 liter mole: 3 liters of water (K4) and control (without the provision of moles). The results of the study showed that the treatment of mole type and mole concentration had an interactive effect on the variables of plant height, number of leaves and tuber diameter, but the phytohormone content in local microorganisms was unable to produce flowers and seeds in the local Eban cultivar planted in the middle plains of North Central Timor Regency.

Keywords: Local Microorganisms; Phytohormone; True shallot seed

For citation. Tefa, A., Nik, N., Rusae, A., Neonnub, A. A., & Manek, I. S. (2025). Analysis of phytohormone content in local microorganisms and their response to true shallot seed (TSS) production of local Eban shallots in the middle plains of North Central Timor Regency. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 312-326. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1351

Introduction

The production of shallots (Allium ascalonicum, L) in North Central Timor Regency (TTU) in 2023 was 4.1 tons [4]. Low production resulted in the community's needs not being met, so that many shallots were imported from neighboring regencies such as Kupang and Rote Ndao Regencies. The obstacle in shallot cultivation is that farmers still use seed bulbs, resulting in many bulbs being attacked by disease. An alternative to replacing seed bulbs is to use botanical seeds (true shallot seeds) because they have several advantages, namely preventing virus attacks from vegetative tissue, the cost of purchasing seeds is cheaper than seed bulbs, and producing healthier plants [25]. The production of true shallot seeds (TSS) for shallots has not been carried out optimally due to the lack of induction of shallot flowering, due to unfavorable environmental conditions. Genetically, local Eban shallots can produce flowers and seeds, but the development of true shallot seeds (TSS) has not been carried out at all. According to [10], tropical areas such as Indonesia are very suitable for producing TSS.

The Eban area is a center for shallot planting in North Central Timor Regency and is a plateau with an altitude of ± 1000 m above sea level. The development of shallots in the highlands is constrained by high rainfall every year, resulting in many bulbs rotting due to fungal attacks. One alternative to increase production is planting in the middle plains or lowlands. The soil conditions in the middle plains in TTU Regency are dry land so that shallot cultivation is still not optimal. Limited water, low nutrient content and poor soil structure are the main problems that can inhibit the growth and development of shallot plants in dry land [18]. The development of environmentally friendly agriculture by utilizing local microorganisms in an area is one strategy to overcome problems in dry land.

Local microorganisms have potential that can be utilized because they contain phytohormones that can stimulate flowering. According to [14] local microorganisms are a solution of fermented natural materials from various local resources in an area that are used as organic fertilizers to increase soil fertility. Local raw materials that are widely used are bamboo shoots and banana stems,

because they contain macro and micronutrients and microorganisms that have the potential to be organic material decomposers such as growth stimulants and as plant pest and disease controllers so that they are good for use as biofertilizer decomposers and organic pesticides.

According to [23] local microorganisms contain growth regulators such as auxin and gibberellin. In addition, bamboo shoot and banana stem molasses have high organic C, Fe, ZN and Cu content so that they can stimulate the growth of shallot bulbs. According to [3], shallot growing media treated with banana stem extract and bamboo shoot extract can increase the wet weight of shallot bulbs by 226.4 and 249.7 grams. The results of the study by [19], the provision of 20 ml/L local microorganisms' bamboo shoot and the addition of 90 g of goat manure increased the number of bulbs by 3.19 and the dry weight of shallot bulbs by 2.65 g. The phytohormone content in each type of mol has a different composition, so it is necessary to analyze the phytohormone content to determine with certainty according to plant needs. The study aims to determine the response of local microorganisms to vegetative, generative growth and TSS production and to determine the phytohormone content in local microorganisms of banana stumps and bamboo shoots.

Materials and methods

The study was conducted at the Experimental Garden of the Faculty of Agriculture, Science and Health, Timor University from June to October 2024, at an altitude of ±500 meters above sea level. Analysis of phytohormone content in banana stump moles and bamboo shoot moles was carried out by PT Starlab Analytic, Bogor Indonesia. Sections can be divided into subsections in a sensible way so that the text will not be fragmented into many small paragraphs having a few lines. The example below illustrates two levels of subsections.

Materials

The tools used in this study were a thermohydrometer, germinator, caliper, soil meter, oven and analytical scales. The materials used are bamboo shoots, banana stems, brown sugar, red onion seeds and plastic mulch.

Experimental design

The experiment used a factorial randomized block design (RBD). The first factor is the type of local microorganisms (M) consisting of 2 treatments, namely local microorganisms' bamboo shoot (M1) and local microorganism's banana stump mole (M2). The second factor is the concentration of local microorganisms (K) consisting of 4 treatments, namely the provision of local microorgan-

isms concentration of 1 liter mole: 6 liters of water (K1), the provision of local microorganisms concentration of 1 liter local microorganisms: 5 liters of water (K2), the provision of local microorganisms concentration of 1 liter local microorganisms: 4 liters of water (K3) and the provision of local microorganisms concentration of 1 local microorganisms: 3 liters of water (K4), as a comparison, control plants were planted (without mole). All treatments were repeated 3 times so that there were 30 experimental units in total.

Making local microorganisms

The making of local microorganisms is carried out with the following stages: bamboo shoots and banana stumps, each as much as 5 kg, are chopped separately and then ground with a mortar (mashing tool). 2 kg of brown sugar is dissolved using 20 liters of rice washing water, then divided into 2 parts for banana stem mol and bamboo shoots. The mashed banana stem and bamboo shoots are soaked in the solution separately, using a plastic drum, then tightly closed and given air holes by inserting a water pass hose connected to a bottle filled with water. The solution is left anaerobically for 3 weeks or 21 days. The cooked solution is filtered and put into a storage container, then diluted according to the treatment.

Phytohormone analysis method

Analysis of phytohormone content using the Linsken and Jackson method [5]. A 5 ml liquid sample of local microorganisms is extracted using 20 ml of 65% MeOH solvent, centrifuged at 4000 rpm for 30 minutes or filtered using Whatman 42 paper. The centrifuged supernatant is filtered using a milliphore, then injected 5-10 µl into HPLC. Flow rate 0.5 ml/min, column temperature 40°C, stationary phase (Column) C18 and detector 254 UV.

Seed preparation

The tuber seeds used have several criteria, namely weighing >5g/tuber, free from pests and diseases, not rotting and the tubers are hard. Before planting, the seeds are wrapped in ice plastic and vernalized using a refrigerator for 1 week at a temperature of 10°C. After the tuber seeds are prepared, a mole application is carried out by soaking for 20 minutes according to the treatment. Planting is carried out on beds with a planting distance of 20 cm x 20 cm.

Observation variables

The variables observed consist of 4 components, namely analysis of phytohormone content, namely Indole Acetic Acid (IAA), gibberellin, K2O-total, P2O5-total and N-total, Fe-Total, Mn-Total, Zn-Total and Cu-total. Vegetative growth variables are plant height, number of leaves, tuber diameter. Environmental variables are temperature, flowering variables or generative growth are

the percentage of flowering plants (%), number of umbels per plant, number of full capsules per umbel, number of seeds per umbel. The components of seed quality are maximum growth potential (%), germination power (%), vigor index (%) and normal dry weight of seedlings (g).

Results and discussion

Phytohormone content analysis

The results of the analysis show that banana stump moles and bamboo shoot moles contain macro and micronutrients as well as auxin (Indole Acetic Acid) and gibberellin hormones (Table 1). According to [1], banana stumps contain microbes that decompose organic matter such as Bacillus sp, Aeromonas sp, and Aspergillus Niger, so they can be used as a source of microorganisms in the manufacture of local microorganisms. Furthermore, according to [8], the bacteria found in bamboo shoots are Lactobacillus, Streptococcus, Azotobacter and Ascosporous which play a role in accelerating decomposition to produce the best quality fertilizer. Bamboo shoots contain high levels of organic carbon and gibberellin which can stimulate and spur plant growth [29].

Table 1.

Results of phytohormone content analysis in local microorganisms of banana stems and bamboo shoots

Local microorganisms	IAA	Gibberellin	K2O	P2O5	N	Fe	Mn	Zn	Cu
Banana Stump	4.359 mg/Kg	2.159 mg/Kg	2.50%	0.02%	0.12%	36.02 mg/L	9.40 mg/L	77.95 mg/L	345.14 mg/L
Bamboo Shoots	10.863 mg/Kg	7.824 mg/Kg	1.20%	0.05%	0.27%	222.72 mg/L	7.21 mg/L	60.11 mg/L	161.14 mg/L

Vegetative growth variable

The results of the analysis of variance (anova) showed that there was an interaction between the types of local microorganisms and the concentration of local microorganisms on the height of shallot plants. The treatment of banana stump mole with a concentration of 1-liter local microorganisms: 3 liters of water produced the highest plant height of 44.54 cm, significantly different from other treatments. The plant height obtained ranged from 38.75-44.54 cm (Table 2).

The concentration of 1-liter local microorganisms with 3 liters of water in banana stump mole shows that the higher the concentration of local microorganisms in a solution, the more effectively it will be absorbed by plants for their growth activities. According to [15] the types of essential micronutrients

needed by plants for plant growth on critical soils such as dry land are Mn, Cu and Zn which play a role in plant metabolism.

Table 2.

Interaction of local microorganisms and concentration of local microorganisms on the height of shallot plants (cm)

	Concentration of local microorganisms			
Local Microorganisms	K1 (1L/6L water)	K2 (1L/5L water)	K3 (1L/4L water)	K4 (1L/3L water)
M1 (Banana Stump)	39.56ab	40.84ab	41.26b	44.54a
M2 (Bamboo Shoots)	38.57b	42.37ab	41.27ab	43.17ab
Control	31.99 ab			

Description: numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the DMRT 5% test.

The effect of interaction between the type of local microorganisms and the concentration of local microorganisms gave the highest number of leaves in the local microorganisms' bamboo shoot treatment at a concentration of 1-liter local microorganisms: 4 liters of water, namely 35.60 strands, significantly different from other treatments (Table 3). A high number of leaves will have an impact on photosynthesis activity. Organic matter contained in local microorganisms can improve soil structure so that it can increase absorption [20]. The high N-Total content in bamboo shoots, namely 0.27%, indicates that the N element applied to seeds treated with bamboo shoot local microorganisms at a concentration of 1-liter local microorganisms: 4 liters of water shows that its availability is optimal so that it can be absorbed by plants for leaf growth. The number of leaves is greatly influenced by N content because it is one of the main components of chlorophyll [9].

The treatment of local microorganisms' type and local microorganisms' concentration had an interactive effect on tuber diameter. The highest tuber diameter was found in the banana stump mole treatment with a concentration of 1-liter local microorganisms: 3 liters of water, which was 2.43 mm, not significantly different from the bamboo shoot mole treatment at a concentration of 1 liter mole: 6 liters of water (Table 4). The high tuber diameter at a banana stump local microorganisms concentration of 1: 3 was because the amount of IAA and gibberellin hormones was less so that the dilution was lower, while the bamboo shoot mole concentration of 1: 6 showed that the availability of

growth hormones such as Indole Acetic Acid (IAA) and gibberellin in bamboo shoots was greater, so a higher dilution was required. The mechanism of action of auxin or IAA is to influence the flexibility of the cell wall so that water can enter by osmosis and stimulate cell elongation [16]. Furthermore, according to [6], gibberellin plays a role in cell growth and division so that it can increase tuber diameter.

Table 3.

Interaction of local microorganisms and concentration of local microorganisms on the number of red onion leaves (strands)

Lokal Microorganisms	Concentration of local microorganisms			
	K1 (1L/6L water)	K2 (1L/5L water)	K3 (1L/4L water	K4 (1L/3L water)
M1(Banana Stump)	28.87ab	29.80ab	26.67b	31.00ab
M2(Bamboo Shoots)	27.40ab	27.67ab	35.60a	31.00ab
Control	29.93ab			

Description: numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the DMRT 5% test.

Table 4.

Interaction of local microorganisms and local microorganism concentration on tuber diameter (mm)

Lokal Microorganisms	Concentration of local microorganisms			
	K1 (1L/6L water)	K2 (1L/5L water)	K3 (1L/4L water)	K4 (1L/3L water)
M1(Banana Stump)	2.20abc	20.00abc	2.03abc	2.43a
M2(Bamboo Shoots)	2.43a	1.80bc	2.00abc	1.97bc
Control	2.30ab			

Description: numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the DMRT 5% test.

The mole treatment was significantly able to provide an interactive effect on vegetative growth, namely plant height, number of leaves and tuber diameter. The phytohormone content in bamboo shoot moles and banana tubers was able to increase vegetative growth, although at a low concentration of 1:3 in bamboo shoot local microorganisms, it was able to increase plant height by 44.54 cm, the number of leaves in banana tuber moles with a concentration of 1:4, tuber diameter at a concentration of 1:6 and in banana tuber local microor-

ganisms and 1:3 in bamboo shoot local microorganisms. The mole level with a low concentration significantly affected the vegetative growth of plants. This is suspected when the study took place, the condition of the land on the east side was covered by vegetation from several trees that grew so that the environmental temperature was lower, compared to the western land that was exposed to sunlight. Exposure to sunlight causes the temperature to increase so that evaporation occurs faster and the microbes in the local microorganisms do not grow well. The results of [17] showed that shallot plants treated with banana stem molasses at the highest concentration, namely 40 ml, did not have a significant effect on vegetative growth.

Flowering or generative growth variables

Table 5.

Average temperature during shallot plant growth (°C)

Month	Average temperature
July	24.5
August	27.3
September	33.2

The results of the analysis showed that generative growth or flowering did not differ significantly in all observation variables. However, of all the shallot plants treated with banana stem mole and bamboo shoots, there were plants that flowered, namely in the bamboo shoot local microorganisms treatment with a concentration of 1 liter mole: 6 liters of water and with the highest percentage of 0.95%, the highest number of umbels per plant 1.00, the highest number of pithy capsules per plant 6.0, and the highest number of seeds per umbel 8.3 (Table 6).

According to [26], the average air temperature for shallot flower initiation is 15.8°C to 16.2°C, while during this study, the air temperature in June was 24.5°C, July 27.3°C and August 33.2°C (Table 5). According to [21], shallots require cold temperatures for flowering. Environmental factors such as duration of exposure, temperature and humidity significantly affect the flowering phases of shallots [22]. [7] stated that Bima variety shallots planted in the highlands and lowlands were able to produce flowers, but the percentage of flowers in the lowlands was lower than in the highlands. Shallot flowering, in addition to being influenced by genetic factors, is also influenced by temperature and humidity. The results of a study by [24], the Biru Lancor variety shallots planted at an altitude of ±89 meters above sea level did not produce flowers at all.

Table 6.

Flowering or generative growth data

Observation variables	Treatment	
	M2K1	M2K2
Percentage of flowering plants	0.95 a	0.95 a
Number of umbels per planting	0.33 a	1.00 a
Number of fleshy capsules per planting	6.0 a	1.00 a
Number of seeds per umbel	8.3 a	1.33 a

Note: numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the DMRT test 5%. M2: Bamboo shoot local microorganisms, K1: concentration local microorganisms 1: 6, K2: consentration local microorganisms 1: 5

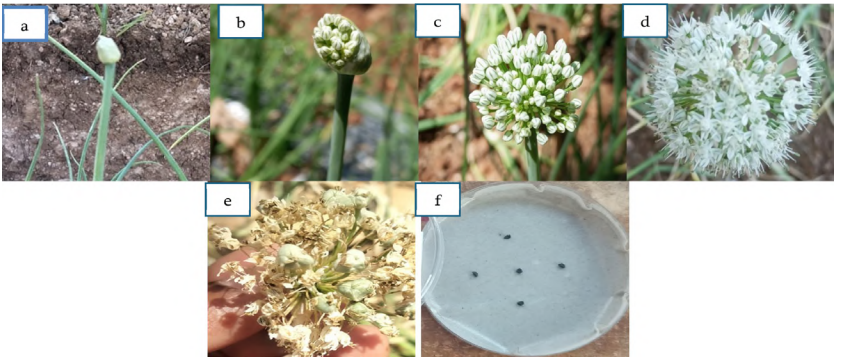


Fig. 1. The process of formation of flowers and shallot seeds

The formation of shallot flowers begins with the formation of umbels (a), the umbels are covered by a thin membrane that will break along with the development of the umbels (b and c), the flower umbels then bloom (d) and if pollination is successful, a capsule will be formed containing seeds (e) and the seeds formed (f) (Figure 1). The formation of flower umbels occurs 38 days after planting (DAP).

The local Eban cultivar shallot is thought to be unable to adapt to the environment in the midlands so that its genetic ability to produce flowers naturally does not occur. According to [30], environmental factors such as temperature are considered the most important environmental factors affecting plant phenology and some plants can only grow and develop in certain temperature environments and require certain cumulative temperatures to complete their life cycle. Furthermore, according to [13], high temperatures result in decreased flowering and seed production in the allium genus. Environmental factors are

important factors that affect plant growth and development, as well as being the basis for physiological and biochemical changes.

The gibberellin content found in banana stem moles and bamboo shoot has not been able to produce TSS. [27] stated that gibberellin with low concentrations is unable to induce shallot flowering. The gibberellin content in banana stem 2,159 mg/Kg and bamboo shoots 7,824 mg/Kg (Table 5) is very low so that flowering initiation does not occur. According to [11], the higher the concentration of gibberellin, the higher the flowering percentage. The results of [28] study, the Biru Lancor variety of red onion treated with 200 ppm gibberellin and planted in the lowlands was unable to produce flowers. The number of seeds formed indicates that pollination has occurred in the red onion flowers.

Seed Quality

The seeds formed were analyzed or tested in the Laboratory. The variables of maximum growth potential, germination power, vigor index and normal dry weight of seedlings showed no significant differences (Table 7). The TSS seeds produced showed normal germination (Figure 2), after being planted using the test method on paper.



Fig. 2. Germinated shallot trus shallot seed (TSS) seeds.

Table 7.

Testing the quality of true shallot seeds

Observation Variables	Treatment	
	M2K1	M2K2
Maximum growth potential (%)	33.33 a	22.22 a
Germination Power (%)	11.00 a	22.00 a
Vigor Index (%)	5.33 a	22.00 a
Dry weight of normal sprouts (gram)	0.0028 a	0.0021 a

Note: numbers followed by the same letter indicate no significant difference according to the DMRT test 5%. M2: local bamboo shoot microorganisms, K 1: 1: 6, K2 1: 5

The quality of a seed depends on the vigor and viability of the seed. The benchmark for vigor is the vigor index while the benchmark for seed viability is the maximum growth potential, germination power and normal dry weight of the sprout. Seeds that have high vigor and viability are indicated by their ability to germinate normally above 80% [2]. Based on these criteria, the seeds tested cannot be said to have good vigor and viability because the seed testing has not met the International Seed Testing Association (ISTA) standards, because the seed production is very small. According to the [12], the number of seeds used for testing each replication is 25 seeds, while in this test the number is only 5 seeds per replication.

Conclusions

Banana stumps and bamboo shoots can be used as local microorganisms because they contain phytohormones such as IAA, gibberellin, K2O, P2O5, N, Fe, Mn, Zn and Cu. The provision of local microorganisms of banana stumps and bamboo shoots has an interactive effect on the vegetative growth of the local shallot cultivar Eban, namely on the variables of plant height, number of leaves and bulb diameter. Generative growth in shallots treated with local microorganisms did not have a significant effect, but from the treatments tested, there was a treatment that could produce flowers, namely bamboo shoot microorganisms with concentrations of 6:1 (M2K1) and 5:1 (M2K2). The production of true shallot seeds did not show significant results, but the seeds tested showed normal growth.

Sponsorship information. The author would like to thank the Research and Community Service Institute of the University of Timor for funding this research through the laboratory research of the Dry Land Study Center in the 2024 budget year.

References

1. Arief, D. Z., Sumartini, Wahyuni, F., Ghaffar, R. M., & Wahyu, K. W. (2023). Local microorganisms of banana stem (*Musa paradisiaca* L.) using rice washing water (*Oryza sativa* L.) with varying sucrose concentrations for peeling pepper seeds. *Pasundan Food Technology Journal (PFTJ)*, *10*(2), 47–50. https://doi.org/10.23969/pftj.v10i2.9520
2. Ashworth, S. (2002). *Seed to Seed* (2nd ed.). United States of America: Seed Savers Exchange. 228 p.
3. Azis, H., Dahlan, A., Rizal, M., Chairun Nisa, I., & Rivai, I. (2024). Growth and yield of red onion (*Allium cepa* L.) on growing media added to natural

growth regulators. *Jurnal Agrisistem*, *20*(1), 16–23. https://doi.org/10.52625/j-agr.v20i1.310. EDN: https://elibrary.ru/RIJBQM

4. Central Statistics Agency. (2023). *Vegetable crop production by district and type of crop in North Central Timor Regency*.
5. Baker, J. K. (1986). High performance liquid chromatography in biochemistry. *Analytical Biochemistry*, *154*(1), 371.
6. Elshyana, I. S., Lukiwati, D. R., & Karno, K. (2019). Response of true shallot seed growth in some onion varieties (*Allium cepa* L.) to gibberellin application. *Journal of Agro Complex*, *3*(3), 114.
7. Fahrianty, D., Poerwanto, R., Widodo, W. D., & Palupi, R. (2020). Improvement of flowering and seed yield of shallot variety Bima through vernalization and application of GA_3. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, *25*(2), 244–251. https://doi.org/10.18343/jipi.25.2.245. EDN: https://elibrary.ru/HZBNKY
8. Fatoni, A., Sukarsono, & Agus, K. B. (2016). The influence of bamboo shoots (*Dendrocalamus asper*) and time on the quality of fertilizer composting from trash leaves. In *Proceedings of the 2nd National Seminar 2016: Collaboration between the Biology Education Study Program, FKIP and the Center for Environmental and Population Studies (PSLK)* (pp. 876–881). Malang, Indonesia: University of Muhammadiyah Malang.
9. Hasnelly, H., & Gatot, E. (2020). The effect of coffee husk compost fertilizer on the growth and yield of red onion (*Allium ascalonicum* L.) Lembah Palu variety. *Jurnal Sains Agro*, *5*(2).
10. Hilman, Y., Rosliani, R., & Palupi, E. R. (2014). The effect of altitude on flowering, production, and quality of true shallot seed. *Jurnal Hortikultura*, *24*(2), 154–161.
11. Idhan, A. (2016). *True shallot seed production with vernalization and gibberellin (GA_3) treatments on two area elevations* (Doctoral dissertation). Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar, 1–202.
12. International Seed Testing Association (ISTA). (2018). *International Seed Testing Association*, *16*(2), 298 p.
13. Jagadish, S. V. K., Bahuguna, R. N., Djanaguiraman, M., Gamuyao, R., Prasad, P. V. V., & Craufurd, P. Q. (2016). Implications of high temperature and elevated CO_2 on flowering time in plants. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 913. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00913
14. Kartana, S. N., Mangardi, & Darmawan, D. (2024). The effect of giving local microorganisms of bamboo shoots on the growth and yield of purple eggplant (*Solanum melongena* L.). *PIPER*, *20*(2), 159–169. ISSN 2775-5738.
15. Khasanah, M., Suedy, S. W. A., & Prihastanti, E. (2018). Application of chicken manure and rice straw on the growth and production of shallots (*Allium cepa* L. var. Bima Curut). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, *3*(2), 188–194.

16. Kurniati, F., Sudartini, T., & Hidayat, D. (2017). Application of various natural PGRs to increase the growth of candlenut (*Reutealis trisperma*) CV Sunan seedling. *Jurnal AGRO*, *4*(1), 40–49.
17. Lestari, Sumarsono, & Sutarno. (2019). Growth response and production of shallot to application frequency and level of local microorganism from banana stem. *Journal of Agro Complex*, *3*(3), 105–113.
18. Pitaloka, A. M. D., & Usmadi. (2023). Pengaruh pemberian vermikompos dan pupuk KNO_3 terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) pada lahan kering. *Berkala Ilmiah Pertanian*, *6*(2), 78–83.
19. Nikmah, Z. F., Budiyanto, S., & Sutarno. (2023). Response growth of shallot (*Allium cepa* L.) due to local microorganism application of bamboo shoots and goat manure. *Agrohita: Jurnal Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Tapanuli Selatan*, *8*(1), 169–178.
20. Maulina, L., Karnan, K., & Raksun, A. (2023). The effect of vermicompost on growth of shallots (*Allium ascalonicum* L.). *Jurnal Pijar Mipa*, *18*(2), 265–273. https://doi.org/10.29303/jpm.v18i2.3448. EDN: https://elibrary.ru/MFZTFY
21. Rosliani, R., Prathama, M., Sulastiningsih, N. W. H., Hermanto, C., & Yufdy, M. P. (2021). Flowering and yield of true shallot seed from bulb and different seedling age vernalized at low temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *22*(2), 7129–7137.
22. Rosliani, R., Handayani, T., Prathama, M. et al. (2024). Enhancing botanical seed yields via seed-to-seed techniques and understanding botanical seed phenology in shallots. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2024.11.002
23. Sembiring, R., Sembiring, S., Karo, S. B., Sitanggang, T. T., & Sihombing, D. R. (2023). ZPT concentration and bamboo shoots fermentation: its effect on the growth and number of local variety of Gogo rice (*Oryza sativa* L.). *Jurnal Riset Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (RETIPA)*, *3*(2), 97–107.
24. Siswadi, E., Choiriyah, N., Rentina, R. et al. (2022). The effect of different varieties and plant growth regulator on the growth and development of shallot (*Allium ascalonicum* L.). *Agromix*, *13*(2), 175–186.
25. Sopha, G. A., Syakir, M., Setiawati, W., Suwandi, N., & Sumarni, N. (2017). Planting method of seedling of shallot from true shallot seed in suboptimal land. *Jurnal Hortikultura*, *27*(1), 35–44.
26. Tendaj, M., Mysiak, B., & Krawiec, M. (2013). The effect of storage temperature of steckling bulbs on seed stalk development and seed yield of shallot (*Allium cepa* L. var. *ascalonicum* Backer). *Acta Agrobotanica*, *66*(3), 41–48.
27. Triharyanto, E., Purnomo, D., Yunus, A., & Samanhudi. (2020). Detection of flowering ability on several bulbs shallot sources by using *Hd3a* and endogenous

GA_3 analysis. *Indian Journal of Agricultural Research*, *54*, 751–756. https://doi.org/10.18805/ijare.a-561. EDN: https://elibrary.ru/BLZNIC
28. Wahyuni, W., & Saputri, R. (2024). Production of true shallot seed (*Allium ascalonicum* L.) in Bangka Belitung Islands. *Agroteknika*, *7*(2), 138–151. https://doi.org/10.55043/agroteknika.v7i2.231. EDN: https://elibrary.ru/FUBJBM
29. Walida, H., Permadi, A., Harahap, F. S., & Dalimunthe, B. A. (2019). Isolation and antagonist test of local microorganisms (MoL) of bamboo shoots against fungus *Fusarium* sp. *Jurnal Agroplasma*, *6*(2), 1–6. https://doi.org/10.36987/agroplasma.v6i2.1564. EDN: https://elibrary.ru/ROTSYL
30. Zhou, G., Gu, W., Liu, E. et al. (2023). Plant phenology simulation and trigger threshold based on total climatic production factors: a case study of *Stipa krylovii* phenology. *Agronomy*, *13*(7), 1–15.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna Tefa: initiated the research idea on the local Eban shallot that can produce flowers and seeds, design the research method, and draft the initial draft of the manuscript.

Nikolas Nik: helped manage plant pests and diseases and conducted critical review, revision, and improvement of the manuscript to ensure clarity and good structure.

Aloysius Rusae: contributed to the development of local microorganisms that can be applied to stimulate the formation of flowers and seeds in the local Eban shallot.

Alberikus Arsenius Neonnub: collected data in the field and in the laboratory.

Iwanry Savio Manek: managed and analyzed the data using software.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna Tefa, S.P, M. Si., Lecturer, Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Science and Health
University of Timor
Kefamenanu, Indonesia
annatefa82@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2646-5191

Nikolas Nik, Dr, M.Si., S.P., Lecturer, Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Science and Health
University of Timor
Kefamenanu, Indonesia

nikolasmanikin@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-8022-8351

Aloysius Rusae, S.P., M.Si., Lecturer, Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Science and Health
University of Timor
Kefamenanu, Indonesia
alorusae74@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6640-9552

Alberikus Arsenius Neonnub, Student, Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Science and Health
University of Timor
Kefamenanu, Indonesia
lutiarsen@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-8991-3867

Iwanry Savio Manek, Student, Agrotechnology Study Program, Faculty of Agriculture, Science and Health
University of Timor
Kefamenanu, Indonesia
iwanrysaviomanek@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5742-9791

Поступила 05.05.2025 Received 05.05.2025
После рецензирования 01.07.2025 Revised 01.07.2025
Принята 07.10.2025 Accepted 07.10.2025

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1365 **EDN: CAQBCN**
UDC 58.036.1

Original article

CONVECTIVE DRYING PROCESSES FOR PLUMS USING SENSOR TECHNOLOGY

A. Lukyanov, N. Miletić, V. Filipović, M. Petković, D. Donskoy, I. Studennikov

Abstract

Purpose. This study aims to investigate the effects of convective drying on pitted plums using advanced sensor technology to monitor and optimize the drying kinetics.

Materials and methods. This study investigates convective drying processes applied to pitted plums utilizing advanced sensor technology to monitor and optimize convective drying kinetics. The average drying temperature was found 52.38 ± 9.45 °C throughout the drying process. A multidimensional 3D plate model (L_1, L_2, L_3) was employed to analyze the drying behavior. The effective diffusivity ($D_{eff} = 3.5338 \times 10^{-9}$ m^2s^{-1}), indicates efficient moisture transport within the plum tissue. The drying process lasted 62 hours, during which the plum samples underwent significant moisture reduction to about 50 %. Around 7.91 kWh of energy was needed to evaporate 1 kg of water from the plums over an estimated drying time.

Results. Around 7.91 kWh of energy was needed to evaporate 1 kg of water from the plums over an estimated drying time. These findings underscore the effectiveness of convective drying and sensor technology in understanding and optimizing drying kinetics for plums, paving the way for enhanced preservation and commercial processing strategies.

Conclusion. The study demonstrates the effectiveness of convective drying of seedless plums using advanced sensor technology for real-time monitoring and optimisation. This method produces high quality dried fruit with excellent preserva-

tion properties. Future scalability for industrial use can be explored and the sensor technology can be applied to other fruits and vegetables.

Keywords: convective drying; MEMS sensors; plum; sensor technology; drying system; relative humidity; moisture content

For citation. Lukyanov, A., Miletić, N., Filipović, V., Petković, M., Donskoy, D., & Studennikov, I. (2025). Convective drying processes for plums using sensor technology. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 327-339. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1365

Introduction

Drying is one of the oldest and most widely used methods for food preservation, offering a reliable means to extend the shelf life of perishable products by reducing the moisture content. Convective drying, in particular, is popular due to its simplicity, energy efficiency, and the ability to maintain dried products' nutritional and sensory quality. However, achieving optimal drying conditions for fruits like plums remains challenging due to balancing moisture removal with product quality. Recent advances in sensor technology have enabled more precise control and monitoring of the drying process, which can lead to improved drying kinetics and product quality. Integrating sensors into drying systems allows for real-time data collection on parameters such as temperature, humidity, and moisture content, facilitating the optimization of drying conditions [1; 10].

This study aims to investigate the effects of convective drying on pitted plums using advanced sensor technology to monitor and optimize the drying kinetics.

Materials and methods

Sample Preparation

The plums for this study were sourced from the local market and meticulously chosen for uniform size, ripeness, and lack of defects (mechanical or infected by moulds). Purchased plums were of cv. Stanley, harvested at appropriate maturity stage for fresh consumption, which made them finely suitable for processing too. After washing and pitting, the plums were prepared for drying. Before drying, the samples were blotted to eliminate any excess surface moisture and weighed.

Drying Process

The convective drying process was carried out in a laboratory-scale drying chamber (Figure 1) equipped with advanced sensor technology (Colossus CSS 5330 250W, PRC). The drying chamber maintained an average temperature of 52.38 ± 9.45 °C, with an air velocity of 3 ms^{-1}. The drying process lasted 62

hours, during which the moisture content of the plum samples was monitored at regular intervals.

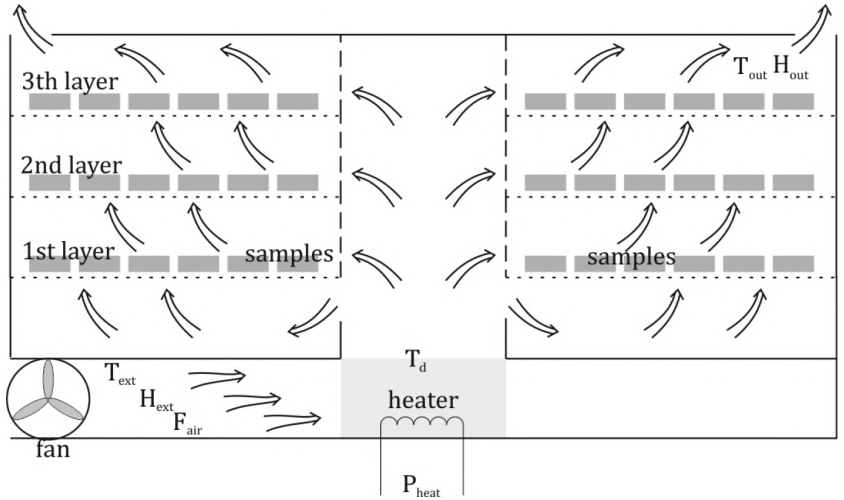


Fig. 1. Laboratory-scale drying chamber

Sensor Technology and Data Acquisition

The laboratory drying chamber was outfitted with an array of MEMS sensors, based on a BME280 sensor [3], capable of measuring temperature, relative humidity, and allows to calculate moisture content in real-time. These sensors were connected to a data acquisition system (Figure 2), based on IoT microcontroller ESP32 WROOM 32, that recorded measurements every minute and sent data via WiFi to Telegram cloud data storage. The use of this technology allowed continuous monitoring and control of the drying conditions, ensuring that the drying process was optimized for both energy efficiency and product quality.

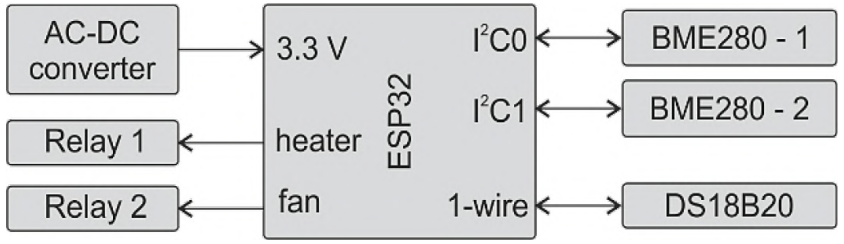


Fig. 2. Structural scheme of data acquisition system

A digital PID-controller (as a subroutine of a microcontroller program) was used to control hot air temperature. As a sensor to control hot air temperature, a digital thermometer DS18B20 is used. Relay 1 & Relay 2 are used to control the heater and fan respectively. For fan, only the on/off regime is used. A quasi-PWM regime was used for the heater solid state relay to maintain hot air temperature, with an actual control period of one second. That is enough because of the big heat inertia of the heating element.

For the aim of dehydration process monitoring, a Telegram bot is used which represents the data set in the mobile or computer Telegram application (Figure 3). Such applications allow entering commands to control and tune parameters of dehydration. In each data string next information represented (from left to right side): time in seconds, elapsed from the control system switched on; air temperature after heater (DS18B20); temperature, relative humidity and pressure of input air (BME280-1), temperature, relative humidity and pressure of input air (zero value, reserved for BME280-3), differential air moisture from 1st and 2nd sensors (Eqs. 1 – 3), differential air moisture from 3rd and 2nd sensors (not valid in this case), expended energy (cumulative), and mean heater duty (in ms.).

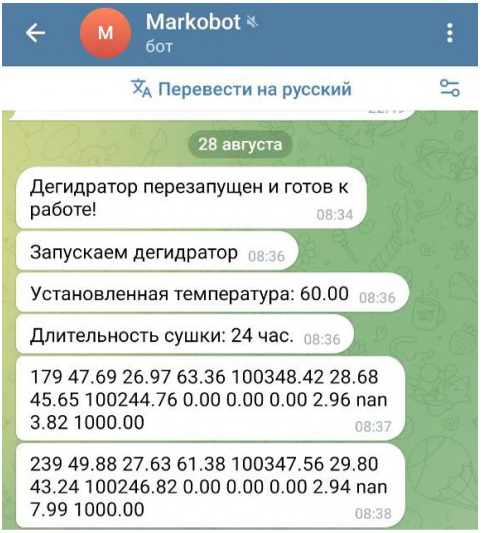


Fig. 3. Screenshot of mobile Telegram bot screen

The Telegram bot is based on Alex Gyver's Telegram bot library "FastBot" for ESP32 microcontrollers and was created by the authors of the paper.

Differential air moisture calculated as differences between output air moisture d_{out} and output air moisture d_{inp}:

$$d = d_{out} - d_{inp} \quad (1)$$

Air moisture is calculated by the equation of air moisture:

$$d = 622 \cdot \frac{H \cdot P_S}{P_{atm} - H \cdot P_S} \quad (2)$$

where H is a relative humidity, P_s is a partial vapor pressure and P_{atm} is the atmospheric pressure.

Partial vapor pressure P_s is calculated by the Arden Buck equation:

$$P_s(\Theta) = 6.1121 \cdot e^{\left(18.678 - \frac{\Theta}{234.5}\right)\left(\frac{\Theta}{257.14+\Theta}\right)} \quad (3)$$

This way we eliminate the influence of changing outside air humidity on the measurement of moisture loss.

One of the problems in analyzing moisture loss in convective dehydrators is calculating the actual moisture loss during the measurement process. In general, the cumulative moisture loss is calculated using the following formula:

$$W(t) = \int_0^t d(t) \cdot F_{air}(t)dt \quad (4)$$

where $F_{air}(t)$ is an air flow through the dehydrator. In turn, an airflow can be presented as:

$$F_{air}(t) = S \cdot V_{air}(t) \quad (5)$$

where $V_{air}(t)$ is a measured air velocity, and S is a cross-sectional area at the point of velocity measuring. It should be taken into account that this speed is different from the speed of blowing hot air over the dehydrated samples. If we assume that the air flow rate through the dryer is constant (which is not entirely true for the drying chamber under consideration), then equation (4) taking into account (5) can be represented as:

$$W(t) = S \cdot V_{air} \int_0^t d(t)dt \quad (6)$$

The reservation regarding the partial validity of the adoption of a constant air flow rate is related to the contact of the dehydrated product samples as moisture is absorbed, and, accordingly, to an increase in the flow area and a decrease in air resistance. As a result, by the end of drying, the airflow rate may increase. However, given the loose filling of the drying chamber trays with plum halves, we consider it possible to neglect this increase in this experiment.

In finishing the experiment, we can obtain a total water loss of the dehydrated product, by subtracting the mass of the dehydrated product from the mass of the original product. If the mass of moisture (water) is m_0 and the mass of dry matter is m_e, the removed water mass is:

$$\Delta m = m_0 - m_e \quad (7)$$

The final water loss at time T can represented as (6):

$$W(T) = S \cdot V_{air} \int_0^T d(t)dt \quad (8)$$

The Eq. 8 & 9 could be transformed:

$$\Delta m = W(T) = S \cdot V_{air} \int_0^T d(t)dt \quad (9)$$

In Eq. 9 we have not exactly defined values – product $S \cdot V_{air}$. It means, that we must calibrate the integral curve of $W(t)$ from the zero value at the start to the final value Δm at the end of the dehydration:

$$\widehat{W}(t) = ((W(t) - W(0)) \frac{\Delta m}{W(T)} \quad (10)$$

At the next step, we can differentiate $\widehat{W}(t)$, and obtain a corrected sequence of instant water loss during dehydration:

$$S \cdot V_{air} \hat{d}(t) = \frac{d}{d(t)} \widehat{W}(t) = \frac{d}{d(t)} \left(S \cdot V_{air} \int_0^T d(t)dt - W(0) \right) \frac{\Delta m}{W(T)} =$$

$$= \frac{\Delta m}{W(T)} S \cdot V_{air} d(t) \quad (11)$$

$$\hat{d}(t) = \frac{\Delta m}{W(T)} d(t) \quad (12)$$

Eq. 12 is the final equation to correct measured data.

Mathematical Modeling

To analyze the drying behavior of the plum samples, a multidimensional 3D plate model (L_1, L_2, L_3, Figure 4) was employed. This model is based on Fick's second law of diffusion and was used to calculate the effective diffusivity (D_{eff}) of the plums during the drying process. The effective diffusivity provides insight into the rate at which moisture is transported within the plum tissue, which is critical for understanding and optimizing the drying process [4; 13].

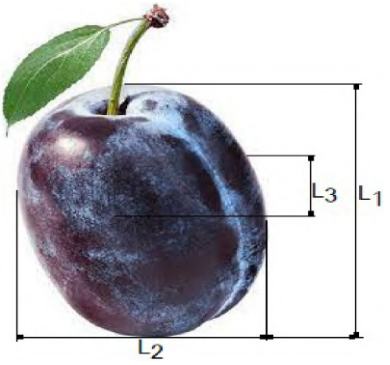


Fig. 4. 3D plate model

The moisture ratio (MR) is defined according to the Eq. 4 & 5 [6].

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} e^{\frac{-(2n+1)^2 \times \pi^2 \times D_{eff} \times t}{\frac{1}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2}}} = \left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 e^{\left(\frac{-\pi^2 \times D_{eff} \times t}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2}\right)} \quad (13)$$

$$lnMR = ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right)^3 - \left(\frac{-\pi^2 \times D_{eff}}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2}\right) \times t \quad (14)$$

The moisture ratio (*MR*) is defined according to the Eq. 13 & 14 [6]. M_t, M_o, and M_e represent the moisture content at the time (t) during dehydration, the initial moisture content, and the equilibrium moisture content, respectively. Since the equilibrium moisture content (M_e) is typically very low, it can be omitted from Eq. (13), without significantly affecting the calculation of *MR*. When D_{eff} is constant and (t) approaches infinity, the earlier equations can be simplified to a linear form: $\ln(MR) = \ln(a) - k \times t$. In this equation, the slope corresponds to the constant drying rate *k*, which can then be used to calculate D_{eff} (as shown in Eq. 15).

$$k = \frac{-\pi^2 \times D_{eff}}{L_1^2 + L_2^2 + L_3^2} \quad (15)$$

The drying kinetics refer to the change in total mass loss ($M_{i-1} - M_i$) between two consecutive measurements ($t_{i-1} - t_i$) on a specific tray during the convective drying process, also known as the drying rate DR (Eq.16; Ramallo and Mascheroni, 2013).

$$DR = \frac{M_{i-1} - M_i}{t_{i-1} - t_i} \quad (16)$$

The Energy Usage During the Drying Process of Plums

The energy consumption (*E*) was recorded using a Prosto PM 001 device (230 V, 50 Hz, 0–16 A, 2–3680 W, 0–9999 kWh, −10 °C to +40 °C, relative humidity ≤ 85 %, maximum operating altitude 2000 m). A mathematical correlation was determined between the energy used and the CO_2 emissions during the drying process, with approximately 0.998 kg of CO_2 released per 1 kWh of energy consumed [21].

Results and discussion

Drying Kinetics

The data plums examined in this study had basic measurement values L_1 = 52.33 ± 1.53 mm, L_2 = 36.33 ± 1.15 mm, L_3 = 34.17 ± 1.26 mm. Dehydration was conducted in the dehydrator at atmospheric pressure, to the final percentage of dry matter after the plum dehydration of 50.55%. The average temperature range of drying process is show in

Figure 5. An amount of 273 g of plum was placed in each tray of 320 mm diameter with a mass load of 3.4 kgm^{-2} (5 trays, 1365 g of pitted plums).

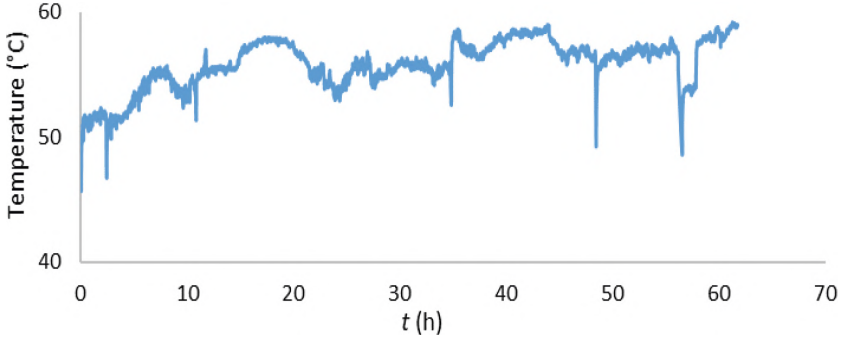


Fig. 5. The average temperature range of drying process

Figure 6 represents the process of convective drying of plums from the point of view of hot air and parameters registered by sensors (*WLS* – Water Loss Capacity), while Figures 7 and 8 from the point of view of plums and mass loss as a result of drying. The drying kinetics of the plum samples were characterized by an initial rapid loss of moisture, followed by a slower, diffusion-controlled drying phase. The sensor data revealed that th04/04/2026e moisture content decreased sharply during the first 10 hours of drying, which corresponds to the removal of free water from the surface of the plums (Fig. 6). After this initial phase, the rate of moisture loss slowed as the drying process became controlled by the diffusion of water from the interior of the plum tissue to the surface.

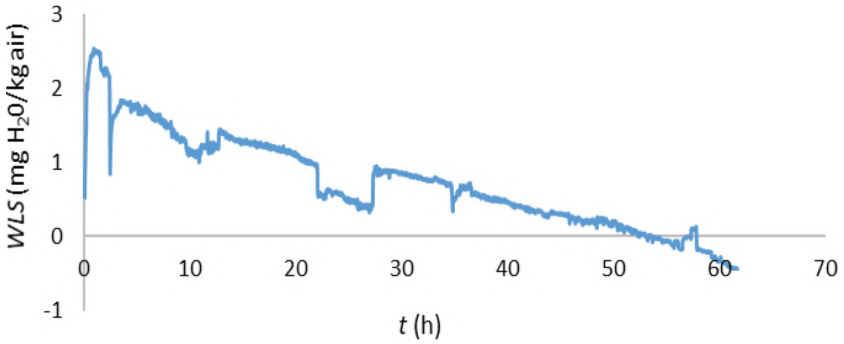


Fig. 6. Water loss speed during drying from the perspective of the drying air

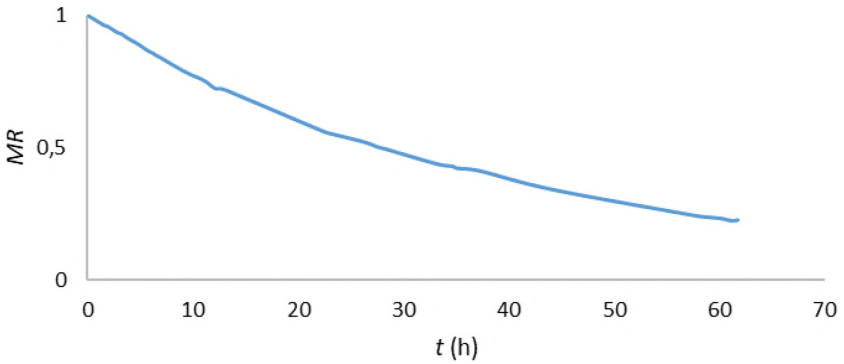


Fig. 7. Moisture ratio MR

The drying curve, presented in Figures 7 & 8, shows the relationship between moisture content and drying time, from the angle of the material (plum) being dried. The initial rapid decline in moisture content reflects the removal of surface water, while the subsequent plateau indicates the transition to the diffusion-controlled phase of drying. These results are consistent with findings from similar studies on the drying kinetics of fruits [2, 5]. The maximum *DR* was 109.5 gh^{-1} (after the 1.5 h of drying process).

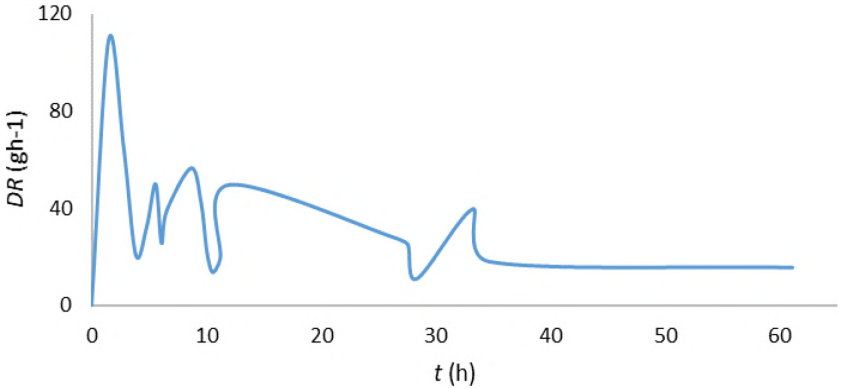


Fig. 8. Drying ratio DR

Effective Diffusivity

According to the multidimensional 3D plate model (L_1, L_2, L_3), the effective diffusivity (D_{eff}) of the plum samples was calculated to be 32.12×10^{-7} m^2min^{-1}

(3.53×10^{-9} m^2s^{-1}). This value suggests efficient moisture transport within the plum tissue, which is crucial for achieving uniform drying. The calculated effective diffusivity is within the range reported for similar fruits, indicating that the drying conditions used in this study were appropriate for plums [7]. Additionally, the plums were only pitted, not sliced, not cut in half or peeled; this drying method complicated the process because it made the moisture migration from various parts of the fruit more complex. For example, the D_{eff} values for the drying of plum (with kernel and pretreatments) at 50 °C were $2.66 – 3.75 \times 10^{-10}$ m^2s^{-1} [12], 5.6×10^{-9} for 55 °C (with kernel, [14]).

Moisture Reduction and Product Quality

By the end of the 62-hour drying period, the moisture content of the plum samples had been reduced to approximately 50% of their initial weight. This level of moisture reduction could be suitable for long-term storage and commercial distribution, as it effectively inhibits microbial growth while preserving the structural integrity of the fruit. The quality of the dried plums was evaluated based on their color, and texture. The convective drying process, when coupled with real-time monitoring through sensors, produced plums that retained their deep purple color and had a chewy, pliable texture. The integration of sensor technology into the drying process played a crucial role in ensuring that the plums were dried uniformly and that their quality was preserved throughout the drying process.

The Energy Usage During the Drying Process of Plums

The energy usage (E), as well as the CO_2 emission, is a linear (Figure 9).

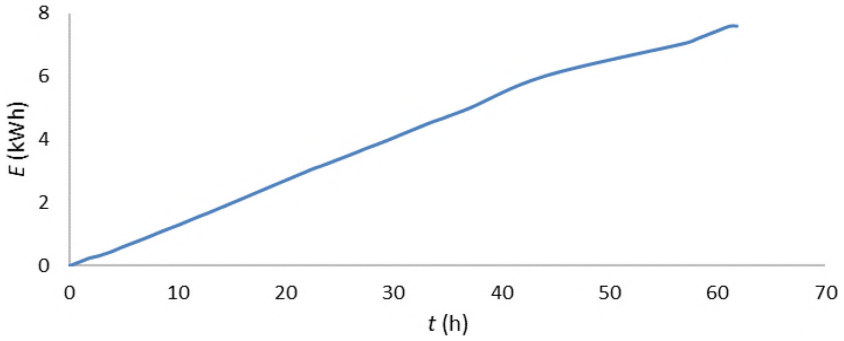


Fig. 9. The energy usage for the plums drying process

The experimental results indicate that approximately 7.91 kWh of energy was required to remove 1 kg of water from the plums during the estimated dry-

ing time of 62 hours. Over this period, around 7.9 kg of carbon dioxide was emitted. Given that this is a laboratory dehydrator, the data could be significant for evaluating energy efficiency in plum production "from the farm to the fork". For instance, Nadi and Hepbasli identified the drying process as the most energy-intensive stage with 46.67% [8].

Conclusion

This study demonstrates the effectiveness of convective drying processes for pitted plums, particularly when enhanced with advanced sensor technology. Integrating sensors into the drying process allowed for real-time monitoring and optimization of drying conditions, resulting in a high-quality dried product with efficient moisture transport, as indicated by the calculated effective diffusivity. The findings of this research suggest that convective drying, when carefully controlled and monitored, can produce dried fruits with excellent preservation qualities, suitable for both consumer markets and further processing. Future research could explore the scalability of this process for industrial applications, as well as the potential for sensor technology to be applied to the drying of other fruit and vegetable products.

Conflict of interest information. The authors declare no conflict of interest.

References

1. Adeyeye, S. A. O., Ashaolu, T. J., & Babu, A. S. (2022). Food drying: A review. *Agricultural Reviews*. https://doi.org/10.18805/ag.R-2537. EDN: https://elibrary.ru/SDHFTA
2. Akpinar, E. K., Bicer, Y., & Midilli, A. (2003). Modeling and experimental study on drying of apple slices in a convective cyclone dryer. *Journal of Food Process Engineering*, *26*(6), 515–541. https://doi.org/10.1745-4530.2003.tb00654.x
3. Bosch Sensortec. (2022). *BME280 Datasheet* (Rev. 1.23, 60 p.).
4. Castro, A. M., Mayorga, E. Y., & Moreno, F. L. (2018). Mathematical modelling of convective drying of fruits. *Journal of Food Engineering*, *223*, 152–167. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.012
5. Hassan, A. M. A., Zannou, O., Pashazadeh, H., Redha, A., & Koca, I. (2022). Drying date plum (*Diospyros lotus* L.) fruit: Assessing rehydration properties, antioxidant activity, and phenolic compounds. *Journal of Food Science*, *87*(10), 4394–4415. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16322. EDN: https://elibrary.ru/WDEHAQ
6. Hii, C. L., Law, C. L., & Cloke, M. (2009). Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa. *Journal of Food Engineering*, *90*(2), 191–198. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.022

7. Kaya, A., Aydın, O., & Kolaylı, S. (2010). Effect of different drying conditions on the vitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa* Planch). *Food and Bioproducts Processing*, *88*(2–3), 165–173. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2008.12.001
8. Nadi, F., & Hepbasli, A. (2021). Evaluation of sustainability of a prune production process from farm to fork approach based on thermodynamic principles and actual operational data. *Global Challenges*, *6*(1), 2100071. https://doi.org/10.1002/gch2.202100071. EDN: https://elibrary.ru/ZDNRZQ
9. Petković, M., Lukyanov, A., Rudoy, D., Kurćubić, V., Đurović, I., Miletić, N., & Safarov, J. (2021). Potato thin layer convective dehydration model and energy efficiency estimation. *E3S Web of Conferences*, *273*, 07028. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307028. EDN: https://elibrary.ru/WJOLFP
10. Pateiro, M., Vargas-Ramella, M., Franco, D., Gomes da Cruz, A., Zengin, G., Kumar, M., Dhama, K., & Lorenzo, J. M. (2022). The role of emerging technologies in the dehydration of berries: Quality, bioactive compounds, and shelf life. *Food Chemistry: X*, *16*, 100465. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100465. EDN: https://elibrary.ru/OEJTON
11. Ramallo, L., & Mascheroni, R. H. (2013). Effect of shrinkage on prediction accuracy of the water diffusion model for pineapple drying. *Journal of Food Process Engineering*, *36*(1), 66–76. https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2011.00654.x
12. Sacilik, K., Elicin, A. K., & Unal, G. (2006). Drying kinetics of Üryani plum in a convective hot-air dryer. *Journal of Food Engineering*, *76*(3), 362–368. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.031
13. Sonmete, M. H., Mengeş, H. O., Ertekin, C., & Özcan, M. M. (2016). Mathematical modeling of thin layer drying of carrot slices by forced convection. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *11*(2), 629–638. https://doi.org/10.1007/s11694-016-9432-y
14. Živković, M., Rakić, S., Maletić, R., Povrenović, D., Nikolić, M., & Kosanović, N. (2011). Effect of temperature on the physical changes and drying kinetics in plum (*Prunus domestica* L.) Pozegaca variety. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, *17*(3), 283–289. https://doi.org/10.2298/CICEQ101109013Z

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander Lukyanov, Head of the Production Processes Automation Department
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation
lex1998@rambler.ru

Nemanja Miletić, Department of Food Technology, Faculty of Agronomy Čačak
University of Kragujevac
Čačak, Serbia
n.m.miletic@kg.ac.rs

Vladimir Filipović, Faculty of Technology Novi Sad
University of Novi Sad
Novi Sad, Serbia

Marko Petković, Department of Food Technology, Faculty of Agronomy Čačak
University of Kragujevac
Čačak, Serbia
afdekanat@kg.ac.rs

Danila Donskoy
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation

Ilya Studennikov
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1292 **EDN: TLNPIO**
УДК 630*5

Научная статья

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ПО РОСТУ И РАЗВИТИЮ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА УЧАСТКАХ ПОСТОЯННОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ

А.В. Шемякина, А.Ю. Алексеенко, В.С. Грек, Д.А. Голубев, Д.В. Павлов, К.Е. Гула, Н.А. Каюмов

Аннотация

Обоснование. Освоение елово-пихтовых насаждений привело к значительному сокращению площади лесов, особенно в Хабаровском крае. До 1990-х годов в елово-пихтовых лесах абсолютно преобладали сплошнолесосечные рубки. Общая площадь елово-пихтовых лесов на Дальнем Востоке составляет 13,1 млн. га с общим запасом древесины 2109,8 млн. м^3. Наибольшие площади елово-пихтовых лесов находятся в Хабаровском крае (7430,5 тыс. га). Анализируя данные по Дальневосточному федеральному округу в изменениях по площади и запасам в елово-пихтовых лесах начиная с периода 1983-1998 гг. отмечена отрицательная динамика. В Хабаровском крае и Еврейской автономной области в этой группе потери площади елово-пихтовых лесов составили 8,4 %. В Дальневосточном регионе продолжается наблюдаться явление усыхания ельников, что также сказывается на отрицательную динамику темнохвойных лесов.

Цель. Оценка и анализ влияния рубок на восстановление елово-пихтовой формации в Хабаровском крае.

Материал и методы. Объект исследований – елово-пихтовые леса Хабаровского края. Проведены обследования лесных участков елово-пихтовых древостоев в Хехцирском лесничестве Хабаровского края (ПП 10-1966; ПП 9-1983). Методика исследований включает общепринятые лесоводственные методы изучения древостоев.

Стандартный размер пробной площади 0,25 га, в зависимости от густоты насаждения площадь колебалась от 0,10 до 1,0 га. При натурных обследованиях проводился сплошной перечет деревьев по 4-х сантиметровым ступеням толщины. По данным перечета, определялась густота или количество деревьев на 1 гектаре (N, шт./га) и сумма площадей поперечных сечений деревьев (G, м^2). Высоты деревьев измерялись с помощью высотомера, эклиметра. Средняя высота древостоя ($H_{ср.}$)

определялась, как и средний диаметр древостоя, по средневзвешенному значению. По среднему диаметру и высоте определялся разряд высот. При обработке данных исследований вычислялись средний диаметр, средняя высота древесных пород, запас древесины, абсолютная полнота, густота в программе MS Excel.

Результаты. Представлены материалы обследований лесных участков (ПП 10-1966; ПП 9-1983) елово-пихтовых насаждений в Хабаровском крае. Обработка данных постоянных пробных площадей показывает эффективность выборочных рубок на крутых склонах.

Заключение. Обследованы лесные участки елово-пихтовых насаждений в Хехцирском лесничестве Хабаровского края. Обработаны данные ревизии постоянных пробных площадей.

Проанализированы материалы роста смешанных елово-пихтовых древостоев на постоянных пробных площадях. Отмечен интенсивный рост тонкомерных деревьев ели и пихты и после выборочных рубок. Сохранение яруса взаимодействующих деревьев и лесной среды является основным принципом при выборе техники и технологии рубок в разновозрастных лесах. Исследование данных постоянных пробных площадей показывает эффективность выборочных рубок на крутых склонах.

Ключевые слова: елово-пихтовые леса; рост; развитие; рубка; пробная площадь

Для цитирования. Шемякина, А. В., Алексеенко, А. Ю., Грек, В. С., Голубев, Д. А., Павлов, Д. В., Гула, К. Е., & Каюмов, Н. А. (2025). Анализ материалов по росту и развитию елово-пихтовых древостоев на участках постоянного наблюдения в Хабаровском крае. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 340-366. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1292

Original article

ANALYSIS OF MATERIALS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SPRUCE AND FIR STANDS AT SITES OF CONSTANT MONITORING IN THE KHABAROVSK TERRITORY

A.V. Shemyakina, A.Yu. Alekseenko,V.S. Grek, D.A. Golubev, D.V. Pavlov, K.E. Gula, N.A. Kayumov

Abstract

Background. The development of spruce and fir plantations has led to a significant reduction in the area of forests, especially in the Khabarovsk Territory.

Until the 1990s, continuous logging absolutely prevailed in spruce and fir forests. The total area of spruce-fir forests in the Far East is 13.1 million hectares with a total wood reserve of 2109.8 million m^3. The largest areas of spruce-fir forests are in the Khabarovsk Territory (7430.5 thousand hectares). Analyzing the data on the Far Eastern Federal District, a negative trend has been noted in changes in area and reserves in spruce-fir forests since the period 1983-1998. In the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region in this group, the loss of spruce and fir forests amounted to 8.4 %. The phenomenon of shrinking spruce forests continues to be observed in the Far Eastern region, which also affects the negative dynamics of dark coniferous forests.

Purpose. Assessment and analysis of the impact of logging on the restoration of the spruce-fir formation in the Khabarovsk Territory.

Materials and methods. The object of research is the spruce-fir forests of the Khabarovsk Territory. Surveys of forest areas of spruce and fir stands in the Khekhtsir forestry of the Khabarovsk Territory (PP 10-1966; PP 9-1983) were conducted. The research methodology includes generally accepted forestry methods for studying stands. The standard size of the trial area is 0.25 ha, depending on the density of the plantation, the area ranged from 0.10 to 1.0 ha. During field surveys, a continuous tree count was carried out along 4-centimeter thick steps. According to the calculation data, the density or number of trees per 1 hectare (N, pcs/ha) and the sum of the cross-sectional areas of trees (G, m2) were determined. The heights of the trees were measured using an altimeter and an eclymeter. The average height of the stand (Nsr.) was determined, as well as the average diameter of the stand, by the weighted average value. The height category was determined by the average diameter and height. When processing the research data, the average diameter, average height of tree species, wood stock, absolute fullness, and density were calculated in the MS Excel program.

Results. The materials of surveys of forest plots (N 10-1966; N 9-1983) of spruce and fir plantations in the Khabarovsk Territory are presented. The processing of permanent sample area data shows the effectiveness of selective logging on steep slopes.

Conclusion. The forest areas of spruce and fir plantations in the Khekhtsir forestry of the Khabarovsk Territory were surveyed. The data from the audit of permanent trial areas has been processed. The materials of growth of mixed spruce-fir stands on permanent test areas are analyzed. Intensive growth of fine-grained spruce and fir trees was also noted after selective logging. The preservation of the tier of interacting trees and the forest environment is the main principle when choosing the technique and technology of logging in forests of different ages. The study of data from permanent test areas shows the effectiveness of selective logging on steep slopes.

Keywords: spruce-fir forests; growth; development; logging; trial area

For citation. Shemyakina, A. V., Alekseenko, A. Yu., Grek, V. S., Golubev, D. A., Pavlov, D. V., Gula, K. E., & Kayumov, N. A. (2025). Analysis of materials on the growth and development of spruce and fir stands at sites of constant monitoring in the Khabarovsk Territory. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 340-366. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1292

Введение

Елово-пихтовые леса имеют первостепенное экологическое и экономическое значение для Дальнего Востока. В регионе наибольшее распространение и промышленное значение имеет ель аянская (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gold.) Fisch. ex Carr.) [18, 28, 32]. Ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai) и ель сибирская (*Picea obovate* Ledeb.) встречаются главным образом в долинных местоположениях. Ель корейская характерна для бассейна Амура, ель сибирская – в северных лесничествах Хабаровского края и в Республике Саха (Якутия). Редким видом является ель Глена (*P. glehnii* (Fr. Schmidt) Mast.). Встречается на юге Сахалина и Курильских островах, занесена в Красную книгу Сахалинской области.

Исследователи разных времен изучали возрастную структуру темнохвойных дальневосточных древостоев, сложенных еловыми и пихтовыми лесами. К. Уэмура (1929) установил, что разность возрастов ели аянской в отдельных ступенях толщины, достигает в условиях о. Сахалина 90-100 лет [27].

К. Накамура (1930), К. Уэда (1939) указали на наличие в елово-пихтовых лесах 50-80 % деревьев, росших первое время жизни под материнским пологом, имеющих первоначальный период замедленного роста, сменяющийся периодом усиленного роста [20]. Исследователи отмечали, что 20-50 % деревьев основного яруса не имеют периода замедленного роста. Замена отмирающего поколения елово-пихтовых лесов новым, происходит в течение 80-100 лет.

В.А. Розенберг (1963), проводя натурные исследования для пихтово-еловых лесов южного Сихотэ-Алиня, установил их разновозрастность, изменяющуюся у возрастных поколений ели первого яруса от 40 до 100 лет; у пихты – от 20 до 50 лет. Во втором ярусе соответственно – от 20 до 90 лет и от 20 до 110 лет [22-23].

В древостоях отмечено наличие деревьев, испытавших значительную задержку в росте. Сопутствующие породы разрастаются в темнохвойных лесах, происходит усиление роста младших поколений ели и пихты. Повторяемость таких циклов приравнивается к средней разности возрастов

между поколениями ели и сопутствующих пород, и определена, в среднем, 60-70 лет [23].

Ю.И. Манько (1962; 1977) в девственных елово-пихтовых лесах северного Сихотэ-Алиня указывает на наличие задержек в росте деревьев ели аянской и пихты белокорой не только в начальном возрасте, но и в течение последующего периода жизни, т.е. разновозрастность [15-16].

Начальный период замедленного роста у ели наблюдается до 180 лет, средняя же его продолжительность как у ели, так и у пихты не превышала 70 лет. При улучшении условий у деревьев проявляется способность к энергичному последующему росту. Колебания возраста в древостоях достигают 250 лет. Б.А. Ивашкевичем (1926) выделены следующие возрастные стадии девственных елово-пихтовых лесов: спелости, перестойности, преобладания пихты (или лиственных), формирование нового древостоя [8].

В.Н. Романов (1962) описал основные черты строения и развития темнохвойных лесов о. Сахалина, указывая также на их разновозрастность [24].

По его мнению, возраст ели аянской колеблется в широких пределах, достигая 260 лет. Разновозрастность темнохвойных лесов обусловлена как биологическими особенностями ели аянской и пихты белокорой, так и характером разрушения древостоя по старости. Темнохвойные леса Сахалина формируются, в основном, из подроста. В.Н. Романовым разработана схема возрастного развития древостоев по формациям темнохвойных лесов, аналогично схеме Б.П. Колесникова (1956) [11]. Схема отражает стадию молодняка и приспевания, стадию спелости и стадию перестойности.

А.С. Агеенко и В.В. Лебединский (1965) также изучали возрастное строение ельников елово-пихтовых древостооев на Дальнем Востоке [1]. В насаждениях ели аянской выделяют два типа возрастного строения: симметрично-разновозрастные и асимметрично-разновозрастные.

А.Г. Шавнин (1966) по возрастным особенностям в ельниках Приморского края обозначил древостои нормального строения и абсолютно разновозрастные [29]. Е.К. Козин (1970) изучал возрастное развитие папоротниково-зеленомошных пихтово-еловых лесов южного и среднего Сихотэ-Алиня и пришел к выводу, что в процессе изменяется общее число поколений деревьев [10]. Смена поколений пихты происходит чаще, более двух ее поколений. За амплитуду колебания возрастов деревьев в пределах выделяемых поколений принят период их возобновления, равный 50-70 годам.

А.С. Агеенко, И.В. Бушмелев, И.Т. Дуплищев, (1973) на примере ельников зеленомошной группы типов и пихтарников зеленомошных и папоротниковых установили следующие основные особенности [1]. По

происхождению елово-пихтовые древостои подразделяются на девственные, естественные и антропогенные. По характеру возрастного строения в еловых лесах елово-пихтовой формации выделены три типа возрастной структуры: условно одновозрастные, симметрично разновозрастные, ассиметрично разновозрастные, а в древостоях пихты сахалинской пихтово-еловой формации – только условно одновозрастные.

В настоящее время исследования по изучению строения елово-пихтовых лесов продолжаются [3; 6; 9; 12; 14; 16-17; 21; 26; 30-31].

В разновозрастных елово-пихтовых и пихтово-еловых лесах Дальнего Востока преобладают сплошнолесосечные рубки, на долю которых приходится около 90 %. Система сплошнолесосечных рубок приводит к существенному ухудшению состояния лесного фонда елово-пихтовой формации [19]. За последние 30 лет средний запас древесины елово-пихтовых лесов уменьшился на 21 %. На месте рубок затруднено естественное лесовосстановление вследствие развития интенсивной травянистой растительности, повышается риск возникновения лесных пожаров. При неустойчивом состоянии елово-пихтовых лесов вырубки разной интенсивности способствуют возникновению очагов усыхания [7; 23; 33-35].

Цель исследования – оценка и анализ влияния рубок на восстановление елово-пихтовой формации в Хабаровском крае.

Материалы и методы

Обследование елово-пихтовых древостоев проводилось на постоянных пробных площадях ПП 10-1966 (квартал 7, выдел 14), ПП 9-1983 (квартал 41, выдел 1) в Хехцирском лесничестве Хабаровского края. ПП 10-1966: тип леса - лещиново-папоротниковый кедровник с пихтой и елью, Подрост: Состав – 6П 2Е 1К 1Ос, Подлесок: лещина (*Corylus* L.), жимолость (*Lonicera* L), рябинник (*Sorbaria* (Ser. ex DC.) A Br.) – средней густоты, Почвы: бурые лесные, оподзолистые. Насаждения на участке ПП 10-1966 подвергались неоднократной выборочной рубки до 1950 г с выборкой спелых и перестойных хвойных пород с оставлением тонкомера ели и пихты, березы (*Betula* L.). В 1966-1967 гг. проведены снова лесохозяйственные рубки. Рубке подвергалась береза ребристая (*B. costata* Trautv.). Следующий прием рубки проведен в 1993 г. В 1998 г. на участке наблюдалось значительное усыхание ели и пихты.

ПП 9-1983: Естественный елово-пихтовый древостой с участием кедра корейского (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.). Состав основного яруса 2,7Е1,4П0,9К2,1Лп1,1Бж0,8Ос0,5Км 0,3Ид0,2Бб. Подрост: бархат амурский

(*Phellodendron* Rupr.), береза плосколистная (*B. platyphylla* Sukacz.), береза ребристая (б. желтая), береза шерстистая (б. каменная) (*B. lanata* (Regel) V. Vassil.), ель аянская (*Picea ajanensis* (Lindl. et Gord.) Fisch.), ива козья (*Salix caprea* L.), кедр корейский, клен зеленокорый (*Acer tegmentosum* Maxim.), липа амурская (*Tilia amurensis* Rupr.), ольха волосистая (*Alnus hirsute* (Spach) Turcz. et Rupr.), пихта почкочешуйная (п. белокорая) (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.), ясень маньчжурский (*Fraxinus mandshurica* Rupr.). ПП 19-1995: смешанное разновозрастное насаждение, тип леса – кедровник кленово-лещиновый с пихтой, липой и дубом (К-VI). В 1995 г. в соответствии с проектом организации и развития лесного хозяйства проведены проходные рубки ухода по узко пасечной технологии с применением тракторной трелевки (ЛХТ-55) [4-5]. Рубка проведена в 1994 и 1999 гг.

Для них подбирались участки, полностью отражающие характерные особенности насаждения. Размер пробной площади зависел от степени изменчивости изучаемых признаков. Стандартный размер пробной площади 0,25 га, в зависимости от густоты насаждения площадь колебалась от 0,10 до 1,0 га.

Для общей характеристики пробной площади указывались: урочище, экспозиция и крутизна склона, характерные элементы рельефа. Для характеристики древостоя проводился детальный обмер деревьев с разделением их по породам. Диаметры деревьев измерялись мерной вилкой на высоте груди – 1,3 м от поверхности почвы (корневой шейки).

По данным перечета, определялась густота или количество деревьев на 1 гектаре (N, шт./га) и сумма площадей поперечных сечений деревьев (G, $м^2$). По сумме площадей поперечных сечений породы и количеству стволов определялись средние диаметры каждой породы ($d_{ср.}$). Высоты деревьев измерялись с помощью высотомера, эклиметра или мерной вилки у 12-15 деревьев главной породы. Измерение высоты производилось с точностью до 10 см, а диаметров измеряемых деревьев – с точностью до 1 см. По данным измерений строились графики высот. Данные выравнивались с помощью кривой высот. Средняя высота древостоя ($H_{ср.}$) определялась, как и средний диаметр древостоя, по средневзвешенному значению. По среднему диаметру и высоте определялся разряд высот.

Результаты исследования

На исследуемых участках проведены натурные обследования измерений диаметров и высот стволов, распределение по породам.

Ведомость перечета древесных пород представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Ведомость перечета деревьев на пробной площади ПП 9-1983

Ступени толщины, см	Число растущих деревьев по породам, штук											
	Пх	Еа	Рб	К	Кл$_{ж}$	Б$_{кам}$	Дм	Клз	Бх$_{ам}$	Лп$_{ам}$	Ол	Яс
6	10	3	7	2	9	4	0	2	0	1	2	0
8	9	0	0	0	7	2	0	3	0	0	0	0
10	11	1	1	1	3	4	0	4	0	0	1	0
12	6	0	-	2	0	1	1	4	0	0	1	1
14	7	0	-	0	0	2	-	3	0	0	0	-
16	3	1	-	1	0	2	-	2	0	1	0	-
18	5	1	-	1	1	3	-	1	0	0	1	-
20	6	4	-	0	-	1	-	1	0	0	0	-
22	2	3	-	1	-	4	-	1	0	0	0	-
24	1	3	-	0	-	2	-	-	0	1	0	-
26	-	2	-	0	-	1	-	-	1	-	0	-
28	-	3	-	0	-	1	-	-	0	-	1	-
30	-	4	-	1	-	0	-	-	0	-	1	-
32	-	2	-	1	-	2	-	-	1	-	-	-
34	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-
36	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	60	32	8	11	20	30	1	21	2	3	7	1

Примечание: Пх – пихта цельнолистная (белокорая); Еа – ель аянская; Рб – рябина амурская; К-кед корейский (сосна корейская); Кл$_{ж}$ – клен желтый, укурунду; Бкам – береза каменная; Дм – дуб монгольский; Кл з – клен зеленокорый; Б хам – бархат амурский; Лп$_{ам}$ - липа амурская; Ол – ольха волосистая; Яс – ясень маньчжурский.

Подлесок (кустарниковый ярус). Общее проективное покрытие 10-20% (кустарники, лианы кустарниковые, полукустарники) (таблица 2).

Таблица 2.

Видовой состав кустарникового яруса

Название вида	Обилие	Жизненность
Actinidia kolomikta (Maxim.) Maxim.	sp gr	сл
Aralia elata (Miq.) Seem.	sol	не пл
Berberis amurensis Rupr.	sol	не пл
Euonymus macroptera Rupr.	sol	сл
Euonymus pauciflora Maxim.	sp	сл
Sambugus racemosa L.	sol	не пл
Vitis amurensis Rupr.	sol	не пл
Lonicera maximowiczii (Rupr.) Regel	un-sol	не пл
Acer ukurunduense Trautv. et Mey.	sp	сл
Atragene ochotensis Pall.	sol gr	не пл
Corylus mandshurica Maxim. in Rupr. et Maxim.	sol-sp	сл
Schisandra chinensis (Turcz.) Baill.	un-sol	сл
Rubus sachalinensis Levl.	sol	не пл
Sorbaria sorbifolia (L.) A. Br.	sp	не пл
Swida alba (L.) Opiz	un-sol	не пл
Ribes triste Pall.	sp	сл
Philadelphus tenuifolius Rupr. et Maxim.	sol	сл
Rosa acicularis Lindl.	sol	не пл

Травяно-кустарничковый ярус. Общее проективное покрытие 80%. Мохово-лишайниковый ярус не выражен (менее 5%) (таблица 3).

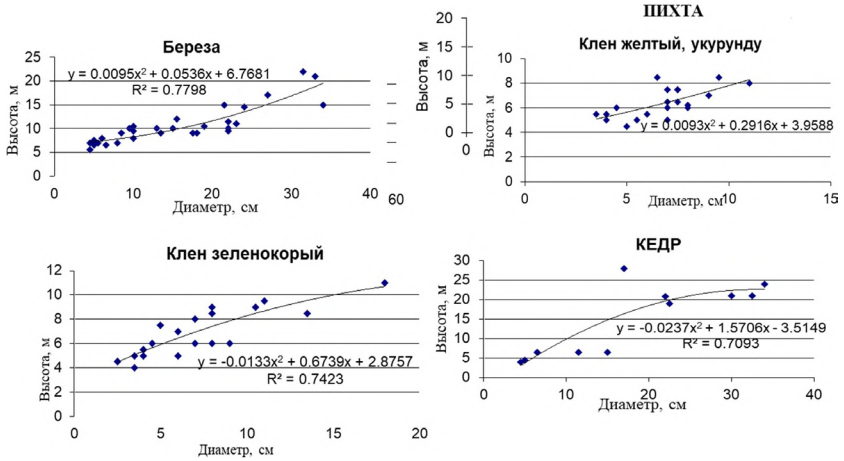
Таблица 3.

Видовой состав травяно-кустарничкового яруса

Название вида	Обилие	Жизненность
Aconitum sczukinii Turcz.	sol	сл
Valeriana alternifolia Ledeb.	sol gr	сл
Thalictrum filamentosum Maxim.	sp	н
Calamagrostis langsdorffii (Link) Trin.	sol gr	не пл
Aruncus dioicus (Walt.) Fern.	sol	не пл
Paris hexaphylla Cham.	sol gr	сл
Persicaria minor (Huds.) Opiz	un-sol	сл
Caltha palustris L.	un-sol	не пл

Athyrium filix-femina (L.) Roth	sp-cop	н
Athyrium sinense Rupr.	sol gr	н
Filipendula palmata (Pall.) Maxim.	sol	не пл
Lagedium sibiricum (L.) Sojak	un-sol	не пл
Malanthemum bifolium (L.) F. W. Schmidt	sp-cop	ср
Cacalia auriculata DC.	sol	не пл
Impatiens noli-tangere L.	sol	не пл
Carex campylorhina V. Krecz.	sol-sp	сл
Carex falcata Turcz.	sp gr	сл
Lycopodium annotinum L.	un-sol	не пл
Galium davuricum Turcz. ex Ledeb.	sol gr	не пл
Trientalis europaea L.	sol gr	сл
Smilacina davurica Fisch. et Mey.	sp	сл
Saussurea neoserrata Nakai	un-sol	не пл
Trigonotis radicans (Turcz.) Stev.	un-sol	сл
Viola selkirkii Pursh ex Goldie	sol gr	сл
Equisetum sylvaticum L.	sp gr	сл
Chelidonium asiaticum (Hara) Krachulkova	sol gr	сл
Leptorumohra amurensis (Christ) Tzvel.	cop	н
Phegopteris connectilis (Michx.) Watt.	sol	н
Dryopteris expansa (C. Presl) Fras.-Jenk. et Jermy	cop	н

Кривые высот древесных пород с пробной площади ПП 9-1983 (рисунок 1). Зависимость диаметра от высоты аппроксимировалась полиномом третьей степени.



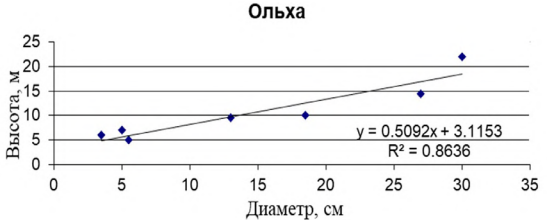


Рис. 1. Кривые высот основных пород с пробной площади

Все древесные породы на учетной пробной площади характеризуются увеличением среднего диаметра. Наибольшее увеличение среднего диаметра отмечается у ели и лиственных пород (таблица 4-6, рисунок 2).



Рис. 2. Общий вид участка пробной площади елово-пихтового древостоя ПП 9-1983. Квартал 41, выдел 1. Хехцирское лесничество хабаровский край

С использованием объёмных таблиц «Справочника для учета лесных ресурсов Дальнего Востока» определяли запас насаждений по породам и разрядам высот [25].

Таблица 4.

Характеристика хвойных пород на пробной площади ПП 9-1983

Ступень толщины	Порода (разряд высот)								
	Кедр (IV)			Ель (III)			Пихта (IV)		
	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3
8	3	0,0151	0,07	4	0.0201	0.092	24	0.1206	0.552
12	2	0,0226	0,12	0	0.0000	0	15	0.1696	0.9
16	2	0,0402	0,26	2	0.0402	0.28	9	0.1809	1.17
20	1	0,0314	0,23	6	0.1884	1.56	10	0.3140	2.5
24	-	-	-	5	0.2261	2.1	2	0.0904	0.74
28	1	0,0615	0,54	6	0.3693	3.66	-	-	-
32	2	0,1608	1,48	5	0.4019	4.2	-	-	-
36	-	-	-	2	0.2035	2.2	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	1	0.1520	1.75	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	2	0.4245	5.12	-	-	-
Итого	11	0,3316	2,7	33	2,0259	20,96	60	0,8754	5,86
Итого на 1 га	44	1,33	11	132	8,1	84	240	3,5	23

Таблица 5.

Характеристика лиственных пород на пробной площади ПП 9-1983

Ступень толщины	Порода (разряд высот)														
	Дуб (III)			Ясень (III)			Береза желтая (IV)			Липа (IV)			Клен желтый (IV)		
	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3
8	-	-	-	-	-	-	8	0.0402	0.22	1	0.0050	0.02	19	0.0955	0.46
12	1	0.0113	0.06	1	0.0113	0.06	4	0.0452	0.32	-	-	-	1	0.0113	0.06
16	-	-	-	-	-	-	4	0.0804	0.64	1	0.0201	0.13	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	5	0.1570	1.30	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	5	0.2261	1.95	1	0.0452	0.32	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	1	0.0615	0.55	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	3	0.2412	2.22	-	-	-	-	-	-
Итого	1	0,0113	0,06	1	0,0113	0,06	30	0,8516	7,2	3	0,0703	0,47	20	0,1068	0,52
Итого на 1 га	4	0,05	-	4	0,05	-	120	3,41	29	12	0,28	2	80	0,43	2
	Порода (разряд высот)														
	Рябина (III)			Бархат (III)			Ольха (III)			Клен зеленокорый (III)			-	-	-

Ступень толщины	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	-	-	-
8	8	0.0402	0.19	-	-	-	3	0.0151	0.09	7	0.0352	0.17	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	1	0.0113	0.07	8	0.0904	0.48	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	1	0.0201	0.14	4	0.0804	0.52	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.0628	0.46	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	1	0.0615	0.48	2	0.1231	0.94	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	1	0.0804	0.66	-	-	-	-	-	-			
Итого	8	0,0402	0,19	2	0,1419	1,14	7	0,1696	1,24	21	0,2688	1,63	-	-	-
Итого на 1 га	32	0,16	1	8	0,57	5	28	0,68	5	84	1,08	7	-	-	-

Таблица 6.

Общие таксационные показатели пробной площади ПП 9-1983

Показатели	Года	
	1983	2024
Состав	2,7Е1,4П0,9К2,1Лп1,1Бж 0,8Ос0,5Км0,3Ид0,2Бб	5,0Е1,4П0,6К1,7 Бж0,4Кз0,3Б-х0,3Ол0,1Лп0,1Кж
М., м^3/ га	212	168
Н ср., м	18,0	16,8
D ср., см	23,0	22,6
N, шт./га	943	788
Полнота	0,9	0,7

Примечание: М – запас; Н ср. – средняя высота; D ср. – средний диаметр; N – количество стволов

На пробной площади имеется хвойный подрост – пихта, ель и кедр, высотой не более 0,5 м. Сомкнутый полог многоярусного древостоя, доминирование пихты создают условия слабой освещенности под пологом. Светолюбивые породы в подросте немногочисленные. Большинство пород характеризуется увеличением среднего диаметра. Наибольшее увеличение среднего диаметра отмечается у березы каменной. Древостой, формирующийся после выборочной рубки около 40 лет назад, развивается без смены главной ценной породы. В дальнейшем, предположительно, пихта займет еще более господствующее положение, экосистема приблизится к изначальному состоянию. В ельнике разнотравно-мелкопапоротниковом ПП 9-1983 проводились выборочные рубки в 1984 году. После рубки древостой подвергался усыханию, однако преобладание ели аянской и

хвойных пород сохранилось. Сформировалось устойчивое елово-пихтовое насаждение.

Пробная площадь ПП 10-1966 Ф.Ф. Мишкова. В 2024 году на пробной площади 16-1999 проведен сплошной перечет на площади 0,5 га, измерение высот у древесных пород, таксация подроста и подлеска (рисунок 3). (Ведомость перечета древесных пород представлена в таблице 7-9).



Рис. 3. Пробная площадь ПП 10-1966. Квартал 7, выдел 14. Хехцирское лесничество Хабаровский край

Таблица 7.

Ведомость перечета деревьев на пробной площади 16-1999

Ступени толщины, см	Число растущих деревьев по породам, штук																	
	П	Е	К	Ив	К ж	К з	Рб	Ол	Ос	Чр М	Бч	Д	Бж	Бм	Бпл	Бх	Яс	Ор
4	80	5	12	3	34	25	1	6	2	1	-	1	22	-	-	-	-	-
6	59	4	8	6	45	25	6	9	11	1	-	-	27	2	1	1	2	-
8	36	6	4	5	28	31	3	3	16	-	-	-	40	4	1	-	-	-
10	25	2	-	3	12	4	1	4	15	-	-	-	26	5	-	-	-	1
12	16	5	1	1	2	3	1	9	11	1	-	-	8	2	-	-	-	1
14	8	2	-	1	1	-	-	2	13	2	-	-	13	3	2	-	-	-
16	9	1	1	1	-	-	-	4	16	3	-	-	6	1	-	-	-	-
18	5	1	-	-	-	-	-	8	12	-	-	-	1	1	1	-	-	-
20	7	2	-	1	-	-	-	2	12	-	-	-	-	-	1	-	-	-
22	7	2	-	-	1	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-
24	6	-	3	-	-	-	-	1	6	-	-	-	-	-	-	-	1	-
26	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-
28	4	2	-	-	-	-	-	1	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-

30	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	266	40	40	21	122	88	12	49	122	9	1	1	144	18	5	1	4	2

Примечание: П – пихта; Е – ель; К – кедр; Ив – ива козья; К ж – клен укурунду, желтый; Кз – клен зеленокорый; Рб – рябина амурская; Ол – ольха; Ос – осина, тополь дрожащий; Чр М – черемуха Маака; Б ч – береза даурская (черная); Д – дуб монгольский; Бж – береза ребристая (желтая); Бм – береза маньчжурская; Бпл – береза плосколистная; Бх – бархат амурский; Яс – ясень маньчжурский; Ор – орех маньчжурский.

Таблица 8.

Характеристика хвойных пород на пробной площади ПП 10-1966 (2024 г)

Ступень толщины	Порода (разряд высот)								
	Кедр (IV)			Ель (III)			Пихта (IV)		
	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3
8	12	0.0603	0.28	11	0.0553	0.25	120	0.6029	2.76
12	1	0.0113	0.06	7	0.0791	0.49	33	0.3730	1.98
16	1	0.0201	0.13	3	0.0603	0.42	15	0.3014	1.95
20	-	-	-	3	0.0942	0.78	13	0.4082	3.25
24	3	0.1356	1.11	2	0.0904	0.84	10	0.4522	3.7
28	-	-	-	4	0.2462	2.44	4	0.2462	2.08
32	1	0.0804	0.74	1	0.0804	0.84	4	0.3215	2.76
36	2	0.2035	1.96	2	0.2035	2.2	4	0.4069	3.56
40	1	0.1256	1.25	1	0.1256	1.41	-	-	-
44	-	-	-	1	0.1520	1.75	-	-	-
48	2	0.3617	3.80	-	-	-	-	-	-
52	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	1	0.2462	2.69	-	-	-	-	-	-
60	2	0.5652	6.26	-	-	-	-	-	-

64	2	0.6431	7.18		-	-	-	-	-
Итого	28	2.4529	25.45	35	1.1869	11.42	203	3.11	22.04
Итого на 1 га	56	4.91	50.9	70	2.37	22.84	406	6.22	44.08

Примечание: N – количество деревьев, шт; G – сумма площадей сечений, м^2; M – запас, м^3

Таблица 9.

Характеристика лиственных пород на пробной площади ПП 10-1966 (2024 г)

Ступень толщины	Порода (разряд высот)																	
	Ива (III)			Ясень (III)			Береза желтая (IV)			Береза белая (IV)			Клен зеленокорый (III)			Бархат (III)		
	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3
8	12	0.0603	0.25	2	0.0100	0.04	80	0.4019	2.24	80	0.4019	1.68	58	0.2914	1.39	1	0.0050	0.02
12	5	0.0565	0.30	-	-	-	27	0.3052	2.16	27	0.3052	1.89	5	0.0565	0.30	-	-	-
16	1	0.0201	0.13	-	-	-	14	0.2813	2.24	14	0.2813	1.82	-	-	-	-	-	-
20	1	0.0314	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	1	0.0452	0.38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	2	0.1231	1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	1	0.1017	1.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	19	0,1683	0,90	4	0,157	1,45	123	1,1115	7,74	121	0,9884	5,39	63	0,3479	1,69	1	0,0050	0,02
Итого на 1 га	38	0,34	2,0	8	0,31	3,0	246	2,22	15,5	242	1,98	11	126	0,7	3,0	2	0,01	-
	Порода (разряд высот)																	
	Осина (IV)			Клен желтый (IV)			Рябина (III)			Ольха (III)			Черемуха Маака			Орех (IV)		
Ступень толщины	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3	N, шт.	G, м^2	M, м^3
8	34	0.1708	0.99	79	0.3969	1.90	10	0.0502	0.24	14	0.0703	0.42	1	0.0050	0.03	2	0.0226	0.14
12	25	0.2826	2.00	9	0.1017	0.54	1	0.0113	0.06	12	0.1356	0.84	2	0.0226	0.14	-	-	-
16	29	0.5828	4.35	-	-	-	-	-	-	9	0.1809	1.26	4	0.0804	0.56	-	-	-
20	20	0.6280	5.00	-	-	-	-	-	-	6	0.1884	1.38	1	0.0314	0.23	-	-	-
24	9	0.4069	3.24	-	-	-	-	-	-	1	0.05	0.34	-	-	-	-	-	-
28	2	0.1231	1.00	-	-	-	-	-	-	1	0.06	0.47	-	-	-			-
Итого	119	2,1942	16,57	88	0,4986	2,43	11	0,0615	0,3	43	0,6820	4,71	8	0,1394	0,96	2	0,0226	0,14
Итого на 1 га	238	4,39	33,0	176	1,0	5,0	22	0,12	1,0	86	1,36	9	16	0,28	2,0	4	0,05	-

Примечание: N – количество стволов деревьев, шт; G – сумма площадей сечений, м^2; M – запас, м^3

Общие таксационные показатели пробной площади ПП 16-1999 (2024 год): Состав: 4Еа2Пх2Бк1К1клз, запас 202 м^3/га, сумма площадей сечений 12,9 м^2/га, число деревьев 1736 шт./га. (таблица 10).

Таблица 10.

Таксационные показатели пробной площади по итогам инвентаризаций

Показатели	Года (до/после рубок)					
	1966 (до)	1967 (после)	1993 (до)	1993 (после)	2012 (после)	2024
Состав	4,0Бж 2,5Е 2,2П 0,3К 0,8Я 0,2Ос	5,7Е 3,2П 0,7К 0,3Бж 0,1 Лп	5,8Е 2,2П 1,1К 0,6Ос 0,2Я 0,1Бж	4,7Е 2,7П 2,0К 0,3Я 0,2Бж 0,1др.	3К2Е1П-1Яс1Б-ж1Ос1Лп	4Еа-2Пх2Бк 1К1клз
М., м^3/ га	228	150	287	159	160	202
h ср., м	20,5	16,0	19,1	17,0	16,5	15,1
D ср., см	21,0	20,0	22,5	22,5	20,5	19,3
N, шт./га	656	600	784	549	375	1736
Полнота	0,8	0,5	0,9	0,5	0,5	1,0

Из таблицы видно, что на постоянном объекте наблюдения елово-пихтового насаждения ПП 10-1966 общее количество деревьев за весь инвентаризационный период увеличилось. До рубки в 1966 общее число деревьев составляло 656 шт., в 2024 г – 1736 деревьев, но при этом запас древостоя уменьшился.

Изучение изменений таксационных показателей на постоянных пробных площадях демонстрирует успешность применения выборочной вырубки леса в условиях крутых склонов. На протяжении первых 7-10 лет последующих за рубками, древесные сообщества проявляли стабильность, отмечалось накопление молодой древесной поросли и подроста. В основном, выпадающие деревья в лесных насаждениях чаще всего состоят из старых экземпляров или тех, которые были повреждены во время заготовки древесины. Наибольшие изменения в запасах были зафиксированы преимущественно в тонкомерной части древостоя, особенно среди деревьев с диаметром стволов 8, 12, 16 и 20 см. Ель обладает высокой стойкостью к воздействиям окружающей среды, тем самым, большинство тонкомеров, пройдя рубку, успешно адаптируются и показывают значительное увеличение прироста. Устойчивость и долговечность у пихты, наоборот, низкая. Проведение рубок вызывает заметное снижение численности тонкомерных деревьев пихты, также способствует ее усыханию, чей возраст превышает 80 лет – ступень толщины от 24, 28 см и более. Согласно результатам

исследований В.Н. Корякина, рекомендуется уменьшить возрастной порог спелости пихты на один класс, при этом установить его на уровне 81 года, что соотносится с данными о её ограниченной долговечности [13]. Пихта наиболее подвержена ветролому, ветровалу и разным стволовым паразитам, страдает от гибридных заболеваний, что в итоге приводит к сокращению продолжительности их жизненного цикла по сравнению с другими хвойными деревьями. При проведении выборочных и санитарных рубок, когда диаметр ствола превышает 20 см, сохранять деревья пихты не имеет практического смысла, поскольку в ходе проведения выборочных рубок происходит накопление сухостоя и захламление территории.

Заключение

Проведены исследования по возобновлению елово-пихтовых древостоев на пробных площадях ПП 10-1966; ПП 9-1983 в Хехцирском лесничестве Хабаровского края.

Проанализированы материалы роста смешанных елово-пихтовых древостоев на постоянных пробных площадях. Отмечен интенсивный рост тонкомерных деревьев ели и пихты после выборочных рубок. Сохранение яруса взаимодействующих деревьев и лесной среды является основным принципом при выборе техники и технологии рубок в разновозрастных лесах. Анализ хода роста деревьев по диаметру после 2-го приема постепенных рубок показывает, что в результате дальнейшего изреживания древостоя происходит увеличение темпов прироста оставленных деревьев. Еще большее увеличение прироста наблюдается на лесосеках очистного приема (до 130 %). Таким образом, вырубка деревьев в 2-3 приема постепенными рубками положительно сказывается на увеличении прироста по диаметру после каждого приема, особенно у тонкомерных деревьев.

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

Список литературы

1. Агеенко, А. С., Бушмелев, И. В., & Дуплищев, И. Т. (1973). Генезис, возрастная структура и строение современных темнохвойных лесов Сахалина. В *Сб. трудов ДальНИИЛХ «Повышение продуктивности лесов Дальнего Востока»* (с. 17–25). Москва: Изд-во «Лесная промышленность». EDN: https://elibrary.ru/BSWENJ

2. Агеенко, А. С., & Лебединский, В. В. (1965). О строении темнохвойных лесов Сахалина. В *Сб. трудов ДальНИИЛХ* (Вып. 7, с. 63–74). Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во. EDN: https://elibrary.ru/APZHSX
3. Выводцев, Н. В., Бессонова, Н. В., & Приходько, О. Ю. (2022). Закономерности роста насаждений ели в Дальневосточном таёжном лесном районе. *Хвойные бореальной зоны*, *40*(2), 114–120. https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-2-114-120. EDN: https://elibrary.ru/CHGSSO
4. Грек, В. С., Нечаев, А. А., & Шемякина, А. В. (2024). *Леса и лесное хозяйство Хехцирского лесничества: материалы полевой экскурсии*. Хабаровск: ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства». 31 с. EDN: https://elibrary.ru/UIORHK
5. Грек, В. С., Шелогаев, Г. Д., & Елпанова, А. Б. (2016). Создание и использование лесных стационарных объектов в Хехцирском лесничестве Хабаровского края. *Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник*, *20*(5), 135–141. EDN: https://elibrary.ru/WLSXXR
6. Громыко, С. А. (2004). *Лесоводственные и эксплуатационные основы использования усыхающих и повреждённых пожарами елово-пихтовых древостоев Дальнего Востока* (Автореф. дис. … канд. с.-х. наук). Уссурийск. 24 с. EDN: https://elibrary.ru/NMUCCZ
7. Пирцхалава-Карпова, Н. Р., Карпов, А. А., Козловский, Е. Е., & Грищенко, М. Ю. (2021). Защита еловых лесов от вспышек *Ips typographus* (обзор). *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*, (4(382)), 55–67. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-4-55-67. EDN: https://elibrary.ru/DVVYCN
8. Ивашкевич, Б. А. (1926). Леса советского Сахалина. *Экономическая жизнь Дальнего Востока*, (4), 49–77.
9. Ковалев, А. П., & Лашина, Е. В. (2024). Критерии устойчивости древостоев при заготовке древесины в спелых и перестойных насаждениях. *Сибирский лесной журнал*, (2), 59–67. https://doi.org/10.15372/SJFS20240207. EDN: https://elibrary.ru/GPPBMF
10. Козин, Е. К. (1970). *Возрастное развитие папоротниково-зеленомошного пихтово-елового леса в южном и среднем Сихотэ-Алине* (Автореф. дис. … канд. с.-х. наук). Владивосток. 248 с.
11. Колесников, Б. П. (1956). *Кедровые леса Дальнего Востока*. В *Тр. Дальневосточного филиала им. В. Л. Комарова АН СССР. Сер. биол.* (Т. II). Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР. 263 с.
12. Кныш, Д. Ю. (2006). *Пихтово-еловые леса среднего Сихотэ-Алиня, их динамика и структура* (Автореф. дис. … канд. с.-х. наук). Уссурийск. 131 с.

13. Корякин, В. Н., & Романова, Н. В. (2014). Оптимальные возрасты рубок древостоев ели и пихты на Дальнем Востоке. В *Проблемы устойчивого управления лесами Сибири и Дальнего Востока: материалы всероссийской конференции с международным участием* (с. 54–57). Хабаровск: ФБУ «ДальНИИЛХ». EDN: https://elibrary.ru/XZYBHK
14. Майорова, Л. А., & Петропавловский, Б. С. (2021). Оптимум произрастания пихтово-еловых лесов в Приморском крае. *Успехи современного естествознания*, (1), 13–19. https://doi.org/10.17513/use.37558. EDN: https://elibrary.ru/GWLXOM
15. Манько, Ю. И. (1962). *Естественное возобновление пихтово-еловых лесов северной половины Сихотэ-Алиня и некоторые вопросы их строения и развития* (Автореф. дис. … канд. биол. наук). Владивосток: ДВФ СО АН СССР. 26 с.
16. Манько, Ю. И., Ворошилов, В. П., & Сидельников, А. Н. (1977). Ель *Picea ajanensis* L. на северо-западной границе своего распространения. *Ботанический журнал*, *62*(1), 15–27.
17. Манько, Ю. И. (2009). Пихтово-еловые леса. В *Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспектива их использования* (с. 57–87). Хабаровск: ФБУ «ДальНИИЛХ». EDN: https://elibrary.ru/WDIDGS
18. Манько, Ю. И., Гладкова, Г. А., & Сибирина, Л. А. (2020). Леса из ели аянской с подлеском из рододендрона золотистого. *Лесоведение*, (5), 412–423. https://doi.org/10.31857/S0024114820050101. EDN: https://elibrary.ru/QSYXDX
19. Матвеева, А. Г. (2022). Опытно-производственные рубки с сохранением подроста в пихтово-еловых лесах Хабаровского края. *Лесоведение*, (1), 13–20. https://doi.org/10.31857/S0024114822010065. EDN: https://elibrary.ru/ZDSOUB
20. Накамура, К. (1930). *Изучение пихтово-еловых естественных лесов на Южном Сахалине*. В *Отчёт учебно-опытного лесничества при сельскохозяйственном факультете Токийского госуниверситета* (№ 12). Токио. 56 с.
21. Прокопенко, С. В. (2011). Таксономический состав и анализ высокогорной флоры южного Сихотэ-Алиня. *Комаровские чтения*, (58), 37–131. ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН. EDN: https://elibrary.ru/OHEYHX
22. Розенберг, В. А. (1955). *Пихтово-еловые леса южного Сихотэ-Алиня* (Автореф. дис. … канд. биол. наук). Владивосток. 18 с.
23. Розенберг, В. А. (1963). К характеристике пихтово-еловых лесов Приморья и нижнего Приамурья. В *Материалы по изучению лесов Сибири и Дальнего Востока: тр. конф.* (с. 39–49). Красноярск: [Б. и.].

24. Романов, В. Н. (1962). Основные типы темнохвойных лесов Сахалина. В *Сб. тр. ДальНИИЛХ* (Вып. IV, с. 58–75). Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во. EDN: https://elibrary.ru/JVYVRD
25. Корякин, В. Н. (Ред.). (2010). *Справочник для учёта лесных ресурсов Дальнего Востока*. Хабаровск: ДальНИИЛХ. 527 с. EDN: https://elibrary.ru/BEFSXQ
26. Усов, В. Н. (2006). *Ель корейская и леса из ели корейской в Приморском крае* (Автореф. дис. … канд. с.-х. наук). Уссурийск. 29 с. EDN: https://elibrary.ru/NNTMJN
27. Уэмура, К. (1929). Вторично о естественном возобновлении ели и пихты. *Журнал лесного общества. Рингакай дзасси*, *11*(9). Токио.
28. Усенко, Н. В. (2009). *Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока*. Хабаровск: Издательский дом «Приамурские ведомости». 272 с. ISBN: 978-5-8003-0248-6. EDN: https://elibrary.ru/QKSIWZ
29. Шавнин, А. Г. (1966). *Таблицы хода роста, полнот и запасов ельников Приморского края*. Хабаровск: ДальНИИЛХ. 12 с.
30. Шемякина, А. В. (2024). Оценка практики организации заготовки древесины елово-пихтовых лесов в Дальневосточном таёжном лесном районе. В *Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Хабаровск, 10–11 октября 2024 года* (с. 296–301). Хабаровск: Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства». EDN: https://elibrary.ru/JKXYBE
31. Шемякина, А. В. (2024). Продуктивность и освоение еловых лесов в Дальневосточном таёжном лесном районе. *Актуальные проблемы лесного комплекса*, (65), 77–81. EDN: https://elibrary.ru/JWBESE
32. Krestov, P. V., & Nakamura, Y. (2002). Phytosociological study of the *Picea ajanensis* forests of the Far East. *Folia Geobotanica*, *37*(4), 441–473. https://doi.org/10.1007/BF02803257. EDN: https://elibrary.ru/LHHLWB
33. Temperli, C., Bugmann, H., & Elkin, C. (2013). Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. *Ecological Monographs*, *83*(3), 383–402. https://doi.org/10.1890/12-1503.1. EDN: https://elibrary.ru/RHXSSV
34. Thom, D., & Seidl, R. (2016). Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, *91*(3), 760–781. https://doi.org/10.1111/brv.12193. EDN: https://elibrary.ru/WRYXMB

35. Sopow, S. L., Bader, M. K.-F., & Brockerhoff, E. G. (2015). Bark beetles attacking conifer seedlings: picking on the weakest or feasting upon the fittest? *Journal of Applied Ecology*, *52*(1), 220–227. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12368. EDN: https://elibrary.ru/UOPMLR

References

1. Ageenko, A. S., Bushmelev, I. V., & Duplischev, I. T. (1973). Genesis, age structure and structure of modern dark coniferous forests of Sakhalin. In *Collection of Works of DalNIILKh "Increasing the Productivity of Far Eastern Forests"* (pp. 17–25). Moscow: Publishing House "Lesnaya Promyshlennost'". EDN: https://elibrary.ru/BSWENJ
2. Ageenko, A. S., & Lebedinsky, V. V. (1965). On the structure of dark coniferous forests of Sakhalin. In *Collection of Works of DalNIILKh* (Issue 7, pp. 63–74). Khabarovsk: Khabarovsk Book Publishing House. EDN: https://elibrary.ru/APZHSX
3. Vyvodtsev, N. V., Bessonova, N. V., & Prikhodko, O. Yu. (2022). Patterns of spruce stand growth in the Far Eastern taiga forest region. *Conifers of the Boreal Zone*, *40*(2), 114–120. https://doi.org/10.53374/1993-0135-2022-2-114-120. EDN: https://elibrary.ru/CHGSSO
4. Grek, V. S., Nechaev, A. A., & Shemyakina, A. V. (2024). *Forests and forestry of the Khekhtsir forestry: materials of a field excursion*. Khabarovsk: FBU "Far Eastern Research Institute of Forestry". 31 p. EDN: https://elibrary.ru/UIORHK
5. Grek, V. S., Shelogaev, G. D., & Elpanova, A. B. (2016). Establishment and use of forest permanent plots in the Khekhtsir forest district of the Khabarovsk Territory. *Bulletin of Moscow State Forest University. Forest Herald*, *20*(5), 135–141. EDN: https://elibrary.ru/WLSXXR
6. Gromyko, S. A. (2004). *Silvicultural and operational bases for the use of drying and fire-damaged spruce-fir stands in the Far East* [Author's abstract of Cand. Agr. Sci. thesis]. Ussuriysk. 24 p. EDN: https://elibrary.ru/NMUCCZ
7. Pirtskhala-Karpova, N. R., Karpov, A. A., Kozlovsky, E. E., & Grishchenko, M. Yu. (2021). Protection of spruce forests from *Ips typographus* outbreaks (review). *Proceedings of Higher Educational Institutions. Forest Journal*, *(4(382))*, 55–67. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-4-55-67. EDN: https://elibrary.ru/DVVYCN
8. Ivashkevich, B. A. (1926). Forests of Soviet Sakhalin. *Economic Life of the Far East*, *(4)*, 49–77
9. Kovalev, A. P., & Lashina, E. V. (2024). Criteria for stand stability during timber harvesting in mature and overmature stands. *Siberian Forest Journal*, *(2)*,

59–67. https://doi.org/10.15372/SJFS20240207. EDN: https://elibrary.ru/GPPBMF

10. Kozin, E. K. (1970). *Age development of fern-green moss fir-spruce forest in southern and central Sikhote-Alin* [Author's abstract of Cand. Agr. Sci. thesis]. Vladivostok. 248 p.
11. Kolesnikov, B. P. (1956). *Cedar forests of the Far East*. In *Proceedings of the Far Eastern Branch of the V.L. Komarov Academy of Sciences of the USSR. Biological Series* (Vol. II). Moscow; Leningrad: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR. 263 p.
12. Knysh, D. Yu. (2006). *Fir-spruce forests of central Sikhote-Alin, their dynamics and structure* [Author's abstract of Cand. Agr. Sci. thesis]. Ussuriysk. 131 p.
13. Koryakin, V. N., & Romanova, N. V. (2014). Optimal cutting ages for spruce and fir stands in the Far East. In *Problems of Sustainable Forest Management in Siberia and the Far East: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation* (pp. 54–57). Khabarovsk: FBU "DalNIILKh". EDN: https://elibrary.ru/XZYBHK
14. Mayorova, L. A., & Petropavlovsky, B. S. (2021). Optimum growth conditions for fir-spruce forests in the Primorsky Krai. *Advances in Current Natural Sciences*, *(1)*, 13–19. https://doi.org/10.17513/use.37558. EDN: https://elibrary.ru/GWLXOM
15. Manko, Yu. I. (1962). *Natural regeneration of fir-spruce forests in the northern half of Sikhote-Alin and some issues of their structure and development* [Author's abstract of Cand. Biol. Sci. thesis]. Vladivostok: DVF SO AN SSSR. 26 p.
16. Manko, Yu. I., Voroshilov, V. P., & Sidelnikov, A. N. (1977). *Picea ajanensis* L. at the northwestern boundary of its distribution. *Botanical Journal*, *62*(1), 15–27
17. Manko, Yu. I. (2009). Fir-spruce forests. In *Current State of Forests in the Russian Far East and Prospects for Their Use* (pp. 57–87). Khabarovsk: FBU "DalNIILKh". EDN: https://elibrary.ru/WDIDGS
18. Manko, Yu. I., Gladkova, G. A., & Sibirina, L. A. (2020). Forests of Ajan spruce with undergrowth of golden rhododendron. *Forest Science*, *(5)*, 412–423. https://doi.org/10.31857/S0024114820050101. EDN: https://elibrary.ru/QSYXDX
19. Matveeva, A. G. (2022). Experimental production cuttings with preservation of undergrowth in fir-spruce forests of the Khabarovsk Krai. *Forest Science*, *(1)*, 13–20. https://doi.org/10.31857/S0024114822010065. EDN: https://elibrary.ru/ZDSOUB
20. Nakamura, K. (1930). Study of natural fir-spruce forests on South Sakhalin. In *Report of the Training and Experimental Forestry at the Faculty of Agriculture, Tokyo Imperial University* (№ 12). Tokyo. 56 p.

21. Prokopenko, S. V. (2011). Taxonomic composition and analysis of the high-mountain flora of southern Sikhote-Alin. *Komarov Readings*, *(58)*, 37–131. FSC of Biodiversity of Terrestrial Biota of Eastern Asia, FEB RAS. EDN: https://elibrary.ru/OHEYHX
22. Rosenberg, V. A. (1955). *Fir-spruce forests of southern Sikhote-Alin* [Author's abstract of Cand. Biol. Sci. thesis]. Vladivostok. 18 p.
23. Rosenberg, V. A. (1963). On the characteristics of fir-spruce forests of Primorye and Lower Priamurye. In *Materials on the Study of Forests in Siberia and the Far East: Conference Proceedings* (pp. 39–49). Krasnoyarsk: [No publisher]
24. Romanov, V. N. (1962). Main types of dark coniferous forests of Sakhalin. In *Collection of Works of DalNIILKh* (Issue IV, pp. 58–75). Khabarovsk: Khabarovsk Book Publishing House. EDN: https://elibrary.ru/JVYVRD
25. Koryakin, V. N. (Ed.). (2010). *Handbook for forest resource accounting in the Far East*. Khabarovsk: DalNIILKh. 527 p. EDN: https://elibrary.ru/BEFSXQ
26. Usov, V. N. (2006). *Korean spruce and Korean spruce forests in the Primorsky Krai* [Author's abstract of Cand. Agr. Sci. thesis]. Ussuriysk. 29 p. EDN: https://elibrary.ru/NNTMJN
27. Uemura, K. (1929). Revisiting natural regeneration of spruce and fir. *Journal of the Forestry Society. Ringakai Zassi*, *11*(9). Tokyo
28. Usenko, N. V. (2009). *Trees, shrubs and lianas of the Far East*. Khabarovsk: Publishing House "Priamurskie Vedomosti". 272 p. ISBN: 978-5-8003-0248-6. EDN: https://elibrary.ru/QKSIWZ
29. Shavnin, A. G. (1966). *Growth tables, stand density and stock of spruce forests in the Primorsky Krai*. Khabarovsk: DalNIILKh. 12 p.
30. Shemyakina, A. V. (2024). Assessment of timber harvesting organization practices in spruce-fir forests in the Far Eastern taiga forest region. In *Intensification of Forest Use and Reproduction in Siberia and the Far East: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation, Khabarovsk, October 10–11, 2024* (pp. 296–301). Khabarovsk: Federal Budgetary Institution "Far Eastern Research Institute of Forestry". EDN: https://elibrary.ru/JKXYBE
31. Shemyakina, A. V. (2024). Productivity and development of spruce forests in the Far Eastern taiga forest region. *Current Issues of the Forest Complex*, *(65)*, 77–81. EDN: https://elibrary.ru/JWBESE
32. Krestov, P. V., & Nakamura, Y. (2002). Phytosociological study of the *Picea ajanensis* forests of the Far East. *Folia Geobotanica*, *37*(4), 441–473. https://doi.org/10.1007/BF02803257. EDN: https://elibrary.ru/LHHLWB
33. Temperli, C., Bugmann, H., & Elkin, C. (2013). Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling ap-

proach. *Ecological Monographs*, *83*(3), 383–402. https://doi.org/10.1890/12-1503.1. EDN: https://elibrary.ru/RHXSSV
34. Thom, D., & Seidl, R. (2016). Natural disturbance impacts on ecosystem services and biodiversity in temperate and boreal forests. *Biological Reviews*, *91*(3), 760–781. https://doi.org/10.1111/brv.12193. EDN: https://elibrary.ru/WRYXMB
35. Sopow, S. L., Bader, M. K. F., & Brockerhoff, E. G. (2015). Bark beetles attacking conifer seedlings: picking on the weakest or feasting upon the fittest? *Journal of Applied Ecology*, *52*(1), 220–227. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12368. EDN: https://elibrary.ru/UOPMLR

ВКЛАД АВТОРОВ

Шемякина А.В.: сбор данных, написание рукописи.
Алексеенко А.Ю.: написание рукописи.
Грек В.С.: сбор данных.
Голубев Д.А.: сбор данных.
Павлов Д.В.: сбор данных.
Гула К.Е.: сбор данных.
Каюмов Н.А.: сбор данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna V. Shemyakina: data collection, writing a manuscript.
Alexander Yu. Alekseenko: writing a manuscript.
Viktor S. Grek: data collection.
Dmitry A. Golubev: data collection.
Dmitry V. Pavlov: data collection.
Konstantin E. Gula: data collection.
Nikita A. Kayumov: data collection.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шемякина Анна Викторовна, к.б.н., ведущий научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация
Ashem777@mail.ru

Алексеенко Александр Юрьевич, к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

Грек Виктор Степанович, к.с.-х.н., ведущий научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

Голубев Дмитрий Андреевич, к.т.н., ведущий научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

Павлов Дмитрий Викторович, научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

Гула Константин Евгеньевич, к.х.н, старший научный сотрудник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

Каюмов Никита Алексеевич, техник
Федеральное бюджетное учреждение «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
ул. Волочаевская, 71, г. Хабаровск, 680020, Российская Федерация

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna V. Shemyakina, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher
Far East Forestry Research Institute
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

Alexander Yu. Alekseenko, Candidate of Agricultural Sciences
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
SPIN-code: 1490-1736
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-7156-4635

Viktor S. Grek, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
SPIN-code: 2175-5054

Dmitry A. Golubev, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
SPIN-code: 1928-8070
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9416-2913
Scopus AuthorID: 56039568200

Dmitry V. Pavlov, Research Associate
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
SPIN-code: 4133-7837
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9628-6223
ResearcherID: AGH-1225-2022

Konstantin E. Gula, PhD, Senior Researcher
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
Scopus AuthorID: 56491172400
SPIN-code: 5496-1228

Nikita A. Kayumov, technician
Far East Forestry Research Institute
71, Volochaevskaya Str., Khabarovsk, 680020, Russian Federation
SPIN-code: 1119-0977

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 30.05.2025 Accepted 30.05.2025

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1322 **EDN: TMZBWS**
UDC 614.72

Original article

THE CONTENT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN BUILDING MATERIALS AS A RISK FACTOR FOR PUBLIC HEALTH

K.Yu. Mikhayichenko, A.I. Kurbatova, Yu.A. Kurteeva, E.E. Konovalova

Abstract

Background. Emissions of volatile organic compounds (VOCs) emitted by building materials pose a serious threat to human health, especially in closed spaces. Research in this area has been conducted by the World Health Organization (WHO), the Environmental Protection Agency, the Harvard School of Public Health, and others. The presented study examines the effects on human health of VOCs emitted by building materials used for indoor and outdoor decoration.

Materials and methods. VOC emissions from six types of building materials were determined by laboratory method in a climatic chamber. Based on the results obtained, the public health risk associated with emissions of carcinogenic and non-carcinogenic organic compounds was calculated and assessed.

Results. The results revealed that the total lifetime carcinogenic risk for four out of six types of building materials (tile adhesive, PVC window frames, mineral wool, putty) corresponds to the alarming level which requires special risk-reduction measures. The total non-carcinogenic risk for all the building materials investigated is at the maximum permissible or minimum levels, with the exception of tile adhesive, which has a high level of risk.

Keywords: volatile organic compounds; hazard index; carcinogenic risk; public health risk; certification

For citation. Mikhayichenko, K. Yu., Kurbatova, A. I., Kurteeva, Yu. A., & Konovalova, E. E. (2025). The content of volatile organic compounds in building materials as a risk factor for public health. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 367-385. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1322

Научная статья

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

К.Ю. Михайличенко, А.И. Курбатова, Ю.А. Куртеева, Э.Е. Коновалова

Аннотация

Обоснование. Выделения летучих органических соединений (ЛОС) из строительных материалов представляют серьёзную угрозу для здоровья человека, особенно в закрытых помещениях. Исследования в этой области проводились Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), Агентством по охране окружающей среды, Школой общественного здравоохранения Гарвардского университета и др. В представленном исследовании рассмотрено воздействие на здоровье человека летучих органических соединений, выделяемых строительными материалами, используемыми для внутренней и внешней отделки помещений.

Материалы и методы. Эмиссии ЛОС от шести видов строительных материалов определялись лабораторным способом в климатической камере. На основании полученных результатов были проведены расчет и оценка риска для здоровья населения, связанного с эмиссией канцерогенных и неканцерогенных органических соединений.

Результаты. Выявлено, что суммарный пожизненный канцерогенный риск для четырех из шести видов строительных материалов (плиточный клей, оконные рамы ПВХ, минеральная вата, шпаклевка) соответствует настораживающему уровню, что требует проведения специальных мероприятий по его снижению. Суммарный неканцерогенный риск для всех исследованных строительных материалов находится на предельно допустимому уровне или минимальном уровне, за исключением плиточного клея, риск от которого соответствует высокому уровню.

Ключевые слова: летучие органические соединения; индекс опасности; канцерогенный риск; риск для здоровья населения; сертификация

Для цитирования. Михайличенко, К. Ю., Курбатова, А. И., Куртеева, Ю. А., & Коновалова, Э. Е. (2025). Содержание летучих органических соединений в строительных материалах как фактор риска для здоровья населения. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 367-385. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1322

Introduction

As sustainable construction practices develop, there is growing attention to how a building and its interior decoration can affect human health. An integral part of a healthy building is indoor air quality [7].

These issues were once addressed by the WHO in its report on indoor air quality [22], and the US Environmental Protection Agency in its Indoor Air Quality (IAQ) section [21]. A 2013 study in the journal Environmental Health Perspectives linked exposure to formaldehyde (often emitted by chipboard and adhesives) with an increased risk of leukemia [18]. The work of researchers from Iran showed a link between VOCs and symptoms of "sick building syndrome" [19]. Research from the Harvard T.H. Chan School of Public Health linked high levels of VOCs with cognitive impairment [16]. The Department of Medical Sciences, Occupational and Environmental Medicine at Uppsala University in Sweden is investigating the link between VOC exposure in adults from Northern Europe and asthma and allergic reactions [20]. It has been found that sensitive groups of the population such as children, pregnant women, the elderly, people with chronic diseases (asthma, diabetes, immunodeficiencies) are especially susceptible to VOCs.

Volatile organic compounds (VOCs) are common pollutants emitted into the air by various building materials that can potentially cause both short-term and long-term adverse health effects [3]. Declaration of conformity for building materials is a procedure confirming compliance with mandatory requirements that are approved in regulatory documents, including [5; 6; 9-11].

With reference to chemical products that are required for the construction and repair works of various structures, it is necessary to obtain a state registration certificate (hereinafter - SRC). The presence of the SRC confirms that the product is included in this register, complies with established hygienic and sanitary-epidemiological rules. For example, a certificate is required for varnishes, enamels, polyurethane foams, sealants, mastics, putties, grouts, resins, solvents and other materials. The SRC is valid for an indefinite period of time. If

construction materials are not included in the list of those subject to mandatory inspection in accordance with the decision of the Customs Union Commission No. 299 Decision of May 28, 2010 "On sanitary measures in the Eurasian Economic Union" [17] and are not subject to a certificate, it is necessary to obtain an expert certificate on them. This document is also valid indefinitely and confirms hygienic safety in terms of the release of harmful substances (in some cases, in terms of radiological safety).

Thus, certification of construction materials plays an important role in maintaining both human health and the environment [1; 17].

Consequently, this procedure is designed to protect consumers from hazardous products, provide reliable, objective and accurate information about their quality and safety for human health and the environment [8].

Materials and methods

The objects of the study were six types of Russian-made building materials received for the product quality certification procedure: plasterboards, tile adhesive, polyvinyl chloride linoleum (hereinafter referred to as PVC), mineral wool, plastic windows (their PVC frame) and putty. In order to maintain confidentiality, the names of the companies and trademarks of the manufacturers are concealed.

To determine the emission of thirty-eight volatile organic compounds from the studied building materials, thirteen of which were classified as carcinogenic substances, the GOST ISO 16000-6-2016 [5] interstate standard was used. Samples of building materials were placed in a climatic chamber for 24 hours in accordance with GOST 30255-2014 [6]. To measure the concentrations of VOCs, a gas chromatograph "Kristallux-4000M" (designed for automated analysis of chemical compounds and included in the State Register of Measuring Instruments) was used. The experimental system (the climatic chamber) contained a stainless-steel test chamber, a clean air generation and humidification system, an air mixing system and an environmental monitoring system. The size of the test chamber corresponded to the intended use of the building products in relation to the reference room, with an area of 20 m^2. The test chamber was connected to an electronic controller, which controlled the test time, air flow and air change rate. To ensure adequate air mixing, a small fan was constantly running inside the chamber. The air velocity above the test samples ranged from 0.1 m/s to 0.3 m/s. The emission chamber was hermetically sealed. The volume of the chamber was 0.1 m^3. During the experimental period, the air change rate was 0.5 m/s, the temperature inside the chamber was 23 ± 0.5 °C, and the humidity was 50 ± 3%.

The risk assessment from VOCs exposure was carried out in accordance with the methodology for health risk assessment of air pollution by chemicals, which is based on numerous scientific studies and recommendations of the World Health Organization (WHO). The study used the new, which came into force in 2024, "Guidelines for public health risk assessment of exposure to chemicals polluting the environment P 2.1.10.3968-23 [12].

The following standard values of exposure factors were taken into account to calculate the individual lifetime carcinogenic risk to human health with chronic inhalation exposure to the body (CR): concentrations of harmful substances in the air (C), mg/m^3; duration of inhalation exposure (ED), years; inhalation rate (IR), m^3/day; exposure averaging period (AT), years; human body weight (BW), kg; frequency of exposure during the year (EF), days/year; as well as the factors of carcinogenic potential (SF_i) values (mg/(kg day))$^{-1}$. Based on these parameters, the average daily lifetime doses of substances entering the human body ($LADD_i$) (formula 1) and the values of individual carcinogenic risk (formula 2) were calculated.

$$LADD_i = C \cdot IR \cdot EF \cdot ED / BW \cdot AT \cdot 365, \text{ mg/(kg·day)} \quad (1)$$

$$CR_i = LADD_i \cdot SF_i \cdot g \quad (2),$$

where CR_i is the value of individual carcinogenic risk; $LADD_i$ is the average long life daily dose, mg/(kg day); SF is the carcinogenic potential factor, (mg/(kg day))$^{-1}$; g is the severity coefficient of malignant neoplasms (cancer).

The total lifetime carcinogenic risk from combined exposure to all studied substances (CR_Σ) was considered as additive (formula 3) [11].

$$CR_\Sigma = \Sigma CR_i \quad (3)$$

To calculate non-carcinogenic risk (hazard coefficients, HQ_i), the following formula was used:

$$HQ_i = C_i/RfC_i \quad (4),$$

where C_i is the substance concentration in the room air, mg/m^3; RfC_i is the reference (safe) concentration, mg/m^3.

For calculating the total non-carcinogenic risk (hazard index, HI), formula 4 is used:

$$HI = \Sigma HQ_i \quad (5),$$

where HQ_i are the hazard coefficients for various chemical substances polluting indoor air.

Results and discussion

As a result of the qualitative and quantitative study of the air in the gas chamber for the content of thirty-eight VOCs using the gas chromatographic

method for six types of building materials, the concentrations presented in Table 1 were obtained.

Table 1.

VOCs content in building materials emissions, mg/m^3

#	Substance / Material	Plasterboards	Tile adhesive	Lino-leum	Mineral wool	PVC window frames	Putty
1	1,2,4- Trimethylbenzene	0.0007	0.0018	0.0012	0.0006	BDL	0.0007
2	1,2- Dichloroethane	0.0015	0.0019	0.0018	0.0009	0.0016	0.0015
3	N- propanol	0.0013	0.0109	0.0014	0.0144	BDL	0.0051
4	Acrylonitrile	BDL	0,0008	BDL	BDL	BDL	BDL
5	Ammonia	BDL	BDL	0.015	BDL	BDL	0.0553
6	Acetaldehyde	BDL	BDL	BDL	BDL	0.0006	BDL
7	Acetone	0.0079	0.0095	0.0025	0.014	0.0065	0.0187
8	Acetonitrile	0.0014	0.0008	0.0011	0.0017	BDL	0.0015
9	Benzene	0.0023	0.0179	BDL	BDL	BDL	0.0011
10	Butyl acetate	0.0010	0.0027	0.0007	0.0014	0.0073	0.0020
11	Vinyl acetate	0.0006	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
12	Hexane	0.0035	0.0714	0.0011	0.0120	BDL	0.0199
13	Heptane	0.0010	0.0021	0.0011	0.0015	BDL	0.0018
14	Isobutanol	0.0008	0.0006	BDL	0.0006	BDL	0.0019
15	Isobutyl acetate	BDL	0.0007	BDL	0.0005	BDL	0.0009
16	Isopropyl acetate	BDL	0.0014	0.0009	0.0005	0.0010	0.0008
17	Isopropylbenzene	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
18	M,p-xylene	0.0008	0.0012	0.0011	0.0016	BDL	0.0029
19	Methanol	BDL	0.0007	0.0007	0.0007	BDL	0.0021
20	O-xylene	0.0014	0.0028	0.0012	0.0029	0.0007	0.0012
21	Propylbenzene	0.0015	BDL	0.0009	0.0009	BDL	0.0008
22	Styrene	0.0008	BDL	0.0014	BDL	0.0006	0.0025
23	Tetrachloromethane	0.0014	0.0252	BDL	0.0210	0.0112	0.0337
24	Tetrachloroethylene	BDL	BDL	0,0007	BDL	BDL	0.0005
25	Toluene	0.0013	0.0017	0.0015	0.0025	0.0013	0.0030
26	Trichloroethylene	BDL	0,0009	BDL	BDL	BDL	0.0006
27	Phenol	BDL	BDL	0.0040	BDL	BDL	BDL
28	Formaldehyde	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	0.0021
29	Chlorobenzene	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
30	Chloroform	0.0016	0.0031	0.0012	0.0026	0.0063	0.0177
31	Cyclohesane	BDL	BDL	BDL	BDL	0.0005	0.0007
32	Cyclohescanone	0.0009	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
33	Epichlorohydrin	0.0021	0.0066	0.0015	BDL	0.0005	BDL

34	Ethanol	0.0009	0.0030	BDL	0.0017	0.0005	0.0008
35	Ethyl acrylate	0.0010	BDL	0.0005	BDL	BDL	0.0012
36	Ethyl acetate	0.0007	0.0013	BDL	0.0014	BDL	0.0006
37	Ethylbenzene	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL	BDL
38	Ethoxyethyl acetate	0.0009	0.0010	0.0010	0.0027	BDL	0.0008

BDL: Below detection limit

As follows from Table 1, the highest concentrations of VOCs emitted from gypsum boards are acetone, from board adhesives – hexane, from linoleum and putty – ammonia, from mineral wool and PVC window frames – tetrachloromethane. None of the obtained concentrations exceeded the RfC_i value [12]. The largest number of studied VOCs was determined in putty (30 items), the smallest – in PVC window frames (13 items).

Based on the obtained concentrations, the values of carcinogenic potential factors (SF_i) and reference concentrations (RfC_i) taken from the Guide [12], the carcinogenic and non-carcinogenic risks of substances released into indoor air were calculated (Tables 2, 3).

Table 2.

Values of carcinogenic risk levels

#	Substance / Material	Tile adhesive	Plaster-boards	Linoleum	Mineral wool	PVC win-dow frames	Putty
1	1,2- Dichloroethane	0.000047	**0.000037**	**0.000045**	0.000022	0.003068	0.000037
2	Acrylonitrile	0.000053	-	-	-	-	-
3	Acetaldehyde	-	-	-	-	0.000001	-
4	Benzene	0.000132	0.000017	-	-	-	0.000008
5	Styrene	-	0.0000001	0.000001	-	0.000001	0.000001
6	Tetrachloromethane	**0.000366**	0.000020	-	**0.000305**	**0.000163**	**0.000489**
7	Tetrachloroethylene	-	-	0.0000001	-	-	0.0000001
8	Trichloroethylene	0.000002	-	-	-	-	0.000001
9	Formaldehyde	-	-	-	-	-	0.000026
10	Chloroform	0.000007	0.000004	0.000003	0.000006	0.000014	0.000039
11	Epichlorohydrin	0.000008	0.000002	0.000002	-	0.000001	-
12	Ethyl acrylate	-	0.000013	0.000007	-	-	0.000016
13	Ethylbenzene	-	-	-	-	-	-
Total risk, CR_Σ		**0.000614**	**0.000094**	**0.000057**	**0.000333**	**0.000218**	**0.000618**

Let us discuss the results of calculations of carcinogenic health risks for each type of building material:

Tile adhesive. The total carcinogenic risk from substances emitted by tile adhesive was 6.1×10^{-4}. This corresponds to an alarming, unacceptable risk level

for the population ($1.1x10^{-4}$ – $1.0x10^{-3}$) [12]. In this case, the quality certificate for this product should not be issued. Carbon tetrachloride makes the greatest contribution to the level of carcinogenic risk ($R = 3.7x10^{-4}$).

Gypsum cardboard. The total carcinogenic risk from substances emitted by gypsum cardboard was $9.4x10^{-5}$, which corresponds to a low, maximum permissible risk level ($1.1x10^{-6}$ – $1.0x10^{-4}$). It is at this level that most foreign and internationally recommended hygienic standards for the population as a whole are established. The greatest contribution to the level of carcinogenic risk is made by 1,2-dichloroethane ($R = 3.7x10^{-5}$).

Linoleum. The total carcinogenic risk from substances emitted by linoleum was $5.7x10^{-5}$. This also corresponds to the maximum permitted risk level ($1.1x10^{-6}$ – $1.0x10^{-4}$). The greatest contribution to the level of risk is made by 1,2-dichloroethane ($R = 4.5x10^{-5}$).

Mineral wool. The total carcinogenic risk from substances emitted by mineral wool was $3.3x10^{-4}$. This corresponds to an alarming level of risk, which is unacceptable for the population ($1.1x10^{-4}$ – $1.0x10^{-3}$). In this case, the quality certificate should be refused for this product. Carbon tetrachloride makes the greatest contribution to the level of carcinogenic risk ($R = 3.1x10^{-4}$).

PVC window frames. The total carcinogenic risk from substances emitted by PVC window frames was 2.2×10^{-4}, which also corresponds to an alarming level of risk. In this case the quality certificate should also be refused for this product. Carbon tetrachloride makes the greatest contribution to the level of carcinogenic risk ($R = 1.6x10^{-4}$).

Putty. The total carcinogenic risk from substances emitted by putty was $6.2x10^{-4}$, which corresponds to an alarming level of risk, which is unacceptable for the population. In this case, as in the previous ones, the certificate should be refused for the studied product. The greatest contribution to the level of carcinogenic risk is made by carbon tetrachloride ($R = 4.9x10^{-4}$).

Table 3.

Non-carcinogenic risk level values

#	Substance / Material	Tile adhesive	Plaster-boards	Linoleum	Mineral wool	PVC window frames	Putty
1	1,2,4-Trimethylbenzene	0.3	0.116667	0.2	0.1	-	0.116667
2	1,2-Dichloroethane	0.00475	0.00375	0.0045	0.00225	0.004	0.00375
3	N-propanol	0.014932	0.001781	0.001918	0.019726	-	0.006986
4	Acrylonitrile	0.4	-	-	-	-	-
5	Ammonia	-	-	0.15	-	-	0.553

6	Acetaldehyde	-	-	-	-	0.066667	-
7	Acetone	0.000304	0.000253	0.000080	0.000449	0.000208	0.000599
8	Acetonitrile	0.013333	0.023333	0.018333	0.028333	-	0.025
9	Benzene	0.596667	0.076667	-	-	-	0.036667
10	Butyl acetate	0.003857	0.001429	0.001	0.002	0.010429	0.002857
11	Vinyl acetate	-	0,003	-	-	-	-
12	Hexane	0.357	0.0175	0.0055	0.06	-	0.0995
13	Heptane	0.0006	0.000286	0.000314	0.000429	-	0.000514
14	Isobutanol	0.0004	0,000533	-	0,0004	-	0.001267
15	Isobutyl acetate	0.000722	-	-	0.000515	-	0.000928
16	Isopropyl acetate	0.001	-	0.000643	0.000357	0.000714	0.000571
17	Isopropylbenzene	-	-	-	-	-	-
18	M,p-xylene	0.012	0.008	0.011	0.016	-	0.029
19	Methanol	0.000175	-	0.000175	0.000175	-	0.000525
20	O-xylene	0.028	0.014	0.012	0.029	0.007	0.012
21	Propylbenzene	-	0.075	0.045	0.045	-	0.04
22	Styrene	-	0.0008	0.0014	-	0.0006	0.0025
23	Tetrachloromethane	0.63	0.035	-	**0.525**	0.28	**0.8425**
24	Tetrachloroethylene	-	-	0.02	-	-	0.014286
25	Toluene	0.00425	0.00325	0.00375	0.00625	0.00325	0.0075
26	Trichloroethylene	0.0225	-	-	-	-	0.0125
27	Phenol	-	-	0.666667	-	-	-
28	Formaldehyde	-	-	-	-	-	**0.7**
29	Chlorobenzene	-	-	-	-	-	-
30	Chloroform	0.031633	0.016327	0.012245	0.026531	0.064286	0.180612
31	Cyclohesane	-	-	-	-	0.000083	0.000117
32	Cyclohescanone	-	0.0009	-	-	-	-
33	Epichlorohydrin	**6.6**	**2.1**	**1.5**	-	**0.5**	-
34	Ethanol	0.00003	0.000009	-	0,000017	0.000005	0.000008
35	Ethyl acrylate	-	0.020833	0.010417	-	-	0.025
36	Ethyl acetate	0.000406	0.000219	0.000156	0.000438	-	0.000188
37	Ethylbenzene	-	-	-	-	-	-
38	Ethoxyethyl acetate	0.003333	0.003	0.003333	0.009	-	0.002667
Total risk, HI		**9.025892**	**2.522536**	**2.468431**	**0.871869**	**0.937242**	**2.717708**

Let us discuss the results of non-carcinogenic risk calculations for each type of building material.

Tile adhesive. The total non-carcinogenic risk (hazard index) for chronic exposure to the substances under study on the human body was 9.0, which, according to the Guidelines [12], corresponds to a high level of non-carcinogenic risk (HI>6). The risk is dangerous, since in this situation, as a rule, there is a reliable tendency for non-specific pathology to increase with the appearance of

isolated cases of specific pathology. Epichlorohydrin makes the greatest contribution to the level of non-carcinogenic risk for chronic exposure (HQ=6.6).

Plasterboards. The total non-carcinogenic risk (hazard index) for chronic exposure to the human body was 2.5, which corresponds to the maximum permitted level of non-carcinogenic risk (3.0>HI>1.1). Permitted risk levels are subject to constant monitoring. At such risk levels, additional measures to reduce the risk to human health should be planned and implemented. The greatest contribution to the level of non-carcinogenic risk in case of chronic exposure is made by epichlorohydrin (HQ=2.1).

Linoleum. The total non-carcinogenic risk (hazard index) of chronic exposure to the human body also amounted to 2.5, which corresponds to the maximum permitted level of non-carcinogenic risk (3.0>HI>1.1). The greatest contribution to the level of non-carcinogenic risk in case of chronic exposure is also made by epichlorohydrin (HQ=1.5).

Mineral wool. The total non-carcinogenic risk (hazard index) of chronic exposure to the human body amounted to 0.9, which corresponds to the minimum risk level (1.0>HI). Such a risk can be considered acceptable, since in this situation, as a rule, there are no unfavorable medical and environmental trends. Carbon tetrachloride makes the greatest contribution to the level of non-carcinogenic risk in case of chronic exposure (HQ=0.53).

PVC window frames. The total non-carcinogenic risk (hazard index) of chronic exposure to the human body was 0.9, which also corresponds to the minimum risk level (1>HI). As in the previous cases, epichlorohydrin makes the greatest contribution to the level of non-carcinogenic risk in case of chronic exposure (HQ=0.5).

Putty. The total non-carcinogenic risk (hazard index) of chronic exposure to the human body was 2.7, which corresponds to the maximum permitted level of non-carcinogenic risk (3.0>HI>1.1). Such risk levels are subject to constant monitoring, additional measures to reduce its level should be planned and carried out. Tetrachloromethane and formaldehyde make the greatest contribution to the level of risk (HQ=0.84 and 0.7, respectively).

Conclusion

Therefore, the study assessed the risk to human health from indoor air pollution due to VOC emissions from building materials.

Having analyzed the results, it can be concluded that the total lifetime carcinogenic risk for four out of six types of building materials (tile adhesive, PVC window frames, mineral wool, putty) corresponds to an alarming risk level

($1.1x10^{-4} – 1.0x10^{-3}$), which is acceptable only for work areas, but unacceptable for the population. The greatest contribution to this risk level is made by carbon tetrachloride and 1,2-dichloroethane, which belong to the second hazard class.

The carcinogenic risk from the use of plasterboards and linoleum corresponds to the maximum permissible level of risk to human health, which is subject to constant monitoring and additional measures to reduce it. In the case of building materials, given the possibility of using several materials at once in one room, it is necessary to refuse to issue quality certificates for such products.

The total non-carcinogenic risk during chronic exposure to the substances studied varies depending on the type of building material. In three of the six types studied (plasterboards, linoleum, putty), the hazard index corresponded to the maximum permissible level of non-carcinogenic risk (3.0>HI>1.1). Such risk levels are subject to constant monitoring, and in the case of building materials, due to the impossibility of such monitoring in domestic conditions, it was also recommended to refuse quality certificates for these products. A high level of non-carcinogenic risk (HI>6) was identified for tile adhesive, which also excludes the possibility of issuing a quality certificate. The hazard index for the use of mineral wool and PVC window frames corresponds to the minimum risk level (1>HI).

Thus, it can be concluded that the most environmentally friendly of the materials studied were plasterboards and linoleum (HI at the lower limit of the average level, CR low), as well as mineral wool and PVC window frames (HI low, CR at the lower limit of the average level).

The most dangerous in terms of risk to human health was tile adhesive (HI high, R approaching the upper limit of the alarming level). Such a risk is unacceptable for either the population or professional groups. Considering the fact that the use of this product is not limited to floor finishing (it is also used for other walls of the room: showers, bathrooms, kitchens, corridors), when choosing tile adhesive, you should choose only those varieties that have passed product quality certification. The assessment of the public health risk from inhalation of volatile organic compounds emitted from building materials into indoor air was carried out based on the VOC concentration data obtained at a chamber temperature of –23 ± 0.5 °C and humidity of –50 ± 3%. Changes in microclimatic parameters in this study (temperature and humidity), as well as ventilation air exchange, were not modeled. However, we note that an increase in indoor temperature during the heating season and high humidity are important factors influencing the increase in VOC emissions [2]. Thus, taking into account the seasonal variability of indoor temperature and humidity, the calculation of the public health risk may show an unacceptable level for many building materials.

Volatile organic compounds have a number of physical and chemical properties (low vapor pressure, high adsorption capacity, tendency to polymerization processes, reactivity to the formation of secondary toxic compounds depending on microclimatic parameters, leading to an increase in both non-specific and specific pathology. It should also be noted that the obtained results of the risk from VOC emissions from building materials were considered separately for each of the studied products, which means that during the actual operation of a room with finishing, where several types of such materials were used simultaneously, the carcinogenic and non-carcinogenic load on the health of the owners will increase.

In case when uncertified products have already been used in the finishing of domestic premises and it is not possible to replace them, the following recommendations should be followed:

- Installation of air exchange systems sufficient to ensure the flow and circulation of clean air into the premises. If it is not possible to implement these measures, it is recommended to increase the air exchange rate through ventilation.
- Monitor indoor microclimate parameters to ensure their optimal values.
- Use so-called filter plants that can purify the air and trap pollutants from the air [14]. Such plants include: ivy (Hedera helix), bowstring hemp (Sansevieria trifasciata), peperomia (Peperomia obtusifolia), spider plant (Chlorophytum comosum) and waringin (Ficus benjamina) [15].

As for the certification procedure itself, the authors recommend making voluntary products certification a mandatory procedure and implementing it taking into account the health risk assessment, since it is an important measure to protect human health from the possible development of environmentally induced pathologies.

Sponsorship information. This paper has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

References

1. Bashkirova, Yu. N. (2017). Problems of voluntary certification. *Scientific and Practical Journal "Alley of Science"*, *(10)*, 716–721. EDN: https://elibrary.ru/ZASYQB
2. Dorofeev, V. N. (2016). *Theoretical foundations of indoor climate creation: electronic educational publication for studying the discipline "Theoretical foundations of indoor climate creation" for full-time, part-time and distance*

learning students of VlSU enrolled in the "Construction" program (08.03.01), specialization "Heat and gas supply and ventilation (TGViG)". URL: http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/5545 (accessed: 07.01.2024)

3. Maksimova, O. A., Mikhailichenko, K. Yu., Kurbatova, A. I., Korshunova, A. Yu., & Klimakina, A. V. (2017). Environmental safety of construction materials using production and consumption waste (case study of eco-concrete). *Ecology and Industry of Russia*, *(21)*, 58–63. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-9-58-63. EDN: https://elibrary.ru/ZHLANX
4. Federal Law No. 184-FZ "On Technical Regulation" dated 27.12.2002 (2021). Moscow: AO "Kodeks". 34 p.
5. Interstate Standard. GOST ISO 16000-6:2016 *Indoor air. Part 6. Determination of volatile organic compounds in indoor air and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent followed by thermal desorption and gas chromatographic analysis using MSD/FID*. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200144100/ (accessed: 01.06.2024)
6. Interstate Standard. GOST 30255:2014 *Furniture, wood and polymer materials. Method for determining the release of formaldehyde and other harmful volatile chemicals in climate chambers*. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200111602 (accessed: 01.10.2024)
7. Kriyt, V. E., Sladkova, Yu. N., Badaeva, E. A., et al. (2019). On hygienic requirements for indoor air quality in residential construction projects at the commissioning stage. *Hygiene and Sanitation*, *(6)*, 608–612. https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612. EDN: https://elibrary.ru/BSBTOS
8. Lapina, O. A., & Lapina, A. P. (2013). Environmental assessment of construction materials. *Online Journal "Naukovedenie"*, *(5)*, 1–8. EDN: https://elibrary.ru/RXOYJR
9. National Standard of the Russian Federation. GOST R ISO 16000-10:2009 *Indoor air. Part 10. Determination of volatile organic compound emissions from construction and finishing materials. Test cell method* (2010). URL: https://files.stroyinf.ru/Data/487/48725.pdf (accessed: 06.06.2024)
10. Decree of the Government of the Russian Federation dated 23.12.2021 No. 2425 *On approval of the unified list of products subject to mandatory certification and the unified list of products subject to declaration of conformity, amendments to the Decree of the Government of the Russian Federation dated December 31, 2020 No. 2467, and repeal of certain acts of the Government of the Russian Federation* (2021). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_405516/ (accessed: 01.06.2024)

11. Decision of the Customs Union Commission dated 28.05.2010 No. 299 (as amended on 25.01.2023) *On the application of sanitary measures in the Eurasian Economic Union* (2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101851/ (accessed: 01.06.2024)
12. *Guidelines for assessing public health risks from exposure to chemicals polluting the environment. R 2.1.10.3968-23* (2023). Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. 304 p.
13. Technical Regulation of the Eurasian Economic Union *On safety of paint and varnish materials* (2011). URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Pages/bezopLakokrasok.aspx (accessed: 06.05.2024)
14. Timofeeva, S. S. (2017). Modern phytotechnologies for air purification. Part 1. Indoor air purification technologies: medical and ecological phytodesign. *XXI Century. Technosphere Safety*, *2*(1(5)), 55–69. EDN: https://elibrary.ru/YHFJCH
15. Turbina, I. N., Gorban, M. V., & Yampolskaya, T. D. (2015). Use of interior plants for indoor air sanitation in various types of premises. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, *17*(15), 229–232. EDN: https://elibrary.ru/VBYNIR
16. Allen, J., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, *124*, 805–812
17. Efrosini, G., & Papadopoulos, A. M. (2016). Construction materials and green building certification. *Key Engineering Materials*, *666*, 89–96. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.666.89
18. Zhang, L., Freeman, L. E. B., Nakamura, J., Hecht, S. S., Vandenberg, J. J., Smith, M. T., & Sonawane, B. R. (2013). Formaldehyde and leukemia: epidemiology, potential mechanisms, and implications for risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, *121*(3), 276–286. https://doi.org/10.1289/ehp.1205877 (accessed: 15.01.2023)
19. Sarkhosh, M., Najafpoor, A. A., Alidadi, H., et al. (2021). Indoor air quality associations with sick building syndrome: an application of decision tree technology. *Building and Environment*, *188*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107446. EDN: https://elibrary.ru/JNMPKV (accessed: 15.01.2021)
20. Wang, J., Janson, C., Gislason, T., et al. (2023). Volatile organic compounds (VOC) in homes associated with asthma and lung function among adults in Northern Europe. *Environmental Pollution*, *321*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121103. EDN: https://elibrary.ru/XCMPDG (accessed: 15.03.2023)

21. United States Environmental Protection Agency. (2024). *Indoor Air Quality (IAQ)*. URL: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq (accessed: 01.10.2024)
22. World Health Organization. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134 (accessed: 01.10.2024)

Список литературы

1. Башкирова, Ю. Н. (2017). Проблемы добровольной сертификации. *Научно-практический журнал «Alley of science»*, (10), 716–721. EDN: https://elibrary.ru/ZASYQB
2. Дорофеев, В. Н. (2016). *Теоретические основы создания микроклимата в помещении: учебное электронное издание по изучению дисциплины «Теоретические основы создания микроклимата в помещении» для студентов очной, заочной и дистанционной форм обучения ВлГУ, обучающихся по направлению «Строительство» (08.03.01), профиль «Теплогазоснабжения и вентиляции (ТГВиГ)»*. URL: http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/5545 (дата обращения: 07.01.2024)
3. Максимова, О. А., Михайличенко, К. Ю., Курбатова, А. И., Коршунова, А. Ю., & Климакина, А. В. (2017). Экологическая безопасность строительных материалов, при производстве которых используются отходы производства и потребления (на примере экобетона). *Экология и промышленность России*, (21), 58–63. https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-9-58-63. EDN: https://elibrary.ru/ZHLANX
4. *Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г.* (2021). Москва: АО «Кодекс». 34 с.
5. *Межгосударственный стандарт. ГОСТ ISO 16000-6-2016 «Воздух замкнутых помещений. Часть 6. Определение летучих органических соединений в воздухе замкнутых помещений и испытательной камеры путём активного отбора проб на сорбент Tenax TA с последующей термической десорбцией и газохроматографическим анализом с использованием МСД/ПИД»*. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200144100/ (дата обращения: 01.06.2024)
6. *Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30255-2014 «Мебель, древесные и полимерные материалы. Метод определения выделения формальдегида и других вредных летучих химических веществ в климатических камерах»*. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200111602 (дата обращения: 01.10.2024)
7. Крийт, В. Е., Сладкова, Ю. Н., Бадаева, Е. А. и др. (2019). К вопросу о гигиенических требованиях к качеству воздуха закрытых помещений на

объектах жилищного строительства на стадии ввода в эксплуатацию. *Гигиена и санитария*, (6), 608–612. https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-608-612. EDN: https://elibrary.ru/BSBTOS

8. Лапина, О. А., & Лапина, А. П. (2013). Экологическая оценка строительных материалов. *Интернет-журнал «Науковедение»*, (5), 1–8. EDN: https://elibrary.ru/RXOYJR
9. *Национальный стандарт РФ. ГОСТ Р ИСО 16000-10-2009 «Воздух замкнутых помещений. Часть 10. Определение выделения летучих органических соединений строительными и отделочными материалами. Метод с использованием испытательной ячейки»* (2010). URL: https://files.stroyinf.ru/Data/487/48725.pdf (дата обращения: 06.06.2024)
10. *Постановление Правительства РФ от 23.12.2021 № 2425 «Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подлежащей декларированию соответствия, внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 2467 и признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации»* (2021). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_405516/ (дата обращения: 01.06.2024)
11. *Решение Комиссии Таможенного союза от 28.05.2010 № 299 (ред. от 25.01.2023) «О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе»* (2023). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_101851/ (дата обращения: 01.06.2024)
12. *Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания. Р 2.1.10.3968-23* (2023). Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. 304 с.
13. *Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности лакокрасочных материалов»* (2011). URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/texnreg/deptexreg/tr/Pages/bezopLakokrasok.aspx (дата обращения: 06.05.2024)
14. Тимофеева, С. С. (2017). Современные фитотехнологии очистки воздуха. Часть 1. Технологии очистки воздуха закрытых помещений: медико-экологический фитодизайн. *XXI век. Техносферная безопасность*, *2*(1(5)), 55–69. EDN: https://elibrary.ru/YHFJCH
15. Турбина, И. Н., Горбань, М. В., & Ямпольская, Т. Д. (2015). Использование интерьерных растений для санации воздуха помещений различного типа. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, *17*(15), 229–232. EDN: https://elibrary.ru/VBYNIR

16. Allen, J., MacNaughton, P., Satish, U., Santanam, S., Vallarino, J., & Spengler, J. D. (2016). Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. *Environmental Health Perspectives*, *124*, 805–812.
17. Efrosini, G., & Papadopoulos, A. M. (2016). Construction materials and green building certification. *Key Engineering Materials*, *666*, 89–96. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.666.89
18. Zhang, L., Freeman, L. E. B., Nakamura, J., Hecht, S. S., Vandenberg, J. J., Smith, M. T., & Sonawane, B. R. (2013). Formaldehyde and leukemia: epidemiology, potential mechanisms, and implications for risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, *121*(3), 276–286. https://doi.org/10.1289/ehp.1205877 (дата обращения: 15.01.2023)
19. Sarkhosh, M., Najafpoor, A. A., Alidadi, H., et al. (2021). Indoor air quality associations with sick building syndrome: an application of decision tree technology. *Building and Environment*, *188*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107446. EDN: https://elibrary.ru/JNMPKV (дата обращения: 15.01.2021)
20. Wang, J., Janson, C., Gislason, T., et al. (2023). Volatile organic compounds (VOC) in homes associated with asthma and lung function among adults in Northern Europe. *Environmental Pollution*, *321*. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121103. EDN: https://elibrary.ru/XCMPDG (дата обращения: 15.03.2023)
21. United States Environmental Protection Agency. (2024). *Indoor Air Quality (IAQ)*. URL: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq (дата обращения: 01.10.2024)
22. World Health Organization. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. URL: https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134 (дата обращения: 01.10.2024)

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Kseniya Yu. Mikhaylichenko: scientific consultation, design and editing of the paper.

Anna I. Kurbatova: collection and processing of the materials, preparation of the text of the paper.

Yulia A. Kurteeva: collection and processing of the materials, preparation of the text of the paper.

Eleonora E. Konovalova: collection and processing of the materials, preparation of the text of the paper.

ВКЛАД АВТОРОВ

Михайличенко К.Ю.: научное консультирование, оформление и редакция статьи.

Курбатова А.И.: сбор и обработка материала, подготовка текста статьи.

Куртеева Ю.В.: сбор и обработка материала, подготовка текста статьи.

Коновалова Э.Е.: сбор и обработка материала, подготовка текста статьи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Kseniya Yu. Mikhaylichenko, Candidate of Biological Sciences
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Anna I. Kurbatova, Candidate of Biological Sciences
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
kurbatova-ai@rudn.ru

Yulia A. Kurteeva
EcoStandard group
13, build. 16, Perevedenovsky lane, Moscow, 105082, Russian Federation
kurteyeva.y@ecostandard.ru

Eleonora E. Konovalova, Assistant
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
konovalova-ee@rudn.ru

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Михайличенко Ксения Юрьевна, кандидат биологических наук
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация
mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Курбатова Анна Игоревна, кандидат биологических наук
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация
kurbatova-ai@rudn.ru

Куртеева Юлия Артемовна
ООО «Экостандарт «Технические Решения»
пер. Переведеновский, 13, стр. 16, г. Москва, 105082, Российская Федерация
kurteyeva.y@ecostandard.ru

Коновалова Элеонора Евгеньевна, ассистент
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация
konovalova-ee@rudn.ru

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1673 **EDN: UGLRFT**
УДК 614.2

CC BY NC ND

Научная статья

РОЛЬ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АНТИНАРКОТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ОТРАСЛИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕГИОНА

А.В. Ахохова, М.Х. Тлакадугова, А.А. Кушхов, А.Г. Сонова, А.А. Тхагапсоева, К.А. Бляниxов, А.А. Мирзантова, М.Г. Муслимов, А.К. Хададова, К.К. Хасанова, Ф.М. Билалова

Аннотация

Обоснование. Системная инженерия на основе моделей (MBSE) продолжает совершенствоваться и стремится заменить действующий подход, основанный на документировании, - моделями, которые выбираются в зависимости от стадии познания объекта и возможностями получения информации.

Целью исследования стало определение роли системного анализа при оценке Стратегии государственной антинаркотической политики в отрасли здравоохранения региона (модель системы), формализация подходов к факторам, оказывающим влияние на создание модели системы и ее характеристики с использованием общих принципов эффективной архитектуры MBSE (модельно-ориентированная системная инженерия).

Материалы и методы. Материалами для проведения исследования стал опубликованный опыт российских и зарубежных ученых, связанных с системным анализом в разных отраслях деятельности. Поиск публикаций для анализа, посвященных изучаемой проблеме, проводился в базах данных (Medline, Cochrane Controlled Trials Register и других). Подбор научно-исследовательских работ и статей осуществлялся из электронных баз данных Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU и информационно-коммуникационной сети «Интернет» за период времени с 2002 по 2024 гг.

Результаты. В сложной системе, которая представлена большим количеством участников, реализующих Стратегию, существует сложность выбора правильного уровня абстракции и представление логических частей расчлененной системы, выделения блоков, выстраивания архитектурных уровней из абстракций, направленных на выявление и использование базовых закономерностей и общих характеристик, внешне различных объектов.

Исследование позволило частично формализовать подходы для соизмерения существующих представлений системы с общими принципами эффективной архитектуры MBSE.

Автор пришел к заключению, что накопление сведений об объекте исследования, с учетом регистрации новых компонентов и связей приведёт к получению проекций последовательных состояний развивающейся системы. По мере совершения итераций будет создаваться более адаптированная модель настоящего, исследуемого или проектируемого объекта. Поэтому мониторинг и контроль реализации Стратегии с внесением необходимых корректировок для повышения эффективности позволит оценить изменения с использованием информационных и аналитических моделей.

Внедрение принципов, инструментов и методологий непрерывного совершенствования в среде, основанной на моделях MBSE, поможет создать эталонную архитектуру для потоков с цифровым отслеживанием, которые можно использовать для устранения узких мест, дефектов и ошибок, угрожающих успешному выполнению программ и проектов.

Ключевые слова: модельно-ориентированная системная инженерия; Стратегия государственной антинаркотической политики; принципы эффективной архитектуры; системный анализ; здравоохранение

Для цитирования. Ахохова, А. В., Тлакадугова, М. Х., Кушхов, А. А., Сонова, А. Г., Тхагапсоева, А. А., Блянихов, К. А., Мирзантова, А. А., Муслимов, М. Г., Хададова, А. К., Хасанова, К. К., & Билалова, Ф. М. (2025). Роль системного анализа при изучении реализации Стратегии государственной антинаркотической политики в отрасли здравоохранения региона. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 386-416. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1673

Original article

THE ROLE OF SYSTEMS ANALYSIS IN STUDYING THE IMPLEMENTATION OF THE STATE ANTI-DRUG POLICY STRATEGY IN THE REGIONAL HEALTHCARE SECTOR

A.V. Akhokhova, M.Kh. Tlakadugova, A.A. Kushkhov, A.G. Sonova, A.A. Thagapsoeva, K.A. Blyanikhov, A.A. Mirzantova, M.G. Muslimov, A.K. Khadadova, K.K. Khasanova, F.M. Bilalova

Abstract

Background. Model-based systems engineering (MBSE) continues to improve and seeks to replace the current documentation-based approach with models that

are selected depending on the stage of object cognition and the possibilities of obtaining information.

The aim of the study was to determine the role of systems analysis in assessing the Strategy of the state anti-drug policy in the regional healthcare sector (system model), formalize approaches to the factors influencing the creation of a system model and its characteristics using the general principles of an effective MBSE architecture (model-based systems engineering).

Materials and methods. The materials for the study were the published experience of Russian and foreign scientists associated with system analysis in various fields of activity. The search for publications for analysis devoted to the problem under study was conducted in databases (Medline, Cochrane Controlled Trials Register and others). The selection of research papers and articles was carried out from the electronic databases of the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU and the information and communication network "Internet" for the period from 2002 to 2024.

Results. In a complex system, which is represented by a large number of participants implementing the Strategy, there is a difficulty in choosing the right level of abstraction and representing the logical parts of the dismembered system, identifying blocks, building architectural levels from abstractions aimed at identifying and using basic patterns and common characteristics of outwardly different objects.

The study allowed us to partially formalize approaches for measuring existing system representations with the general principles of an effective MBSE architecture.

The author came to the conclusion that the accumulation of information about the object of study, taking into account the registration of new components and connections, will lead to the receipt of projections of successive states of the developing system. As iterations are performed, a more adapted model of the current, studied or designed object will be created. Therefore, monitoring and control of the implementation of the Strategy with the introduction of necessary adjustments to improve efficiency will allow us to evaluate changes using information and analytical models. The implementation of principles, tools and methodologies for continuous improvement in an environment based on MBSE models will help to create a reference architecture for flows with digital tracking, which can be used to eliminate bottlenecks, defects and errors that threaten the successful implementation of programs and projects.

Keywords: modelno-oriented systems engineering; State anti-drug policy strategy; principles of effective architecture; systems analysis; healthcare

For citation. Akhokhova, A. V., Tlakadugova, M. Kh., Kushkhov, A. A., Sonova, A. G., Thagapsoeva, A. A., Blyanikhov, K. A., Mirzantova, A. A., Muslimov, M. G., Khadadova, A. K., Khasanova, K. K., & Bilalova, F. M. (2025). The role of

systems analysis in studying the implementation of the state anti-drug policy strategy in the regional healthcare sector. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 386-416. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1673

Введение

В соответствие со Стратегией государственной антинаркотической политики Российской Федерации на период до 2030 года (далее – Стратегия) [20] «недостаточная эффективность организации профилактической деятельности, социальной реабилитации больных наркоманией и ресоциализации наркопотребителей …» являются факторами, представляющими угрозу национальной безопасности в сфере оборота наркотиков и противодействия их незаконного оборота.

Исследователями осуществлен поиск механизмов совершенствования системы комплексной антинаркотической профилактической деятельности в регионе для определения ее модели, в качестве средства исследования социально-экономической системы иного масштаба.

По-видимому, максимально реалистичная и понятная суть рассматриваемых процессов, в качестве системы, определит подлинность итогов данного исследования. Системный анализ дает возможность оценить и проанализировать текущие состояния системы во времени или объектов исследования, предполагаемые предыдущие и прогнозируемые будущие состояния в зависимости от влияния различных социальных и экономических факторов на систему извне.

Термин «социально-экономическая система» может быть применим к предмету исследования и в общепринятом смысле трактуется как комплексное взаимодействие экономических субъектов и ресурсов, порождающих целостную социально-экономическую структуру, к которой можно отнести Стратегию государственной антинаркотической политики, реализуемой субъектами взаимодействия [20].

Стратегия по мнению автора [15] «…является документом стратегического планирования, в котором идет речь о реализации многофакторных (альтернативных) подходов для достижения указанных целей (нормативно-правовые, правоохранительные, организационно-управленческие, технологические, социальные, медицинские, информационные, экономические, образовательные, научные, идеологические, педагогические и воспитательные аспекты». Посредством коммуникативных связей большого числа участников взаимодействия (соисполнителей) Стратегии, формируется обусловленная целостность, что определяет единство данной системы.

По оценке исследователя, [25] фундаментальная ценность системы «представляет квазиустойчивую совокупность элементов и связей между ними или, иначе, некоторое число взаимосвязанных элементов (подсистем), обладающих свойствами, не сводящимися к сумме свойств отдельных элементов или подсистем».

В рамках изучения исследовательского вопроса мероприятия по предупреждению роста наркотизма в Российской Федерации концептуально возможно рассматривать с точки зрения уровней функциональности состояния системы, которая определяется следующими особенностями:

- известностью проблем, многоаспектностью задач, поставленных перед ведомствами и организациями, участвующими в комплексной стратегии борьбы с мировой проблемой наркотиков;

- возможностью формализации представлений о системе и методах стимулирующих опыт специалистов в данной области, для трансформации качественного анализа деятельности в цифровой формат с применением приемов математического анализа;

- пониманием общесистемности тех закономерностей, которые находятся в стратегическом ядре и определяют основу понятийного и концептуального аппарата теории систем;

- возможностью консолидации усилий специалистов разнообразных сфер деятельности для оптимизации процессов принятия совместного решения, согласованного в рамках межведомственного подхода;

- определением очередности реализации этапов и методов исследования для выработки единого концептуального подхода;

- анализом и разработкой средств исследования процессов для реализации целей, их *структуризации;*

- выбором предела и степени абстракции для разбиения исследуемой системы на иерархические уровни. Структурное разбиение работ за счет декомпозиции позволяет имеющуюся обширную неопределенность представить более понятной, а значит управляемой в рамках общего сохранения целостного (системного) представления об объекте изучения.

В связи с этим, подходы для нахождения механизмов совершенствования антинаркотической деятельности и государственного контроля за оборотом наркотиков в регионе [17] необходимо рассматривать как средство исследования системы.

В силу трудоёмкости и сложности системного анализа, и невозможностью охвата всех процессов [10], авторами настоящего исследования определены границы и объекты исследования - деятельность медицинских

организаций и органов управления здравоохранения региона, реализующих стратегические цели и задачи.

Гипотетически мероприятия, реализуемые в рамках Стратегии на уровне региона, можно представить в виде *модели системы*. «…Моделью некоторой реальной исходной системы (прототипа) называется система, в которой отражаются по определенным законам те или иные стороны реальной исходной системы. Процесс отражения и исследования реальной исходной системы с помощью модели называется моделированием системы» [6]. Объектом исследования являются мероприятия по реализации в *субъекте* Стратегии государственной антинаркотической политики Российской Федерации до 2030 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 23.11.2020 № 733 [20] (далее – Стратегия), которые осуществляются всеми участниками взаимодействия. Данные мероприятия рассматриваются как компоненты в совокупности укрупненных компонентов, принципиально необходимых для существования и функционирования исследуемой системы на уровне субъекта, страны.

«Представление объекта в виде хорошо организованной системы используется в тех случаях, когда может быть предложено детерминированное описание и экспериментально показана правомерность его применения, т.е. экспериментально доказана адекватность модели реальному объекту или процессу» [3; 10]. Поэтому для реализации Стратегии необходим селективный поиск критических зависимостей между компонентами, соответственно целями системы.

Исследование системы необходимо осуществлять от целей, используя методы системного подхода, предварительно обозначив предмет исследования - региональные процессы [16]. Действия и влияние последних сопряжено с наличествующим комплексом структур (оперативных и организационных), ориентированных на достижение стратегических целей. Кроме того, необходимо учитывать такие факторы, как используемые технологии (сложившиеся методы и алгоритмы), существующие условия, учитывая факторы влияния внутренней и внешней среды.

Таким образом, по мере уточнения представлений, на фоне трансформации и развития системы закладывается *основа для* структуризации целей и функций, с учетом концептуальных особенностей функционирования организаций в настоящий момент времени.

Изложенное дает *первое* понимание выбора определения системы и возможности начала формирования ее модели, основанной на подходах системного анализа и междисциплинарного подхода.

Целью исследования стало определение роли системного анализа при оценке Стратегии государственной антинаркотической политики в отрасли здравоохранения региона (модель системы), формализация подходов к факторам, оказывающим влияние на модель системы и ее характеристики с использованием общих принципов эффективной архитектуры MBSE (моделе-ориентированная системная инженерия).

Материалы и методы

Материалами для проведения исследования стал опубликованный опыт российских и зарубежных ученых, связанных с системным анализом в разных отраслях деятельности. Поиск публикаций для анализа, посвященных изучаемой проблеме, проводился в базах данных (Medline, Cochrane Controlled Trials Register и других). Подбор научно-исследовательских работ и статей осуществлялся из электронных баз данных Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU и информационно-коммуникационной сети «Интернет» за период времени с 2002 по 2024 гг.

В целях изучения исследовательского вопроса проанализированы 26 источников литературы, напрямую или косвенно затрагивающие темы практического применения модельно-ориентированной системной инженерии.

Результаты

Факторы влияния на формирование модели системы, реализующей Стратегию государственной антинаркотической политики на уровне региона. Ранее противодействие наркотизации граждан выражалось лишь в отдельных и несогласованных мерах, которые были направлены только на конкретные аспекты существующей проблемы, они не представляли собой систему целенаправленной работы, так как отсутствовало единое концептуальное понимание того, как именно необходимо бороться с наркоманией, предупреждать ее возникновение и развитие [5].

Чтобы точнее определить начальный этап анализа системы его необходимо отделить от сред влияния, воздействующих на систему в целом.

Представление, обобщающее многоаспектность связей системы со средами влияния базируется на тезисе единства с ней, при синхронном определении исследуемой системы в качестве, составляющих над- и подуровней, что является основой закономерности коммуникативности [21].

Ранее авторами [3] давалось представление таксономической модели административно-территориальной иерархии взаимодействия объектов, подчиненных целям Стратегии [20].

Исследователями [3] сформулированы выводы, о том, что «…многоуровневое соподчинение субцелостностей основано на их разветвлении на элементы низшего порядка и далее, называясь холонами. Последние демонстрируют дихотомию, которая определяет саморегулирующуюся открытую систему, как автономную часть свойства целого, так и зависимые свойства частей».

Необходимо отметить, что данное представление может быть выражено на каждом из формализованных уровней (учрежденческом, региональном, федеральном), независимо от типа иерархической организации. Закономерность метафорически сформулирована А. Кёстлером [28] - «Двуликий Янус».

Понятие «холона» может быть использовано в отношении субъектов управления Стратегией, как системным единицам, которые демонстрируют поведение, ограниченное правилами и нормами. По мнению исследователей, [3] иерархию «разложимости» на составляющие формируют: узлы – холоны и ветви - каналы коммуникации и контроля, что определяет формально-логическое представление о Стратегии, как системе.

Состояние локального окружения холона до «всеобщего поля» опосредовано средами влияния, воздействующими на субъекты управления Стратегией, а количество холонов на любом из уровней есть его объем, многоуровневая иерархия определяют меру «глубины». Соответственно Стратегию можно представить в качестве подсистемы большей системы, как совокупность подсистем во взаимодействии с другими системами, объединённых одной целью.

Таким образом, при описании системы, реализующей мероприятия по антинаркотической политики на уровне региона необходимо формализовать цели для всех участников проекта (федеральных, региональных, учрежденческих), учитывая самоподобие элементов в закономерностях построения административно-территориальных единиц пространственных систем разного иерархического уровня в сфере здравоохранения [2] (рис. 1).

Данное обстоятельство позволяет прогнозировать состояние системы и среды, в которой она находится, учитывая неоднородность последней, определенной совокупностью внутренних и внешних сил, стимулирующих или препятствующих достижению целей Стратегии. Рубеж между ними может быть деформирован, так как при уточнении модели системы взаимодействия, изыскатель может выделять в среду некоторые элементы, которые являются составляющими системы, и наоборот, может интегрировать в систему элементы среды, наделенные мощными связями с частью системы.

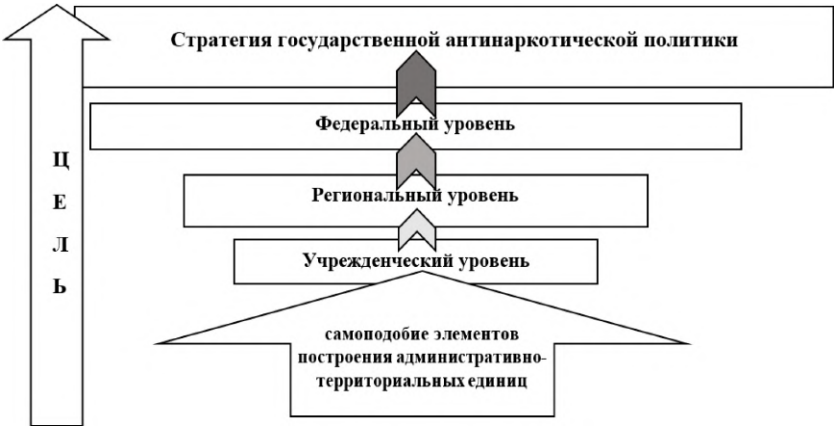


Рис. 1. Административно-территориальные единицы пространственных систем, имеющих одну цель

Для уточнения представления о системе необходимо рассмотреть основные понятия, которые помогают изучить *характеристики строения и функционирования систем (элемент, связь)*. Людвиг фон Берталанфи описывал систему как «комплекс взаимодействующих компонентов» или как «совокупность элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой» [11] и лишенных способности к автономному существованию, распознающихся один через другой, взаимно дополняя.

Что считать простейшей, неделимой частью системы (элементом), целью которой является реализация мероприятий, предусмотренных Стратегией государственной антинаркотической политики на уровне региона?

Нахождение элементов напрямую связан с уточнением понятия *цели* для субъектов взаимодействия и не может быть отделим от неё (рис. 1). В контекстном изложении предмета исследования - административно-территориальные единицы пространственных систем, представленные на рис. 1. имеют одну цель, направленную на эффективную реализацию Стратегии.

Оценка результатов осуществляется на основании следующих показателей:

- вовлеченности населения в незаконный оборот наркотиков;
- криминогенности наркомании;
- вовлеченности несовершеннолетних в незаконный оборот наркотиков;
- первичной заболеваемости наркоманией и пагубным потреблением наркотиков; и др. [18].

Методика расчета показателей эффективности реализации Стратегии в регионе [18] осуществляется путём расчета отношения значений искомого показателя в числителе к общей численности населения в субъекте на конец отчетного периода, в знаменателе. Далее, в соответствие с утвержденными Государственным антинаркотическим комитетом методикой и порядком осуществления мониторинга, а также критериями оценки развития наркоситуации в России и ее субъектах, осуществляется ранжирование оценочных показателей по отношению к установленным пороговым значениям (где, значение от 0 до 25 «нейтральная», до 75-100 «кризисная» оценки).

Таким образом, по мнению исследователей, цель может трансформироваться, принимая различные выражения в пределах условных оценочных значений от нейтральных до кризисных показателей.

Приводя далеко не исчерпывающий перечень показателей Стратегии, необходимо обозначить принципы распределения системных требований по компонентам системы.

С точки зрения системного подхода необходимо отметить, что по мере детализации и изучения объекта, цель исследования может меняться относительно оценочных показателей шкалы, что неизбежно влечет изменения в ее формулировке. Абстрактно в своем устремлении к конечному результату деятельности, а именно достижению плановых индикативных показателей, Стратегию схематично можно представить в виде модели, от формального выражения системы, представленной на рис. 2., к существующей на рис. 3.

Дополнительно, прежде чем уточнять элементы сложной системы, необходимо изначально выделить самостоятельные составляющие системы, наделенные особенностям самой системы, для которых характерна подцель, на достижение которой направлена конкретная подсистема.

Изучая модель системы, посредством которой реализуется региональный План мероприятий Стратегии государственной антинаркотической политики Российской Федерации на период до 2030 года [20, 18] абстрактно подсистемы можно представить в виде организаций (соисполнителей), работающих независимо друг от друга, связанных одной целью, а значит наделенных свойствами целостности, коммуникативности и т.п., определяемых закономерностями системы.

Ответственными за исполнения основных мероприятий являются соисполнители, которые представлены разными ведомствами, независимыми друг от друга, однако все вместе они функционируют как одно целое. К ним относятся: Аппарат АНК КБР, Минздрав КБР, Бюро судебно-медицинской экспертизы Минздрава КБР, Минпросвещение КБР, Комиссия по делам несовершеннолетних и защите их прав при Правительстве КБР и др. (рис. 4).



Рис. 2. Формальное представление системы

Таким образом, система представлена множеством подсистем каждая из которых имеет отдельную предопределенную рабочую среду, посредством которой система координирует выделение ресурсов и выполнение заданий. Необходимо отметить, что выделение подсистем также связано с целью, которая может трансформироваться по мере уточнения изменений требований к системе и(или) развития представлений об объекте исследования (рис. 5, рис. 6).

Важным компонентом системы, определяющим степень свободы ее элементов, является складывающиеся *связи (отношения)* между ними,

что позволяет обеспечить и сохранить целостность системы при возможных метаморфозах в структурных преобразованиях (статичное представление системы) и(или) в процессной деятельности функционировании (динамическое представление системы). Необходимо отметить, что при взаимодействии (связях), элементы могут частично утрачивать свойства, которые были им присуще изначально, когда они находились в автономном состоянии.

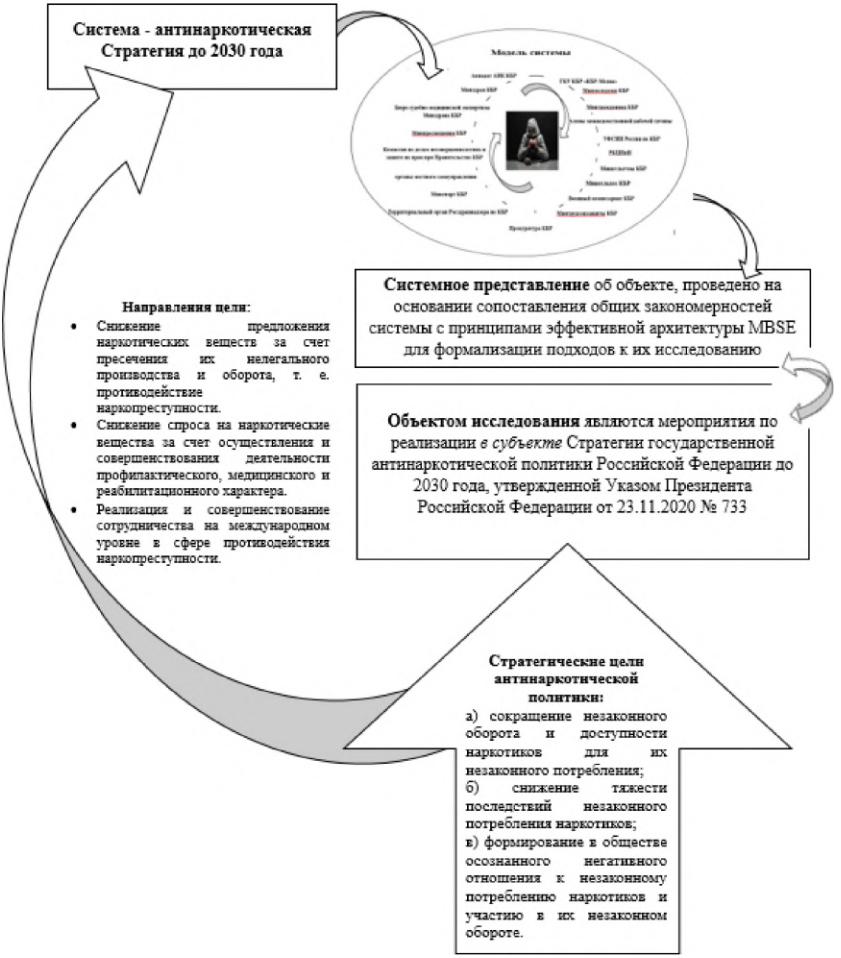


Рис. 3. Существующее представление системы

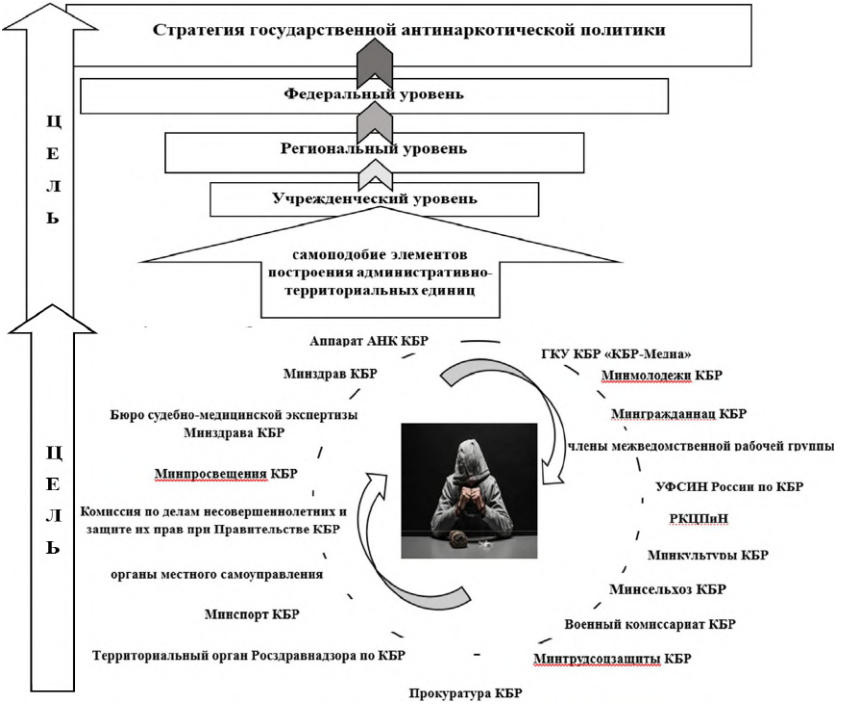


Рис. 4. Исполнители-участники межведомственного плана взаимодействия (учрежденческий, региональный уровни)

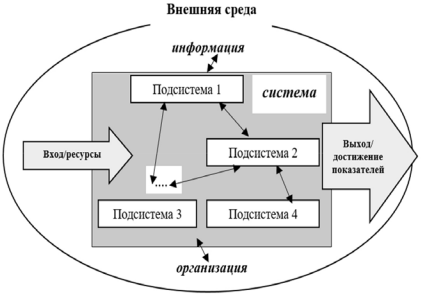


Рис. 5. Подсистемы, как (не) зависимые части системы, определяемые закономерностями системы (символ обратной связи «эквивалентно»)

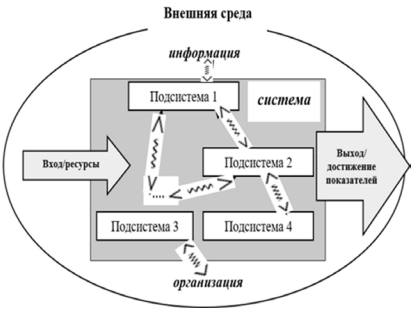


Рис. 6. Подсистемы, как (не)зависимые части системы, определяемые закономерностями системы (символ обратной связи «вариативность характера связи»)

На рис. 5 взаимодействие между подсистемами, внешней и внутренней средами обозначены символом обратной связи «стрелка вправо-влево» (т.е. эквивалентно, бинарная логическая связка[1]) «↔». Вместе с тем, учитывая многоконтурность моделей управления социально-экономическими системами и разные характерологические признаки, устанавливающихся связей (направление, сила, вид) между соисполнителями в исследуемой системе, необходимо отметить одновременное присутствие отрицательных, и положительных обратных коммуникаций.

С одной стороны, данное обстоятельство наделяет сложную систему функционирования *саморегулированием* и *самоорганизацией.* С другой, присутствует неопределенность и вариативность характера связей, которые авторами показаны в виде волнистой двунаправленной стрелки между взаимозависимыми подсистемами «<⦚>» (рис. 6.).

Кроме того, важность и необходимость регистрации конкретных целей у субъектов управления Стратегией дает понимание об устанавливающихся между ними уровнями значений обратной связи (коммуникациях) на основе закономерностей развития сложных систем и связей [7]. В данном контексте установление и контроль целей для субъектов исследования (организаций региона), реализующих Стратегию, является важным аспектом, требующим дальнейшего изучения и структуризации.

Методы структуризации целей являются факторами влияния на представление и формирования модели системы. Предварительное описание сложной социально-экономической системы, возможно представить по подобию технической системы, но с точки зрения определенности управления в общей теории систем, последние являются наиболее простыми системами.

Акофф в своих трудах [1] подчеркивал «…относительность применения математических методов и моделирования в практическом менеджменте, поскольку разработать модель, идентичную реальности, невозможно…». Поэтому результаты не могут являться свидетельствами истинности, что ограничивает их использование в экономической отрасли.

Вместе с тем, по мнению исследователей [12; 13] «…Сформированный понятийный аппарат теории систем может и должен активно использоваться и экономистами» при представлении системы в качестве социально-экономической модели. Вместе с тем, систематизация предполагает лишь упорядочение, тогда как моделирование представляет формализацию взаимосвязей между элементами системы и внешней средой.

[1] Импли́кация (от лат. implicatio «связь; сплетение») – бинарная логическая связка, по своему применению приближенная к союзам «если…, то…».

Определение структуры системы путем простого представления и перечисления простых элементов и компонентов системы будет недостаточным, так как свойства каждого из них отличаются от суммы общих свойств объекта. Поэтому необходимо уточнить данные (сведения), обеспечивающие выполнение поставленной цели субъектом исследования для получения требуемых результатов объектом с использованием методов декомпозиции, абстракции, инкапсуляции.

Необходимость формализации целей для всех компонентов системы, предполагает предварительную формулировку требований к ним, определение распределяемых ресурсов, задании масштабов и временных единиц активностей, т.е. на создание детальных требований к разработке моделей – компонентов системы.

Структурное разбиение работ (декомпозиция) системы на составляющие части с установлением взаимосвязей носит переменный характер, что выражается в определенном устройстве структуры. То есть структурные представления системы являются средством их исследования.

В связи с изложенным, при абстрактном выражении модели системы, с учетом плана мероприятий, определённых Стратегией на региональном уровне учитывать необходимо только важные составляющие и их связи, которые в дальнейшем будут незначительно подвергаться трансформациям при рабочем функционировании системы.

В доступных источниках литературы [26] метод объектно-ориентированной декомпозиции встречается при уточнении понятия информационного моделирования и информационной модели, в результате которого формируется изделие медицинской техники, представляющее иерархическую связанную систему классов. В соответствие с проведенным технико-экономическим анализом исследователями сделаны выводы о возможной оптимизации финансовых потерь медицинскими организациями региона за счет обнаружения ошибок при определении порядка реализации услуг [26].

Проводя аналогию с объектом настоящего исследования, способность декомпозиции (объектно-ориентированной) состоит в разложении (структуризации) сложных систем и отношений на понятные и согласованные подмножества компонентов, ресурсов, функций и их содержимого, без потери существенной перспективы в целом для каждого соисполнителя.

Преимущества метода инкапсуляции состоит в возможности локализации проблемы проектирования и внедрения, путем упрощения системной

интеграции, которая сводит к минимуму необходимости крупномасштабного тестирования системы, тем самым уменьшая влияние конкретных конструктивных изменений на системный уровень, что обеспечивает возможности повторного использования процессов и услуг.

Структурное представление системы здравоохранения является сложным, состоящим из множества уровней, включающих различные формы медицинских организаций, (вне)ведомственные органы контроля и управления, виды и уровни предоставления медицинских услуг [14]. Поэтому «…целесообразно формировать и применять обобщенную методику структуризации целей и функций, которая включала бы несколько методик структуризации и несколько методов оценки структур. Такой подход позволит достичь всестороннего понимания целей организации, а также обеспечит более эффективное управление» [22].

В сложной системе, которая представлена большим количеством соисполнителей, реализующих Стратегию, появляется сложность выбора правильного уровня абстракции, а именно представление логических частей расчлененной системы, выделения блоков, выстраивания архитектурных уровней из абстракций [27], направленных на выявление и использование базовых закономерностей и общих характеристик, внешне различных объектов.

Поэтому, при работе с целями в сложных системах важно принимать во внимание *закономерности целеобразования,* т.е. формулирование цели в соответствие со стадией изучения объекта исследования, времени, внешних и внутренних факторов влияния и необходимости обобщения задачи формулирования стратегической цели к задаче ее структуризации, классификации систем [9; 10].

«Цель любой классификации - ограничить выбор подходов к отображению системы, сопоставить выделенным классам приемы и методы системного анализа и дать рекомендации по выбору методов для соответствующего класса систем. При этом система в принципе может быть одновременно охарактеризована несколькими признаками, т.е. ей может быть найдено место одновременно в разных классификациях, каждая из которых может оказаться полезной при выборе методов моделирования» [9].

Идентификация закономерностей построения, функционирования и развития систем способствуют уточнению представлений об объекте исследования, определяют выбор подходов и методов его изучения.

Ввиду этого для представления методов структуризации целей, которые являются факторами влияния на формирование модели системы,

важным является принятие *закономерности целеобразования*. Последнее связано с подчиненностью (сопряженностью) определения цели с уровнем стадии познания объекта исследования и важностью соотнесения (зависимости) задачи формулирования определенной цели к задаче ее структуризации (рис. 7).



Рис. 7. Поиск элементом изучаемой модели системы

Авторами для нахождения подходов к визуализации и уточнению объекта исследования (мероприятия по реализации в *субъекте* Стратегии государственной антинаркотической политики), проведено соотнесение существующих представлений о системе изучаемой модели (рис. 6.) с общими принципами эффективной архитектуры системной инженерии на основе моделей (MBSE) [23] и описанными ранее исследователями [9] классификационными закономерностями системы (рис. 8).

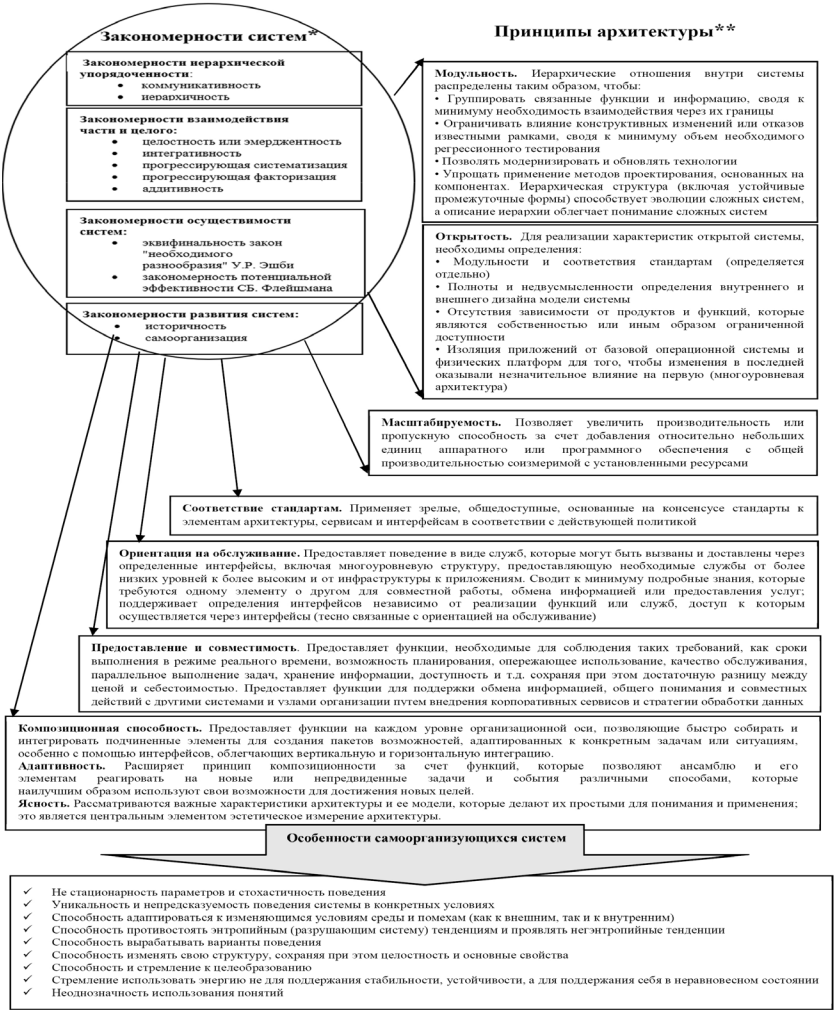


Рис. 8. Формализация подходов для исследования существующих представлений системы с общими принципами эффективной архитектуры MBSE [27]

* Волкова В.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление» / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. СПб.: СПбГТУ, 1997. 510 с. [10]

** John M. Borky · Thomas H. Bradley E ective Model-Based Systems Engineering. 2019; 787p https://doi.org/10.1007/978-3-319-95669-5.

Формализация подходов для представления системных требований, проектирования, анализа, верификации и валидации, начинается с этапа концептуального проектирования, который основывается на закономерностях и продолжается на протяжении всего жизненного цикла работы системы с соблюдением принципов архитектуры.

Между особенностями самоорганизующихся систем и закономерностями систем существуют сложные взаимосвязи (рис. 8). Вместе с тем, проведя мысленный эксперимент (интуитивное моделирование) по результатам анализа деятельности и практического опыта работников организаций, реализующих План мероприятий Стратегии [19; 20] становится очевидным следующее.

«Способность адаптироваться, вырабатывать варианты поведения, формулировать цели, изменять структуру и т.п., являются важными условиями выживания организаций в условиях нестабильной среды. А реализация этих свойств возможно обеспечить, изучая и используя закономерности функционирования и развития самоорганизующихся систем. По мере накопления опыта исследования и преобразования систем, обладающих подобными свойствами, была осознана их основная особенность - принципиальная ограниченность формализованного описания развивающихся, самоорганизующихся систем. Эта особенность, т.е. необходимость сочетания формальных методов и методов качественного анализа, и положена в основу большинства моделей и методик системного анализа» [9].

Преимуществом концепции моделирования при демонстрации самоорганизующихся систем является возможность разработки системы символов, позволяющих регистрировать понятные в настоящий момент времени компоненты и связи системы [24].

Далее происходит преобразование полученного отображения с помощью установленных правил (структуризации или декомпозиции; композиции, поиска мер близости на пространстве состояний). Итогом является получение иных, не известных ранее компонентов, взаимоотношений, зависимостей, которые могут стать основой для принятия решений, либо ориентиром для последующих итераций.

Аккумуляция сведений об объекте исследования, с учетом фиксации новых компонентов и связей (правила взаимодействия компонент) ведут к получению прототипов последовательных состояний развивающейся системы. Трансформация с учетом итеративных преобразований позволит создать адаптированную модель настоящего, исследуемого или проектируемого объекта. Важность междисциплинарного подхода и участия

специалистов различных областей знаний, создаст предпосылки для аккумулирования эффекта в процессе познания объекта.

Изложенное свидетельствует об адаптированном механизме развития систем с помощью процессов моделирования. Практическая реализация данного «механизма» возможна с помощью языка моделирования систем SysML [19], специально разработанного для системной инженерии. Данный язык предлагает стандартизированный подход к визуализации, спецификации, анализу и документированию компонентов и динамики системы.

Таким образом, представление объекта исследования (мероприятий по реализации в *субъекте* Стратегии государственной антинаркотической политики) в виде самоорганизующейся системы применимо для разрешения сложных задач с большой начальной неопределенностью, которая уточняется шаг за шагом, итеративно.

Данный способ направлен на замену действующего подхода системной инженерии на основе документов, - моделями, которые выбираются в зависимости от стадии познания объекта и возможностями получения информации, хранятся и совместно используются через цифровые репозитории [4].

В MBSE элементы системы и стратегическая информация являются отдельными сущностями в некотором типе репозитория или базы данных. Эти сущности несут свои характеристики с собой. Репозиторий элементов и информации — это то, что действительно делает MBSE «основанным на модели», поддерживающимся множеством людей, которые трансформируют информацию о дизайне, создавая спецификации системы.

«Такая централизация позволяет всем членам команды работать с общей, контролируемой базовой линией. Кроме того, этот подход является ключевым для обеспечения согласованности сущностей в системном дизайне и гарантирует, что все представления дизайна (изображения и т. д.) всегда синхронизированы и согласованы…» [8; 29]. Данное обстоятельство соответственно наделяет структуру объекта исследования организованностью, устойчивой упорядоченностью элементов и связей системы.

Заключение

Изложенное предполагает рассматривать архитектуру объектов исследования в качестве *стратегического ядра,* определяющего понимание сложных, многомерных, информационно насыщенных систем и организаций.

Комплексный анализ системы исследования важен для решения в первую очередь слабоструктурированных задач, т.е. когда состав элементов и

взаимосвязей определен частично, в ситуациях с наличием фактора неопределенности или содержащих не формализуемые элементы.

Важность данного анализа, при изучении вопросов реализации Стратегии государственной антинаркотической политики в отрасли здравоохранения основанного на моделях (MBSE) региона изначально преследует цель создания фундаментальной архитектуры, основанной на организующем принципе для всех соисполнителей объекта исследования.

Функциональный и структурный анализ помогает ответственному за принятие решения лицу проанализировать и оценить возможные варианты действий для выбора наилучшего с учетом дополнительных, не формализуемых факторов, которые не всегда известны специалистам, реализующих Стратегию.

Ключевым моментом является то, что все программные структуры и мероприятия должны быть согласованы с архитектурой, чтобы обеспечить распределение ресурсов и управление ими, что на практике обеспечивает наилучшую возможную поддержку для достижения успешного результата.

Изложенное позволило отчасти формализовать подходы для исследования существующих представлений системы с общими принципами эффективной архитектуры MBSE.

Авторы пришли к заключению, что накопление сведений об объекте исследования, с учетом регистрации новых составляющих, взаимосвязей и зависимостей даст возможность получить проекции последовательных состояний (прототипов) развивающейся системы – Стратегии.

Внедрение принципов, инструментов и методологий непрерывного совершенствования в среде, основанной на моделях, помогает создать эталонную архитектуру для потоков с цифровым отслеживанием, которые можно использовать для устранения узких мест функциональности, дефектов и ошибок, угрожающих успешному выполнению программ и проектов на любом уровне.

Информация о конфликте интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Список литературы

1. Акофф, Р. *Акофф о менеджменте* / пер. с англ.; под ред. Л. А. Волковой. Санкт-Петербург: Питер, 2002.
2. Ахохова, А. В., Тхабисимова, И. К., Улимбашева, Э. С., & Тлупова, М. В. (2024). Перспективы практического применения функционального прототипирования при реализации региональных проектов в здравоохранении с

точки зрения фрактальности. Часть 2. *Менеджмент качества в медицине*, (3), 96–101. EDN: https://elibrary.ru/HERFYQ

3. Ахохова, А. В., Пшукова, А. А., Тлупова, М. В. и др. (2025). Общеметодологические представления Стратегии антинаркотической политики в отрасли здравоохранения с позиции закономерностей системного подхода. *Менеджер здравоохранения*, (3), 25–41. https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-3-25-41. EDN: https://elibrary.ru/GTWXPU
4. Барнхарт, Э. (2016). *Чем подход, основанный на документах, отличается от случая, основанного на моделях*. URL: http://vmcse.com/2016/03/20/document-based-is-not-model-based/
5. Бабин, И. С. (2020). Антинаркотическая функция российского государства как средство реализации государственной антинаркотической политики. *Молодой учёный*, 42(332), 168–169. URL: https://moluch.ru/archive/332/74201/ (дата обращения: 04.01.2025). EDN: https://elibrary.ru/MTLLCS
6. Беляева, М. А. *Моделирование систем: конспект лекций: в 2 ч., ч. 1*. Москва: МГУП имени Ивана Фёдорова, 188 с.
7. Богданов, А. А. *Тектология (Всеобщая организационная наука): в 3 т.* Москва: Экономика, 1989.
8. Буеде, Д. М., & Миллер, У. Д. (2016). *Инженерное проектирование систем: модели и методы* (3-е изд.). Хобокен, Нью-Джерси: Уайли.
9. Волкова, В. Н., & Денисов, А. А. *Теория систем и системный анализ: учебник для вузов*. Москва: Юрайт, 2023. 562 с.
10. Волкова, В. Н., & Денисов, А. А. *Основы теории систем и системного анализа: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Системный анализ и управление»*. Санкт-Петербург: СПбГТУ, 1997. 510 с.
11. Волкова, В. Н., Лисиенко, В. Г., Трофимова, О. Г., Трофимов, С. П., Дружинина, Н. Г., & Дюгай, П. А. *Моделирование сложных вероятностных систем: учебное пособие*. Екатеринбург: УРФУ, 2011. 200 с.
12. Волкова, В. Н., & Козлов, В. Н. *Системный анализ и принятие решений: словарь-справочник: учебное пособие для вузов*. Москва: Высшая школа, 2004. ISBN: 5-06-004875-6. EDN: https://elibrary.ru/QQFSQN
13. Лисиенко, В. Г., Трофимова, О. Г., Трофимов, С. П., Дружинина, Н. Г., & Дюгай, П. А. *Моделирование сложных вероятностных систем: учебное пособие*. Екатеринбург: УРФУ, 2011. 200 с.
14. Матюшкина, И. А., & Ильюшина, А. С. (2024). Сущность, структура и особенности управления системой здравоохранения в РФ. *Экономика. Социология. Право*, 2(34), 17–24. https://doi.org/10.22281/2542-1697-2024-03-02-17-24. EDN: https://elibrary.ru/BUNXUF (дата обращения: 03.01.2025)

15. Мальков, С. М. (2021). Стратегия государственной антинаркотической политики Российской Федерации на период до 2030 года: характеристика, тенденции, недостатки. *Вестник Сибирского юридического института МВД России*, 1(42), 51–56. https://doi.org/10.51980/2542-1735_2021_1_51. EDN: https://elibrary.ru/AJQQIX (дата обращения: 04.01.2025)
16. *Постановление Правительства КБР от 31 августа 2020 года № 191-ПП «О государственной программе Кабардино-Балкарской Республики „Профилактика правонарушений и укрепление общественного порядка и общественной безопасности в Кабардино-Балкарской Республике“»*. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0700202009070004
17. *Постановление Правительства Кабардино-Балкарской Республики от 14 марта 2022 г. № 53-ПП «О внесении изменений в государственную программу Кабардино-Балкарской Республики „Профилактика правонарушений и укрепление общественного порядка и общественной безопасности в Кабардино-Балкарской Республике“»*. URL: https://pravitelstvo.kbr.ru/documents/postanovleniya/?PAGEN_1=3
18. *Приказ Министерства здравоохранения Кабардино-Балкарской Республики от 20 апреля 2022 года № 175-П «Об организации работы по исполнению Перечня приоритетных направлений по реализации в Кабардино-Балкарской Республике Стратегии государственной антинаркотической политики Российской Федерации на период до 2030 года и Плана мероприятий… на период до 2030 года»*. URL: https://docs.cntd.ru/document/406041378/titles/37BD4QH
19. Рамбо, Дж., & Блаха, М. *UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка* (2-е изд.). Санкт-Петербург: Питер, 2007.
20. *Стратегия государственной антинаркотической политики Российской Федерации на период до 2030 года: Указ Президента Российской Федерации от 23 ноября 2020 г. № 733*. URL: https://base.garant.ru/74938781/
21. Садовский, В. Н., & Юдин, Э. Г. *Исследования по общей теории систем: сборник переводов* / под ред. Москва: Прогресс, 1969.
22. Семёнова, К. А. (2024). Сравнительный анализ методик структуризации целей и функций систем управления. В *XIV Всероссийское совещание по проблемам управления: сборник научных трудов, Москва, 17–20 июня 2024 года* (с. 3841–3845). Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. EDN: https://elibrary.ru/IHRECA
23. *Системная инженерия на основе моделей (MBSE) (INCOSE)* (2007). URL: https://www.sebokwiki.org/wiki/Системная_инженерия_на_основе_моделей_(MBSE)_(глоссарий)

24. Темников, Ф. Е., & Волкова, В. Н. (1978). Подход к выбору метода формализованного представления системы. В *Моделирование сложных систем* (с. 38–40). Москва: МДНТП.
25. Уёмов, А. И. *Системный подход и общая теория систем*. Москва: Наука, 1972. 15 с.
26. Фролова, М. С., & Фролов, С. В. (2016). Объектно-ориентированная декомпозиция информационной модели изделий медицинской техники. *Ползуновский альманах*, (2), 112–116. EDN: https://elibrary.ru/XHVZTT
27. Borky, J. M., & Bradley, T. H. (2019). *Effective Model-Based Systems Engineering*. 787 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95669-5
28. Koestler, A. (1969). Beyond atomism and holism. In *Beyond Reductionism* (p. 197). London.
29. Long, D. (2024). *GENESYS Key Concepts*. URL: https://www.zuken.com/en/vitech-is-now-zuken/#:~:text=SDL%20is%20a%20formal%2C%20structured,of%20specifications%20using%20this%20language

References

1. Ackoff, R. *Ackoff on Management* / Translated from English; Ed. by L.A. Volkova. St. Petersburg: Piter, 2002
2. Akhokhova, A. V., Tkhabisimova, I. K., Ulimbasheva, E. S., & Tlupova, M. V. (2024). Prospects for practical application of functional prototyping in the implementation of regional healthcare projects from the perspective of fractality. Part 2. *Quality Management in Medicine*, *(3)*, 96–101. EDN: https://elibrary.ru/HERFYQ
3. Akhokhova, A. V., Pshukova, A. A., Tlupova, M. V., et al. (2025). General methodological concepts of the anti-drug policy strategy in the healthcare sector from the perspective of systemic approach patterns. *Health Manager*, *(3)*, 25–41. https://doi.org/10.21045/1811-0185-2025-3-25-41. EDN: https://elibrary.ru/GTWXPU
4. Barnhart, E. (2016). *How a document-based approach differs from a model-based case*. URL: http://vmcse.com/2016/03/20/document-based-is-not-model-based/
5. Babin, I. S. (2020). Anti-drug function of the Russian state as a means of implementing the state antidrug policy. *Young Scientist*, *42*(332), 168–169. URL: https://moluch.ru/archive/332/74201/ (accessed: 04.01.2025). EDN: https://elibrary.ru/MTLLCS
6. Belyaeva, M. A. *System Modeling: Lecture Notes: In 2 Parts, Part 1*. Moscow: MGUP named after Ivan Fedorov, 188 p.

7. Bogdanov, A. A. *Tektology (General Organizational Science): In 3 Volumes*. Moscow: Ekonomika, 1989
8. Buede, D. M., & Miller, W. D. (2016). *Systems Engineering: Models and Methods* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley
9. Volkova, V. N., & Denisov, A. A. *Systems Theory and System Analysis: Textbook for Universities*. Moscow: Yurayt, 2023. 562 p.
10. Volkova, V. N., & Denisov, A. A. *Fundamentals of Systems Theory and System Analysis: Textbook for University Students in "Systems Analysis and Management"*. St. Petersburg: SPbSTU, 1997. 510 p.
11. Volkova, V. N., Lisienko, V. G., Trofimova, O. G., Trofimov, S. P., Druzhinina, N. G., & Dyugay, P. A. *Modeling Complex Probabilistic Systems: Study Guide*. Yekaterinburg: UrFU, 2011. 200 p.
12. Volkova, V. N., & Kozlov, V. N. *Systems Analysis and Decision Making: Dictionary-Handbook: Study Guide for Universities*. Moscow: Vysshaya Shkola, 2004. ISBN: 5-06-004875-6. EDN: https://elibrary.ru/QQFSQN
13. Lisienko, V. G., Trofimova, O. G., Trofimov, S. P., Druzhinina, N. G., & Dyugay, P. A. *Modeling Complex Probabilistic Systems: Study Guide*. Yekaterinburg: UrFU, 2011. 200 p.
14. Matyushkina, I. A., & Ilyushina, A. S. (2024). Essence, structure and features of healthcare system management in the Russian Federation. *Economics. Sociology. Law*, *2*(34), 17–24. https://doi.org/10.22281/2542-1697-2024-03-02-17-24. EDN: https://elibrary.ru/BUNXUF (accessed: 03.01.2025)
15. Malkov, S. M. (2021). Strategy of the state antidrug policy of the Russian Federation for the period up to 2030: characteristics, trends, shortcomings. *Bulletin of the Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, *1*(42), 51–56. https://doi.org/10.51980/2542-1735_2021_1_51. EDN: https://elibrary.ru/AJQQIX (accessed: 04.01.2025)
16. Decree of the Government of the Kabardino-Balkarian Republic dated August 31, 2020 No. 191-PP *On the State Program of the Kabardino-Balkarian Republic "Prevention of Offenses and Strengthening Public Order and Public Safety in the Kabardino-Balkarian Republic"*. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0700202009070004
17. Decree of the Government of the Kabardino-Balkarian Republic dated March 14, 2022 No. 53-PP *On Amendments to the State Program of the Kabardino-Balkarian Republic "Prevention of Offenses and Strengthening Public Order and Public Safety in the Kabardino-Balkarian Republic"*. URL: https://pravitelstvo.kbr.ru/documents/postanovleniya/?PAGEN_1=3
18. Order of the Ministry of Health of the Kabardino-Balkarian Republic dated April 20, 2022 No. 175-P *On Organizing Work to Implement the List of Priority*

Areas for Implementing the Strategy of the State Anti-Drug Policy of the Russian Federation for the Period up to 2030 and the Action Plan… for the Period up to 2030 in the Kabardino-Balkarian Republic. URL: https://docs.cntd.ru/document/406041378/titles/37BD4QH

19. Rumbaugh, J., & Blaha, M. *UML 2.0: Object-Oriented Modeling and Development* (2nd ed.). St. Petersburg: Piter, 2007
20. Strategy of the State Anti-Drug Policy of the Russian Federation for the Period up to 2030: Decree of the President of the Russian Federation dated November 23, 2020 No. 733. URL: https://base.garant.ru/74938781/
21. Sadovsky, V. N., & Yudin, E. G. *Studies in General Systems Theory: Collection of Translations* / Ed. Moscow: Progress, 1969
22. Semenova, K. A. (2024). Comparative analysis of methods for structuring goals and functions of management systems. In *XIV All-Russian Conference on Management Problems: Collection of Scientific Papers, Moscow, June 17–20, 2024* (pp. 3841–3845). Moscow: Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS. EDN: https://elibrary.ru/IHRECA
23. *Model-Based Systems Engineering (MBSE) (INCOSE)* (2007). URL: https://www.sebokwiki.org/wiki/Системная_инженерия_на_основе_моделей_(MBSE)_(глоссарий)
24. Temnikov, F. E., & Volkova, V. N. (1978). Approach to selecting a method of formalized system representation. In *Modeling of Complex Systems* (pp. 38–40). Moscow: MDNTP
25. Uyemov, A. I. *Systems Approach and General Systems Theory*. Moscow: Nauka, 1972. 15 p.
26. Frolova, M. S., & Frolov, S. V. (2016). Object-oriented decomposition of the information model of medical device products. *Polzunovsky Almanac*, *(2)*, 112–116. EDN: https://elibrary.ru/XHVZTT
27. Borky, J. M., & Bradley, T. H. (2019). *Effective Model-Based Systems Engineering*. 787 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95669-5
28. Koestler, A. (1969). Beyond atomism and holism. In *Beyond Reductionism* (p. 197). London
29. Long, D. (2024). *GENESYS Key Concepts*. URL: https://www.zuken.com/en/vitech-is-now-zuken/#:~:text=SDL%20is%20a%20formal%2C%20structured,of%20specifications%20using%20this%20language

ВКЛАД АВТОРОВ

Ахохова А.В., Тлакадугова М.Х., Билалова Ф.М.: концепция и дизайн исследования.

Кушхов А.А., Сонова А.Г., Мирзантова А.А., Хададова А.К.: сбор данных, анализ и интерпретация результатов.
Ахохова А.В., Тхагапсоева А.А., Муслимов М.Г.: обзор литературы.
Ахохова А.В., Блянихов К.А., Хасанова К.К.: подготовка проекта рукописи.
Все авторы рассмотрели результаты и одобрили окончательный вариант рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Azis V. Akhokhova, Madina Kh. Tlakadugova, Fatima M. Bilalova: concept and design of the study.
Amirkhan A. Kushkhov, Alina G. Sonova, Alina All. Mirzantova, Albina K. Khadadova: data collection, analysis and interpretation of results.
Azis V. Akhokhova, Arada A. Tkhagapsoyeva, Makhmud G. Muslimov: literature review.
Azis V. Akhokhova, Kantemir A. Blyanikhov, Kamila K. Khasanova: preparation of the draft manuscript.
All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ахохова Азис Владимировна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и профилактической медицины; заместитель главного врача
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова; ООО Фирма «СЭМ»; ГБУЗ «Республиканский клинический центр психиатрии и наркологии»
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация; ул. Головко, 7а, г. Нальчик, 360017, Российская Федерация; ул. Налоева, 15, г. Нальчик, 360032, Российская Федерация
aza_stih@mail.ru

Тлакадугова Мадина Хажисмеловна, заведующая кафедрой нормальной и патологической анатомии человека
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
tla-madina@yandex.ru

Кушхов Амирхан Артурович, студент
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
shey20135@bk.ru

Сонова Алина Гумаровна, студентка
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
alinasonova228@gmail.com

Тхагапсоева Арада Аслановна, студентка
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
tkhagapsoyeva.arada@mail.ru

Блянихов Кантемир Асланович, студент
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
Panama-ME@yandex.ru

Мирзантова Алина Аллахбердиевна, ординатор
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
mirzantovaalina@gmail.com

Муслимов Махмуд Газиевич, студент
Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик, 360004, Российская Федерация
ceneb05@gmail.com

Хададова Альбина Курбановна, студентка
ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)

ул. Островитянова, 1, г. Москва, 117513, Российская Федерация
Khadadova@inbox.ru

Хасанова Камила Казбековна, студентка
ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)
ул. Островитянова, 1, г. Москва, 117513, Российская Федерация
mar.has1977@mail.ru

Билалова Фатима Магомедовна, студентка
ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)
ул. Островитянова, 1, г. Москва, 117513, Российская Федерация
fatimka2002@icloud.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Azis V. Akhokhova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Public Health, Healthcare and Preventive Medicine; Deputy Chief Physician
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov; SEM Firm LLC; Republican Clinical Center of Psychiatry and Narcology
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation; 7a, Golovko Str., Nalchik, 360017, Russian Federation; 15, Naloeva Str., Nalchik, 360032, Russian Federation
aza_stih@mail.ru

Madina Kh. Tlakadugova, Head of the Department of Normal and Pathological Human Anatomy
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
tla-madina@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1329-6085

Amirkhan A. Kushkhov, student
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
shey20135@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5430-2270

Alina G. Sonova, student
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
alinasonova228@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-5737-5489

Arada A. Tkhagapsoyeva, student
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
tkhagapsoyeva.arada@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-3238-9942

Kantemir A. Blyanikhov, student
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
Panama-ME@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-1319-7415

Alina A. Mirzantova, resident
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
mirzantovaalina@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-0222-474X

Makhmud G. Muslimov, student
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov
173, Chernyshevsky Str., Nalchik, 360004, Russian Federation
ceneb05@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-1361-3442

Albina K. Khadadova, student
Pirogov Russian National Research Medical University
1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117513, Russian Federation
Khadadova@inbox.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4303-7281

Kamila K. Khasanova, student
Pirogov Russian National Research Medical University
1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117513, Russian Federation

mar.has1977@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-6227-1107

Fatima M. Bilalova, student
Pirogov Russian National Research Medical University
1, Ostrovityanova Str., Moscow, 117513, Russian Federation
fatimka2002@icloud.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0643-8641

Поступила 10.04.2025
После рецензирования 01.06.2025
Принята 23.06.2025

Received 10.04.2025
Revised 01.06.2025
Accepted 23.06.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1320 **EDN: UKTICM**
УДК 159.9.07:378.665.62 (571.14)

CC BY NC ND

Научная статья

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОНСТИТУЦИИ

Е.В. Климова, М.А. Суботялов, И.В. Григорьев, А.А. Мазенков

Аннотация

Обоснование. В данной работе представлена проблема влияния различных типов конституции студентов транспортного ВУЗа на социально-психологическую адаптацию. Важность рассмотрения данной проблемы определяется тем, что многие студенты при поступлении сталкиваются с различными социальными барьерами.

Цель исследования – изучение показателей социально-психологической адаптации студентов Сибирского государственного университета путей сообщения в зависимости от типа конституции.

Материалы и методы. Интервьюирование студентов в возрасте 18-19 лет с использованием «Методики оценки уровня социально-психологической адаптации», предложенной А.К. Осницким.

Результаты. Установлено, что для студентов-астеников характерны более высокие показатели по шкалам «Самопринятие» и «Эмоциональный комфорт», это характеризует их, как легко приспосабливающихся и удовлетворенных своими личностными качествами. Для студентов-нормостеников – более высокие показатели по шкале «Непринятие других» вкупе с тенденцией к более высоким показателям шкалы «Стремление к доминированию», это показывает, что они лидеры и пытаются решать личные проблемы за счет других. Определено, что студенты-гиперстеники имеют низкий уровень «адаптации», высокий «эмоциональный дискомфорт», это подтверждает повышенную потребность в похвале, формировании чувства уверенности и успешности, они нуждаются во внешнем контроле и поддержке.

Заключение. Среди студентов транспортного вуза с разными типом конституции выявлены разные уровни социально-психологической адаптации,

полученные данные необходимы для организации профилактических мероприятий, направленных на формирование мотивационного потенциала к обучению и профессиональных навыка для дальнейшей работы по профессии.

Ключевые слова: транспортный вуз; студенты; социально-психологическая адаптация; профессиональная подготовка; адаптация к новым условиям; мотивация; типы конституции; физиологические характеристики

Для цитирования. Климова, Е. В., Суботялов, М. А., Григорьев, И. В., & Мазенков, А. А. (2025). Социально-психологическая адаптация студентов транспортного вуза в зависимости от типа конституции. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 417-431. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1320

Original article

SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL ADAPTATION OF TRANSPORT UNIVERSITY STUDENTS DEPENDING ON THE CONSTITUTION TYPE

E.V. Klimova, M.A. Subotyalov, I.V. Grigoryev, A.A. Mazenkov

Abstract

Background. This paper presents the problem of the influence of various types of constitution of students of a transport university on socio-psychological adaptation. The importance of considering this issue is determined by the fact that many students face various social barriers when applying.

The **purpose** of the study is to study the indicators of socio-psychological adaptation of students of the Siberian State University of Railways, depending on the type of constitution.

Materials and methods. Interviewing students aged 18-19 using the "Methodology for assessing the level of socio-psychological adaptation" proposed by A.K. Osnitsky.

Results. It has been established that asthenic students are characterized by higher scores on the scales of "Self-acceptance" and "Emotional comfort", which characterizes them as adaptable and satisfied with their personal qualities. For normosthenic students, higher scores on the "Rejection of Others" scale, coupled with a tendency to higher scores on the "Striving for Dominance" scale, show that they

are leaders and are trying to solve personal problems at the expense of others. It is determined that hypersthenic students have a low level of "adaptation", high "emotional discomfort", this confirms an increased need for praise, the formation of a sense of confidence and success, they need external control and support.

Conclusion. Among students of a transport university with different types of constitution, different levels of socio-psychological adaptation have been identified, and the data obtained are necessary for organizing preventive measures aimed at developing motivational potential for learning and professional skills for further work in the profession.

Keywords: transport university; students; socio-psychological adaptation; vocational training; adaptation to new conditions; motivation; types of constitution; physiological characteristics

For citation. Klimova, E. V., Subotyalov, M. A., Grigoryev, I. V., & Mazenkov, A. A. (2025). Social and psychological adaptation of transport university students depending on the constitution type. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 417-431. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1320

Введение

Проблема адаптации студентов особенно важна на сегодняшний день. Актуальность темы обуславливается несколькими причинами. Во-первых, с каждым годом на рынке труда повышается спрос на квалифицированных специалистов, а показатели социальной мобильности и профессиональной компетентности будущих выпускников высшего профессионального образования не отличаются высокими показателями. Во-вторых, существует необходимость более глубокого исследования адаптации студентов именно младших курсов, поскольку успех их подготовки к профессиональной сфере определяется скоростью адаптации к новой для них студенческой среде [3].

Для современного общества характерны такие характеристики, как быстрый темп развития и информационная насыщенность. В связи с этим увеличились требования к будущим специалистам, которым необходимо быть более конкурентноспособными и готовыми к социальной и профессиональной деятельности. По этим причинам образование в ВУЗах можно характеризовать как деятельность, сопряженную с высоким уровнем психических и физических нагрузок [4].

Неотъемлемой частью адаптации студентов является перестройка под новые социальные условия, установление взаимоотношений с новым для них коллективом, усвоением норм и ценностей группы. Успешность данной адаптации напрямую связана с успешностью становления студентов в

профессиональной сфере по окончании ВУЗа, поскольку профессиональная деятельность предполагает прохождение аналогичной адаптации, но уже в профессиональном коллективе [4; 9].

Профессия железнодорожника сопряжена с высоким уровнем ответственности. Специфичность профессии обуславливает особые требования к личности специалиста. Весь процесс функционирования железных дорог, таким образом, зависит не только от технических показателей оборудования, но и от профессиональных и личностных характеристик рабочего персонала. Социальные и психологические факторы сказываются на активности и эффективности деятельности студентов, а также могут повлечь за собой снижение уровня социально-психологической адаптации студентов [11; 17; 18].

Период студенчества является важным этапом в жизни человека как будущего специалиста, когда закладываются основные социогенные потенции личности [1; 14]. Для выявления особенностей уровня социально-психологической адаптации необходимо изучить индивидуально-типологические характеристики студентов [15; 19; 20].

Одним из важнейших проявлений таких особенностей является конституция человека [21; 23].

Конституция тела человека представляет собой совокупность физических и физиологических характеристик человека, таких как телосложение, здоровье и предрасположенность к различным заболеваниям [22]. Каждый выделенный тип конституции влияет на формирование личности индивида [6].

Цель исследования – изучение показателей социально-психологической адаптации студентов Сибирского государственного университета путей сообщения в зависимости от типа конституции.

Материалы и методы

Обследовано 119 здоровых студентов Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС) мужского пола.

Обследуемые были разделены на три группы в зависимости от типа конституции: астеники (А), нормостеники (Н), гиперстеники (Г). Индекс Пинье (ИП) служил для оценки типа конституции по М.В. Черноруцкому: ИП=ДТ–(МТ+ОГК), где ДТ – длина тела, МТ – масса тела, ОГК – обхват грудной клетки. Юноши, имеющие ИП более 30, были отнесены к астеническому типу конституции (А), при ИП от 10 до 30 – к нормостеническому типу (Н) и при ИП менее 10 – к гиперстеническому типу (Г) [13].

Для изучения уровня социально-психологической адаптации, применялась методика предложенна А.К. Осницким. Эта методика была изначально разработана американскими психологами К. Роджерсом и Р. Даймондом в 1954 г. и позднее адаптирована к российскому менталитету А.К. Осницким [2; 7]. Данный личностный опросник предназначен для анализа особенностей социально-психологической адаптации и связанных с ней личностных характеристик.

Отбор обследуемых проводился сплошной выборкой после получения согласия на участие в исследовании. Полученный материал обработан общепринятыми методами статистики. Статистическая обработка данных включала вычисление среднеарифметического значения, его ошибки. О значимости различий судили по величине t-критерия Стьюдента и считали их значимыми при $p \leq 0,05$. Нормальное распределение подтверждали правилом трёх сигм [8; 12].

Результаты исследования и их обсуждения

Показатели социально-психологической адаптации (СПА) определяют уровень адаптированности-дезадаптированности респондента. Устанавливается специфика приспособления индивида в группе, взаимоотношения в ней, а также сформированный человеком стиль поведения [16].

Согласно полученным результатам, между обследуемыми студентами в зависимости от типа конституции мы не выявили достоверных отличий по следующим изученным показателям: «лживость», «приятие себя», «внутренний контроль», «эскапизм» (таблица 1). При анализе результатов на основе интерпретации по А.К. Осницкому [7] было выяснено, что показатель «Адаптивность» у студентов-астеников был достоверно выше в сравнении со студентами-гиперстениками. Низкие показатели уровня адаптивности студентов-гиперстеников может быть результатом повышенного психоэмоционального напряжения из-за переживания нового периода жизни – поступления в ВУЗ. Уровень «Дезадаптивности» гиперстеников был достоверно выше по сравнению с астениками, что может свидетельствовать о дисгармонии в сфере принятия решений, которая является результатом постоянных безуспешных попыток индивида реализовать свою цель.

Шкала «Неприятие себя» показывает особенности личностной неудовлетворённости своими индивидуальными особенностями. Этот показатель достоверно выше у студентов-нормостеников и гиперстеников в сравнении со студентами-астениками.

Уровень личностной потребности в общении и сотрудничестве можно оценить по показателю «Приятие других». Данный параметр был выше у

астеников по сравнению с другими группами. Нами отмечены достоверно высокие показатели «Неприятия других» у студентов-нормостеников и гиперстеников по сравнению со студентами-астениками. Такие показатели могут быть следствием того, что студентам с гиперстеническим и нормостеническим типом конституции в большей степени присущи следующие показатели: более отрицательное отношение к людям, присутствие защитных реакций, повышенная раздражительность, ожидание негативного отношения к себе, вследствие чего они более агрессивны и менее гибки в общении.

Таблица 1.

Показатели социально-психологической адаптации студентов по А.К. Осницкому в зависимости от типа конституции

Показатели социально-психологическойадаптации по А.К. Осницкому	Конституциональные типы			Значимость различий
	А	Н	Г	
Адаптивность	102,6±5,7	100,9±2,8	92,5±2,8	Н-Г*
Дезадаптивность	91,8±5,2	108,8±2,3	113,6±2,1	А-Н* А-Г**
Лживость	15,6±0,9	16,5±0,6	17,0±0,8	
Правдивость	10,3±0,7	10,6±0,4	8,7±0,4	Н-Г*
Приятие себя	31,5±2,0	31,1±1,1	28,3±0,9	
Неприятие себя	16,5±1,4	19,9±0,7	21,7±0,6	А-Н* А-Г** Н-Г*
Приятие других	19,6±0,9	18,2±0,5	17,4±0,5	А-Н* А-Г*
Неприятие других	16,7±1,2	20,1±0,7	20,2±0,7	А-Н** А-Г*
Эмоциональный комфорт	15,6±1,1	15,4±0,6	13,0±0,7	Н-Г*
Эмоциональный дискомфорт	17,4±1,3	21,4±0,8	21,2±0,7	А-Н** А-Г*
Внутренний контроль	37,5±1,7	38,4±1,1	35,8±1,1	
Внешний контроль	25,3±1,5	28,9±0,7	30,4±0,6	А-Н* А-Г*
Доминирование	6,9±0,6	7,5±0,4	6,2±0,4	Н-Г*
Ведомость	16,0±0,6	18,2±0,5	18,7±0,6	А-Н*** А-Г*
Эскапизм (уход от проблем)	12,8±0,9	13,9±0,4	14,4±0,5	

Примечание А – астеники, Н – нормостеники, Г – гиперстеники.
Различия значимы при * $p \leq 0,05$; ** при $p \leq 0,01$; *** при $p \leq 0,001$.

Показатель «Внутренний контроль» не имеет достоверных отличий у студентов в зависимости от типа конституции. Показатель «Внешний контроль» достоверно более выражен у студентов-нормостеников и гиперстеников. Следует отметить, что студенты, имеющие нормостенический и гиперстенический тип конституции, нуждаются в большем контроле со стороны – родителей, кураторов групп, педагогов.

У студентов-нормостеников достоверно выше показатель «Доминирование» по сравнению со студентами-гиперстениками, что свидетельствует о стремлении к лидерству, к решению личностных вопросов за счет других.

Показатель «Ведомость» был значительно ниже у астеников по сравнению с гиперстениками, можно предположить, что гиперстеники с большей вероятностью будут подчинены выполнению поставленных задач и вопросов.

В таблице 2 представлены результаты интегральных показателей социально-психологической адаптации студентов в соответствии с типом их конституции. Данная методика с научной точки зрения позволяет оценить «Адаптацию» в динамике совершенствования личности [10]. Гиперстеники имеют самый низкий уровень «Адаптации» по сравнению с другими группами, что может свидетельствовать об изменении прежних стереотипов, в результате чего это может привести к низкой успеваемости и трудностям в общении. Показатели по шкале «Самопринятия» достоверно выше у студентов-астеников по сравнению со студентами-гиперстениками – 64,4±2,5 и 56,2±1,1 соответственно. Такие результаты могут говорить о том, что астеники более реалистично оценивают свои способности и внутренние данные, а также более лояльны к своим психологическим комплексам и стремятся их принять. Самопринятие, несомненно, отражается на общем настроении человека – оно способствует возникновению большего количества положительных эмоций. Эти показатели взаимозависимы с показателем «Эмоциональный комфорт». Данный параметр был выше у астеников по сравнению с гиперстениками, что свидетельствует о склонности к формированию негативных эмоций у студентов-гиперстеников.

Таблица 2.

Интегральные показатели социально-психологической адаптации студентов по А.К. Осницкому в зависимости от типа конституции

Интегральные показатели социально-психологической адаптации по А.К. Осницкому	Конституциональные типы			Значимость различий
	А	Н	Г	
Адаптация	52,6±2,5	48,1±0,9	44,6±0,5	А-Г**Н-Г*
Самопринятие	64,4±2,5	60,3±1,3	56,2±1,1	А-Г* Н-Г*
Приятие других	58,7±2,4	52,5±1,1	52,1±1,0	А-Н* А-Г*
Эмоциональная комфортность	48,1±3,1	41,1±1,5	37,2±1,3	А-Г**
Интернальность	52,7±2,8	48,9±1,2	45,2±0,8	А-Г* Н-Г*
Стремление к доминированию	43,2±2,9	42,9±1,8	37,4±2,3	

Примечание А – астеники, Н – нормостеники, Г – гиперстеники.
Различия значимы при * $p \leq 0,05$; ** при $p \leq 0,01$; *** при $p \leq 0,001$.

Интегральный показатель «Приятие других» выше у астеников по сравнению с другими группами, что означает принятие людей, одобрение их жизни и отношения к себе в целом.

Интернальность – это внутренний контроль, при котором человек сам несет ответственность за все события в своей жизни (как хорошие, так и плохие). Этот показатель был выше у астеников по сравнению с другими группами, что позволяет говорить о том, что астеники более ответственны, считают, что происходящие с ними события являются результатом их деятельности.

Мы предполагаем, что детальное изучения студентов транспортного вуза в зависимости от типа конституции ещё в период подготовки к профессиональной деятельности поможет определить слабые стороны каждого типа и составить план целенаправленного развития слабых качеств для соответствующего типа конституции.

Заключение

В результате исследования социально-психологической адаптации студентов транспортного ВУЗа сформирован социально-психологические портрет в зависимости от типа конституции.

1. Исследование показателей социально-психологической адаптации показало, что студенты-астеники СГУПСа обладают высоким уровнем адаптивности и самопринятия и низким уровнем самоотрицания и эмоционального дискомфорта, что характеризует их, как адаптируемых и удовлетворенных своими личностными особенностями.

2. При анализе результатов показателей социально-психологической адаптации студентов-нормостеников СГУПСа было выявлено, что для данного типа конституции характерен высокий уровень самоотрицания и эмоционального дискомфорта, который проявляется в более высоких показателях раздражительности и агрессивности, выраженной критичности во взаимоотношениях. Для данного типа характерна склонность к доминированию.

3. Результаты исследования показателей социально-психологической адаптации показали, что студенты-гиперстеники СГУПСа обладают высокой потребностью во внешнем контроле вкупе с высокой личностной тревожностью и эмоциональным дискомфортом. Данный тип имеет повышенную потребность в похвале, формировании чувства уверенности и успеха, возникающего под влиянием внешних сил (потребность в одобрении со стороны авторитетных для человека лиц).

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Ананьев, Б. Г. *Избранные психологические труды: в 2 т.* Москва: Педагогика, 1980.
2. Фетискин, Н. П., Козлов, В. В., & Мануйлов, Г. М. (2002). Диагностика социально-психологической адаптации (К. Роджерс, Р. Даймонд). В *Социально-психологическая диагностика развития личности и малых групп* (с. 193–197). Москва: Издательство Института Психотерапии.
3. Долгова, В. П., Кондратьева, О. А., & Нижегородцева, Е. С. (2015). Исследование адаптации первокурсников к обучению в университете. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*, Т31, 66–70.
4. Дерягина, Л. Е., & Булатецкий, С. В. (2021). Особенности социально-психологической и физиологической адаптации курсантов вуза МВД к условиям служебной деятельности. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(3), 193–207. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-193-207. EDN: https://elibrary.ru/YJZWVU
5. Климова, Е. В., & Мухаметова, О. В. (2024). Мотивация студентов к сохранению здоровья в процессе получения образования. *Физическая культура. Спорт. Здоровье*, (1), 118–126. EDN: https://elibrary.ru/NUJKDF
6. Козлова, А. П., & Суботялов, М. А. (2021). Морфофункциональные особенности мальчиков в зависимости от соматотипа. *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, *7*(73)(1), 75–82. EDN: https://elibrary.ru/WSWWGI
7. Осницкий, А. К. (2004). Определение характеристик социальной адаптации. *Психология и школа*, (1), 43–56.
8. Перевозкина, Ю. М., & Перевозкин, С. Б. *Основы математической статистики в психолого-педагогических исследованиях: учебное пособие. Ч. 2*. Новосибирск: Издательство НГПУ, 2014. 242 с.
9. Прима, О. С., Головин, М. С., & Суботялов, М. А. (2022). Социально-психологическая адаптация подростков-хоккеистов в зависимости от спортивного амплуа. *Физическое воспитание и спортивная тренировка*, (3(41)), 87–93. EDN: https://elibrary.ru/LDSRAQ
10. Роджерс, К. *Клиент-центрированная психотерапия: теория, современная практика и применение*. Москва: Психотерапия, 2007. 560 с.

11. Росляков, А. Е. (2003). Процесс адаптации студентов в условиях вуза. *Человеческий фактор: проблемы психологии и эргономики*, (1(22)), 17–18. EDN: https://elibrary.ru/VCBYIX
12. Русаков, А. А., & Богатырёв, Ю. И. *Методы математической статистики и анализ данных на персональном компьютере: учебное пособие*. Тула: Тульский государственный педагогический университет, 2005. 144 с. EDN: https://elibrary.ru/RDOVVD
13. Снегирёва, Т. В. (1987). Методика изучения особенностей личностной саморегуляции. В И. В. Дубровина (ред.), *Диагностическая и коррекционная работа школьного психолога* (с. 178). Москва: Сборник трудов АПН СССР.
14. Соловьёва, Е. В. (2019). Адаптация студентов-первокурсников в новой образовательной среде как предмет психологического консультирования. *Russian Journal of Education and Psychology*, *10*(6), 24–31. EDN: https://elibrary.ru/MAXWQJ
15. Суботялов, М. А., & Орлова, Р. А. (2020). Психологические особенности юношей Новосибирска в зависимости от типа конституции. *Мир науки. Педагогика и психология*, (3), 75. EDN: https://elibrary.ru/WARIYX
16. Хаустова, А. И. (2016). Социально-психологическая адаптация. *Молодой учёный*, (26(130)), 614–617. EDN: https://elibrary.ru/XCIAYR
17. Babina, A., Berezuev, E., Artamonova, M., & Utusikov, S. (2022). Socio-psychological adaptation of students when choosing the direction of general physical training in the educational and training process. *Nuances: Estudos sobre Educação*, (33(00)), e022025. https://doi.org/10.32930/nuances.v33i00.9747. EDN: https://elibrary.ru/BYFDTR
18. Beluzhenko, O., Volyanik, S., Kuren', S., Savenkova, M., Shishiyanu, D., & Koroleva, A. (2022). Social and psychological attitudes of transport university students: gender study. *Transportation Research Procedia*, (63), 479–485. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.038. EDN: https://elibrary.ru/QJPDJT
19. Guillén Rivas, L., Mielgo-Ayuso, J., Norte-Navarro, A., Cejuela, R., Cabañas, M. D., & Martínez-Sanz, J. M. (2015). Composición corporal y somatotipo en triatletas universitarios [Body composition and somatotype in university triathletes]. *Nutrición Hospitalaria*, (32(2)), 799–807 (на испанском). https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.2.9142
20. Jaiswal, K. N., Talwar, A., Vayyat, S., & Bade, G. G. (2024). Effect of somatotypes on lung volumes, capacities and respiratory impedance: a pilot study. *Lung India*, (41(1)), 3–10. https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia_230_23. EDN: https://elibrary.ru/JVICOR
21. Tapia, L. U., Lizana, P. A., Orellana, Y. Z., Villagrán, F. S., Arias, V. F., Almagià, A. F., Burrows, R. A., & Ivanovic, D. M. (2013). Somatotype and intellectual abil-

ity (Raven Progressive Matrices Test) in Chilean school-age children. *Nutrición Hospitalaria*, (28(5)), 1552–1557. https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6735
22. Tatarczuk, J., Asienkiewicz, R., & Wandycz, A. (2022). Somatotypological structure of university students in the sex groups of equal body heights. *Anthropologischer Anzeiger*, *79*(1), 11–22. PMID: 34350933. https://doi.org/10.1127/anthranz/2021/1310. EDN: https://elibrary.ru/YMXJZW
23. Valdés-Badilla, P., Salvador Soler, N., Godoy-Cumillaf, A., Carmona-López, M. I., Fernández, J. J., & Durán-Agüero, S. (2015). Somatotipo, estado nutricional y nivel de glucemia de estudiantes de física [Somatotype, nutritional status and blood glucose level of physical education students]. *Nutrición Hospitalaria*, *32*(3), 1261–1266 (на испанском). https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9402

References

1. Ananiev, B. G. *Selected Psychological Works: In 2 Volumes*. Moscow: Pedagogika, 1980
2. Fetiskin, N. P., Kozlov, V. V., & Manuilov, G. M. (2002). Diagnosis of socio-psychological adaptation (C. Rogers, R. Diamond). In *Socio-Psychological Diagnostics of Personality and Small Group Development* (pp. 193–197). Moscow: Publishing House of the Institute of Psychotherapy
3. Dolgova, V. P., Kondratieva, O. A., & Nizhegorodtseva, E. S. (2015). Study of first-year students' adaptation to university studies. *Scientific and Methodological Electronic Journal "Koncept"*, *Vol. 31*, 66–70
4. Deryagina, L. E., & Bulatetsky, S. V. (2021). Features of socio-psychological and physiological adaptation of cadets of the Ministry of Internal Affairs university to service conditions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *13*(3), 193–207. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-3-193-207. EDN: https://elibrary.ru/YJZWVU
5. Klimova, E. V., & Mukhametova, O. V. (2024). Students' motivation to maintain health during education. *Physical Culture. Sport. Health*, *(1)*, 118–126. EDN: https://elibrary.ru/NUJKDF
6. Kozlova, A. P., & Subotyalov, M. A. (2021). Morphofunctional characteristics of boys depending on somatotype. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, *7*(73)(1), 75–82. EDN: https://elibrary.ru/WSWWGI
7. Osnitsky, A. K. (2004). Determining characteristics of social adaptation. *Psychology and School*, *(1)*, 43–56
8. Perevozkina, Yu. M., & Perevozkin, S. B. *Fundamentals of Mathematical Statistics in Psychological and Pedagogical Research: Study Guide. Part 2*. Novosibirsk: NSPU Publishing House, 2014. 242 p.

9. Prima, O. S., Golovin, M. S., & Subotyalov, M. A. (2022). Socio-psychological adaptation of adolescent hockey players depending on sports role. *Physical Education and Sports Training*, *(3(41))*, 87–93. EDN: https://elibrary.ru/LDSRAQ
10. Rogers, C. *Client-Centered Therapy: Theory, Modern Practice and Application*. Moscow: Psikhoterapiya, 2007. 560 p.
11. Roslyakov, A. E. (2003). The process of student adaptation in university settings. *Human Factor: Problems of Psychology and Ergonomics*, *(1(22))*, 17–18. EDN: https://elibrary.ru/VCBYIX
12. Rusakov, A. A., & Bogatyrev, Yu. I. *Methods of Mathematical Statistics and Data Analysis on a Personal Computer: Study Guide*. Tula: Tula State Pedagogical University, 2005. 144 p. EDN: https://elibrary.ru/RDOVVD
13. Snegiryova, T. V. (1987). Methodology for studying features of personal self-regulation. In I.V. Dubrovina (Ed.), *Diagnostic and Correctional Work of a School Psychologist* (p. 178). Moscow: Collection of Works of the Academy of Pedagogical Sciences of the USSR
14. Solovyova, E. V. (2019). Adaptation of first-year students in a new educational environment as a subject of psychological counseling. *Russian Journal of Education and Psychology*, *10*(6), 24–31. EDN: https://elibrary.ru/MAXWQJ
15. Subotyalov, M. A., & Orlova, R. A. (2020). Psychological characteristics of young men in Novosibirsk depending on constitution type. *World of Science. Pedagogy and Psychology*, *(3)*, 75. EDN: https://elibrary.ru/WARIYX
16. Khaustova, A. I. (2016). Socio-psychological adaptation. *Young Scientist*, *(26(130))*, 614–617. EDN: https://elibrary.ru/XCIAYR
17. Babina, A., Berezuev, E., Artamonova, M., & Utusikov, S. (2022). Socio-psychological adaptation of students when choosing the direction of general physical training in the educational and training process. *Nuances: Estudos sobre Educação*, *(33(00))*, e022025. https://doi.org/10.32930/nuances.v33i00.9747. EDN: https://elibrary.ru/BYFDTR
18. Beluzhenko, O., Volyanik, S., Kuren, S., Savenkova, M., Shishiyanu, D., & Koroleva, A. (2022). Social and psychological attitudes of transport university students: gender study. *Transportation Research Procedia*, *(63)*, 479–485. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.038. EDN: https://elibrary.ru/QJPDJT
19. Guillén Rivas, L., Mielgo Ayuso, J., Norte Navarro, A., Cejuela, R., Cabañas, M. D., & Martínez Sanz, J. M. (2015). Composición corporal y somatotipo en triatletas universitarios [Body composition and somatotype in university triathletes]. *Nutrición Hospitalaria*, *(32(2))*, 799–807. https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.2.9142
20. Jaiswal, K. N., Talwar, A., Vayyat, S., & Bade, G. G. (2024). Effect of somatotypes on lung volumes, capacities and respiratory impedance: a pilot study. *Lung*

India, *(41(1))*, 3–10. https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia_230_23. EDN: https://elibrary.ru/JVICOR

21. Tapia, L. U., Lizana, P. A., Orellana, Y. Z., Villagrán, F. S., Arias, V. F., Almagià, A. F., Burrows, R. A., & Ivanovic, D. M. (2013). Somatotype and intellectual ability (Raven Progressive Matrices Test) in Chilean school age children. *Nutrición Hospitalaria*, *(28(5))*, 1552–1557. https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.5.6735
22. Tatarczuk, J., Asienkiewicz, R., & Wandycz, A. (2022). Somatotypological structure of university students in the sex groups of equal body heights. *Anthropologischer Anzeiger*, *79*(1), 11–22. PMID: 34350933. https://doi.org/10.1127/anthranz/2021/1310. EDN: https://elibrary.ru/YMXJZW
23. Valdés Badilla, P., Salvador Soler, N., Godoy Cumillaf, A., Carmona López, M. I., Fernández, J. J., & Durán Agüero, S. (2015). Somatotipo, estado nutricional y nivel de glucemia de estudiantes de física [Somatotype, nutritional status and blood glucose level of physical education students]. *Nutrición Hospitalaria*, *32*(3), 1261–1266. https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.3.9402

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Климова Елена Владимировна, к.б.н., доцент, заведующая кафедрой «Физическое воспитание и спорт»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»

ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Российская Федерация
elklim09@mail.ru

Суботялов Михаил Альбертович, д.м.н., профессор кафедры анатомии, физиологии и безопасности жизнедеятельности; доцент кафедры фундаментальной медицины

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный педагогический университет»; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

ул. Вилюйская, 28, г. Новосибирск, 630126, Российская Федерация; ул. Пирогова, 1, г. Новосибирск, 630090, Российская Федерация
subotyalov@yandex.ru

Григорьев Илья Владимирович, к.б.н., доцент кафедры нормальной физиологии и основ безопасности жизнедеятельности
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный медицинский университет»
Красный проспект, 52, г. Новосибирск, 630091, Российская Федерация
ilyag2@yandex.ru

Мазенков Алексей Алексеевич, к.п.н., доцент кафедры «Физическое воспитание и спорт»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»
ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Российская Федерация
almazenkov@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Klimova, PhD in Biology, Associate Professor, Head of the Department “Physical Education and Sport”
Siberian Transport University
191, Dusi Kovalchuk Str., Novosibirsk, 630049, Russian Federation
elklim09@mail.ru
SPIN-code: 9102-0706
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1367-236X

Mikhail A. Subotyalov, DSc in Medicine, Professor of the Department of Anatomy, Physiology and Life Safety; Associate Professor of the Fundamental Medicine Department
Novosibirsk State Pedagogical University; Novosibirsk State University
28, Vilyuyskaya Str., Novosibirsk, 630126, Russian Federation; 1, Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation
subotyalov@yandex.ru
SPIN-code: 9170-4604
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8633-1254
ResearcherID: AAH-4360-2019
Scopus Author ID: 57192715959

Ilya V. Grigoryev, PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Normal Physiology and Life Safety
Novosibirsk State Medical University
52, Krasny Prospect, Novosibirsk, 630091, Russian Federation
ilyag2@yandex.ru
SPIN-code: 8431-2036
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1407-6124

Alexey A. Mazenkov, PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, departments "Physical Education and Sport"
Siberian Transport University
191, Dusi Kovalchuk Str., Novosibirsk, 630049, Russian Federation
almazenkov@mail.ru
SPIN-code: 5146-7433

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1353 **EDN: UZIPRB**
УДК 616-06

CC BY NC ND

Научная статья

ВЗАИМОСВЯЗЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ И ПОСТКОВИДНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ

Л.И. Фейсханова, Е.Э. Петрова, З.Ф. Ким, С.Ю. Щербаков

Аннотация

Обоснование. Постковидный синдром представляет собой признаки и симптомы, развивающиеся во время или после инфекции, характерной для COVID-19, которые продолжаются более 12 недель и не объясняются альтернативным диагнозом.

Цель. Выявить особенности течения постковидного синдрома у пациентов с артериальной гипертензией.

Материал и методы. Было проведено исследование с участием 104 пациентов (средний возраст 49,5±6,4 лет), госпитализированных в связи с вирусной пневмонией, вызванной COVID-19. 1 группа – 49 пациентов с артериальной гипертензией (АГ) (47,1%), 2 группа – 55 пациентов без АГ (52,9%). Оценивалось состояние пациента во время госпитализации, перед выпиской, через 1-2 сутки после выписки, а далее дистанционно через 3, 6 и 12 месяцев. Помимо рутинных методов, изучалась распространенность различных симптомов, характерных для постковидного синдрома. Оценку самочувствия проводили по 10-балльной шкале, где 1 балл – «очень плохо», 10 баллов – «отлично».

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.6.3 (разработчик - ООО «Статтех», Россия).

Результаты. Наличие АГ негативно влияет на течение постковидного синдрома в виде ухудшения общего самочувствия по сравнению с состоянием до коронавирусной инфекции. В 1 группе показатель самочувствия при первом визите после выписки из стационара оказался ниже, чем во 2 группе (7 [6,98;7,03] и 8 [7,96;8,01], соответственно, p=0,008). Отсутствие АГ положительно влияло на динамику миалгии и уровня глюкозы в постковидном периоде (p<0,05).

Заключение. Наличие АГ у пациентов с коронавирусной инфекцией, осложненной пневмонией, влечет за собой стойкое сохранение постковидных

симптомов. В связи с чем им требуется регулярное динамическое наблюдение в течение как минимум года после перенесенного COVID-19.

Ключевые слова: постковидный синдром; постковидные осложнения; артериальная гипертензия; коронавирусная инфекция

Для цитирования. Фейсханова, Л. И., Петрова, Е. Э., Ким, З. Ф., & Щербаков, С. Ю. (2025). Взаимосвязь артериальной гипертензии и постковидных осложнений. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 432-444. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1353

Original article

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARTERIAL HYPERTENSION AND LONG COVID

L.I. Feiskhanova, E.E. Petrova, Z.F. Kim, S.Y. Scherbakov

Abstract

Background. Post-COVID-19 syndrome (long COVID) is the signs and symptoms that develop during or after COVID-19 infection that last for more than 12 weeks and are not explained by an alternative diagnosis.

Purpose. To identify the features of the course of long COVID in patients with arterial hypertension.

Materials and methods. A study was conducted with 104 patients (mean age 49.5±6.4 years) hospitalized due to viral pneumonia caused by COVID-19. Group 1 included 49 patients with arterial hypertension (AH) (47.1%), group 2 – 55 patients without AH (52.9%). The patient's condition was assessed during hospitalization, before discharge, 1-2 days after discharge, and then remotely after 3, 6, and 12 months. In addition to routine methods, the prevalence of various symptoms characteristic of long COVID was studied. The assessment of well-being was carried out on a 10–point scale, where 1 point – "very bad", 10 points - "excellent".

The statistical analysis was performed using the StatTech v program. 4.6.3 (developed by Stattech LLC, Russia).

Results. The presence of hypertension negatively affects the course of long COVID in the form of a deterioration in general well-being compared to the state before coronavirus infection. In group 1, the well-being index at the first visit after discharge from the hospital was lower than in group 2 (7 [6.98;7.03] and 8 [7.96;8.01], respectively, p=0.008). The absence of hypertension had a positive

effect on the dynamics of myalgia and glucose levels in the postcovoid period ($p<0.05$).

Conclusion. Thus, the presence of hypertension in patients with coronavirus infection complicated by pneumonia entails the persistence of postcovoid symptoms. Therefore, they need regular dynamic monitoring for at least a year after suffering from COVID-19.

Keywords: postcovoid syndrome; long COVID; arterial hypertension; coronavirus infection

For citation. Feiskhanova, L. I., Petrova, E. E., Kim, Z. F., & Scherbakov, S. Y. (2025). The relationship between arterial hypertension and long COVID. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 432-444. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1353

Введение

Постковидный синдром впервые был описан как клиническая единица весной 2020 года, когда у пациентов с COVID-19 симптомы сохранялись в течение нескольких недель после острой инфекции. В зарубежной литературе он получил название «post-COVID-19 syndrome», или «long COVID». Он представляет собой признаки и симптомы, развивающиеся во время или после инфекции, характерной для COVID-19, которые продолжаются более 12 недель и не объясняются альтернативным диагнозом [14].

Постковидный синдром может регистрироваться у пациентов с легкой или тяжелой формой COVID-19, независимо от тяжести симптомов в острой фазе. От 10% до 65% выживших, у которых был легкий/умеренный COVID-19, проявляют симптомы постковидного синдрома в течение 12 недель или более. Через шесть месяцев субъекты сообщают в среднем о четырнадцати (!) постоянных симптомах. Наиболее распространенными являются усталость, одышка, беспокойство, депрессия, нарушение внимания, концентрации, памяти и сна. Основные биологические механизмы неизвестны, хотя аномальная или чрезмерная аутоиммунная и воспалительная реакция могут играть важную роль [5]. Постинфекционная обонятельная и вкусовая дисфункции, которые могут поражать более 60% людей с коронавирусной инфекцией, включая бессимптомные инфекции, также представляют собой важный частый симптом постковидного синдрома [14]. Доказательства, касающиеся спектра постковидного синдрома и его лечения, развиваются и будут продолжать развиваться в ближайшие несколько лет.

Определение фенотипа пациентов с более высоким риском смерти во время острой инфекции или с более высоким риском развития пост-

ковидных симптомов имеет решающее значение. Известно, что фоновое сердечно-сосудистое заболевание связано с повышенным риском внутрибольничной смерти среди пациентов, госпитализированных с COVID-19 [4].

Многие пациенты на момент заболевания коронавирусом уже имеют сопутствующие заболевания, самыми распространенными из которых являются: сахарный диабет и артериальная гипертензия (АГ), которая может усугублять течение постковидного синдрома. Потенциальной гипотезой, объясняющей эту ситуацию, является влияние рецептора ангиотензинпревращающего фермента 2 в системе ренин-ангиотензин-альдостерон и провоспалительная реакция (т.е. цитокиновый шторм), связанная с инфекцией SARS-CoV-2 [14; 15].

По данным научных источников, у пациентов с гипертонией наблюдалось большее количество постковидных симптомов и худшее качество сна, чем у пациентов с нормальным артериальным давлением. Специфических постковидных симптомов не наблюдалось, за исключением более высокой частоты постковидной мигренеподобной головной боли у пациентов с гипертонией [15].

В связи с тем, что артериальная гипертензия является одним из наиболее распространенных заболеваний в популяции, для нас представлял большой интерес вопрос – как протекает постковидный синдром у таких пациентов, на что следует обратить внимание при их ведении.

Цель исследования – выявить особенности течения постковидного синдрома у пациентов с артериальной гипертензией.

Материал и методы исследования

Нами было проведено проспективное исследование с участием 104 пациентов (52 женщины и 52 мужчин, средний возраст 49,5 ± 6,4 лет), которые были госпитализированы в связи с вирусной пневмонией, вызванной COVID-19. Среди них 49 пациентов с артериальной гипертензией (47,1%), составившие 1-ю группу, и 55 – без АГ (52,9%), соответственно, составившие 2-ю группу.

Исследование проводилось следующим образом. Первая оценка состояния пациента осуществлялась во время госпитализации и включала в себя, помимо сбора жалоб и анамнеза, проведение общего и биохимического анализов крови, коагулограммы, определение уровня С-реактивного белка, компьютерной томографии органов грудной клетки, ПЦР-диагностику вирусной инфекции.

Вторая оценка состояния осуществлялась перед выпиской (как правило, 7-10 сутки от начала заболевания). Она включала в себя вышеуказан-

ные клинические и лабораторно-инструментальные методы исследования в динамике.

Третья оценка состояния проводилась амбулаторно через 1-2 сутки после выписки и основывалась только на клинической составляющей.

Четвертая, пятая и шестая оценки состояния проводились дистанционно через 3, 6 и 12 месяцев. У пациента спрашивали о его самочувствии, наличии жалоб, появлении новых заболеваний, госпитализациях, используемых препаратах.

Оценку самочувствия проводили по 10-балльной шкале, где 1 балл – «очень плохо», 10 баллов – «отлично».

На каждом этапе проводился детальный обзор симптомов, характерных для постковидного синдрома:

- Одышка (в покое, при различных видах нагрузки)
- Потеря обоняния или вкуса
- Кашель
- Наличие мокроты при кашле
- Боли в мышцах
- Боли в груди
- Чувство учащенного сердцебиения
- Слабость
- Диарея
- Насморк
- Конъюнктивит
- Першение / боль в горле
- Подъем температуры тела

У пациента уточнялось, были ли госпитализации, новые симптомы, манифестация каких-либо заболеваний в течение прошедшего после COVID-19 периода.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.6.3 (разработчик – ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50). Количественные показатели, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD) или с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1;Q3). Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное

распределение, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента, при неравных дисперсиях выполнялось с помощью t-критерия Уэлча. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Сравнение процентных долей при анализе четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10). При сравнении нормально распределенных количественных показателей, рассчитанных для двух связанных выборок, использовался парный t-критерий Стьюдента. При сравнении количественных показателей, распределение которых отличалось от нормального, в двух связанных группах, использовался критерий Уилкоксона. При сравнении трех и более зависимых совокупностей, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера-Имана с поправкой Холма. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Нами был проведен анализ динамики самочувствия в зависимости от наличия АГ. Выявлено, что в 1 группе показатель самочувствия (шкала от 0 до 10 баллов, где 1 балл – «очень плохо», 10 баллов – «отлично») оказался достоверно ниже при первом амбулаторном визите после выписки из стационара, чем во 2 группе (7 [6,98;7,03] и 8 [7,96;8,01], соответственно, $p=0,008$).

Это может быть связано с механизмом проникновения коронавируса в клетку. Входные ворота возбудителя новой коронавирусной инфекции SARS-CoV-2 – эпителий верхних дыхательных путей и эпителиоциты желудка и кишечника, имеющие рецепторы ангиотензинпревращающего фермента 2-го типа (АПФ-2). SARS-CoV-2 проникает в клетку взаимодействуя с АПФ-2 в присутствии трансмембранной сериновой протеазы 2-го типа (TPMRSS2) [9; 19]. В норме АПФ-2 обеспечивает баланс между двумя основными ветвями РААС: «классическим сигнальным путем РААС» (АПФ/АТ-II/AT1R) и ветвью «анти-РААС» (АПФ 2/АТ(1–7)/MasR). Он угнетает негативные эффекты каскада АПФ/АТ-II/AT1R и оказывает такие эффекты как: вазодилатация, противовоспалительное, антифиброзное действие на ткань миокарда [10; 18]. COVID-19 уменьшает экспрессию ACE 2, приводя к снижению продукции АТ(1–7) у пациентов с артериаль-

ной гипертензией и к усилению влияния АТ-II, вызывая вазоконстрикцию, тромбоз, фиброз и воспаление [11].

Учитывая патогенез поражения организма при коронавирусной инфекции, идут обсуждения о влиянии иАПФ и БРА на течение постковидного синдрома. В одном из наиболее масштабных систематических обзоров 52 исследований и в общей сложности результатов 101949 пациентов, проведенном R. Baral и соавт., а также M. Mehra и соавт., высказано предположение о протективном действии ИАПФ/БРА при COVID-19 на основании достоверно более низкого риска летального и тяжелого течения заболевания у лиц, получающих данные группы препаратов [3; 4]. В результатах работы G. Yang и соавт. в группе, получавшей ИАПФ/БРА, были выявлены достоверно более низкий уровень С-реактивного белка и прокальцитонина по сравнению с группой сравнения [2]. Помимо этого, в другом исследовании у некоторых пациентов на фоне терапии ИАПФ/БРА наблюдалось достоверно большее количество субпопуляции Т-лимфоцитов CD3+ ($p = 0,02$) и CD8+ ($p = 0,01$) в периферической крови и достоверно меньший уровень пиковой вирусной нагрузки ($p = 0,03$) по сравнению с группой пациентов, не принимавших данные препараты. Также отмечалось снижение уровня ИЛ-6 в периферической крови в группе принимавших ИАПФ/БРА [16]. Кроме этого, в ходе некоторых исследований было выяснено, что применение БРА защищает от повреждения легких вследствие блокады рецептора AT1R [20].

Дальнейшие этапы проводимого нами исследования не продемонстрировали достоверных различий в оценке самочувствия между обеими группами.

Нами проанализирована динамика потери обоняния и/или вкуса в зависимости от наличия АГ. Выявлено наличие достоверной положительной динамики во 2-й группе: доля лиц с потерей обоняния и/или вкуса снизилась с 43,5% до 12,9% ($p=0,001$). В 1-й группе достоверных изменений не выявлено, хотя также обнаружено снижение числа лиц с нарушением обоняния и/или вкуса с 52,6% до 26,3%. Механизм, с помощью которого SARS-CoV-2 вызывает обонятельную дисфункцию, также связан с расположением на обонятельном и дыхательном эпителии носовой полости, на обонятельной луковице рецепторов АПФ-2 [8; 13; 17]. COVID-19 повреждает поддерживающие клетки обонятельного эпителия, прикрепляется к этим рецепторам и вызывает гибель клеток, оставляя сенсорные нейроны уязвимыми и без питательных веществ [12].

Аналогичная картина сложилась и в отношении миалгии. В 1 группе распространенность миалгии составила 26,3% при поступлении и 15,8%

через 3 месяца после выписки, что свидетельствовало об отсутствии статистически значимых различий. Во 2 группе доля лиц с миалгией снизилась с 14,1% при поступлении в стационар до 3,5% через 3 месяца после выписки ($p<0,05$). Это объясняется возникающим при COVID-19 повышением уровня цитокинов и сигнальных молекул, таких как интерферон γ (IFN-γ), IL-1β, IL-6, IL-8, IL-17 и фактор некроза опухолей α (TNF-α), влияющих на скелетные мышцы, вызывая протеолиз волокон и снижение синтеза белка [7].

Помимо клинических аспектов, нами были проанализированы и лабораторные показатели. В ходе стационарного лечения у пациентов 2-й группы уровень глюкозы к моменту выписки из стационара снизился с 6,48 [5,36;7,99] до 5,38 [4,96;6,02] ммоль/л ($p=0,001$). В 1-й группе достоверных изменений не было: уровень глюкозы во время госпитализации был 6,77 [5,23;7,21], а при выписке – 5,7 [5,1; 7,5] ммоль/л. В некоторых исследованиях говорится о том, что АПФ-2 экспрессируется в поджелудочной железе нормальных людей, и эта экспрессия при коронавирусной инфекции становится немного выше, чем в легких, что указывает на то, что SARS-CoV-2 также может вызывать повреждение поджелудочной железы, что в дальнейшем может привести к гипергликемии [1]. В контексте инфекции COVID-19 повреждение β-клеток поджелудочной железы связано с дисфункцией ренин-ангиотензин-альдостероновой системы.

При этом нарушается баланс между АПФ-2 и АПФ с преобладанием АПФ, ангиотензина II и альдостерона, и их эффекты становятся более значительными. Гиперактивность ренин-ангиотензин-альдостероновой системы усиливает гипоксию, окислительный стресс островков, изменения в кровотоке островков и последующее повреждение β-клеток, а гипокалиемия, вызванная альдостероном, способствует инсулинорезистентности. Кроме этого, сам воспалительный процесс приводит к развитию интегрированной реакции на стресс, которая будет подавлять сигнальный путь инсулина, блокируя его рецепторы, вызывая резистентность [6].

Анализ крови показал достоверный рост уровня тромбоцитов в 1-й группе при амбулаторном наблюдении после выписки по сравнению с таковым во время госпитализации: 290 [219; 342]$x10^9$/л и 228 [179; 280] $x10^9$/л, соответственно ($p < 0,001$). Во 2-й группе статистически значимых различий не выявлено: 260,5 [194,75; 321]$x10^9$/л и 196 [166,75; 273] $x10^9$/л, соответственно. Несмотря на то, что медиана количества тромбоцитов не выходила за рамки нормальных значений, отсутствие достоверной динамики в 1-й группе может свидетельствовать о повышенном риске тромбообразования и гиперагрегации тромбоцитов, особенно в условиях инфекционного процесса в организме.

Выводы

Анализ полученных при проведении исследования результатов показал, что наличие артериальной гипертензии может негативно повлиять на течение постковидного синдрома.

Особенности течения постковидного синдрома при сопутствующей артериальной гипертензии заключаются в следующем:

1. Более выраженное ухудшение общего самочувствия по сравнению с лицами без артериальной гипертензии;
2. Длительное сохранение потери вкуса и/или обоняния;
3. Стойкое сохранение миалгии;
4. Повышение уровня тромбоцитов в крови;
5. Замедление скорости снижения уровня глюкозы крови до нормальных цифр после перенесенной инфекции.

В заключение, следует отметить, что пациенты, перенесшие коронавирусную инфекцию и имеющие артериальную гипертензию в анамнезе, требуют пристального внимания со стороны врача с целью не только улучшения качества жизни, но и своевременного выявления развившейся инсулинорезистентности и риска тромбооразования.

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) и комитетом по этике ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России, протокол № 24 от 12.09.2021.

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

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы / References

1. Liu, F., Long, X., Zhang, B., Zhang, W., Chen, X., & Zhang, Z. (2020). ACE2 expression in pancreas may cause pancreatic damage after SARS-CoV-2 infection. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, *18*(2), 2128–2130. https://doi.org/10.1016/j.cgh.2020.04.040. EDN: https://elibrary.ru/WFHOON
2. Yang, G., Tan, Z., Zhou, L., Yang, M., Peng, L., Liu, J., Cai, J., Yang, R., Han, J., Huang, Y., & He, S. (2020). Angiotensin II receptor blockers and angioten-

sin-converting enzyme inhibitors usage is associated with improved inflammatory status and clinical outcomes in COVID-19 patients with hypertension. *MedRxiv*. https://doi.org/10.1101/2020.03.31.20038935

3. Baral, R., Tsampasian, V., Debski, M., Moran, B., Garg, P., Clark, A., & Vassiliou, V. S. (2021). Association between renin-angiotensin-aldosterone system inhibitors and clinical outcomes in patients with COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *JAMA Network Open*, *4*(3), e213594. https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.3594. EDN: https://elibrary.ru/HDOWFM
4. Mehra, M. R., Desai, S. S., Kuy, S., Henry, T. D., & Patel, A. N. (2020). Cardiovascular disease, drug therapy, and mortality in COVID-19. *The New England Journal of Medicine*, *382*(25), e102. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2007621. EDN: https://elibrary.ru/ZPIIJZ
5. Carod-Artal, F. J. (2021). Post-COVID-19 syndrome: epidemiology, diagnostic criteria and pathogenic mechanisms involved. *Revista de Neurologia*, *72*(11), 384–396. https://doi.org/10.33588/RN.7211.2021230. EDN: https://elibrary.ru/ARZZGT
6. Santos, A., Magro, D. O., Evangelista-Poderoso, R., & Saad, M. J. A. (2021). Diabetes, obesity, and insulin resistance in COVID-19: molecular interrelationship and therapeutic implications. *Diabetology and Metabolic Syndrome*, *13*(1), 23. https://doi.org/10.1186/s13098-021-00639-2. EDN: https://elibrary.ru/DHEUAO
7. Hasan, L. K., Deadwiler, B., Haratian, A., Bolia, I. K., Weber, A. E., & Petrigliano, F. A. (2021). Effects of COVID-19 on the musculoskeletal system: clinician's guide. *Orthopedic Research and Reviews*, *13*, 141–150. https://doi.org/10.2147/ORR.S321884. EDN: https://elibrary.ru/EJLMZO
8. Klingenstein, M., Klingenstein, S., Neckel, P. H., Mack, A. F., Wagner, A. P., Kleger, A., Liebau, S., & Milazzo, A. (2021). Evidence of SARS-CoV2 entry protein ACE2 in the human nose and olfactory bulb. *Cells Tissues Organs*, *209*, 155–164. https://doi.org/10.1159/000513040. EDN: https://elibrary.ru/WMZZSP
9. Gupta, A., Madhavan, M. V., Sehgal, K., Nair, N., Mahajan, S., Sehrawat, T. S., Bikdeli, B., Ahluwalia, N., Ausiello, J. C., Wan, E. Y., Freedberg, D. E., Kirtane, A. J., Parikh, S. A., Maurer, M. S., Nordvig, A. S., Accili, D., Bathon, J. M., Mohan, S., Bauer, K. A., Leon, M. B., Krumholz, H. M., Uriel, N., Mehra, M. R., Elkind, M. S. V., Stone, G. W., Schwartz, A., Ho, D. D., Bilezikian, J. P., & Landry, D. W. (2020). Extrapulmonary manifestations of COVID-19. *Nature Medicine*, *26*(7), 1017–1032. https://doi.org/10.1038/s41591-020-0968-3. EDN: https://elibrary.ru/HTAOKQ
10. Li, X. C., Zhang, J., & Zhuo, J. L. (2017). The vasoprotective axes of the renin-angiotensin system: physiological relevance and therapeutic implications in cardiovascular, hypertensive and kidney diseases. *Pharmacological Research*, *125*, 21–38. https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.06.005. EDN: https://elibrary.ru/YFYWLE

11. Chaudhry, F., Lavandero, S., Xie, X., Sabharwal, B., Zheng, Y. Y., Correa, A., Narula, J., & Levy, P. (2020). Manipulation of ACE 2 expression in COVID-19. *Open Heart*, *7*(2), e001424. https://doi.org/10.1136/openhrt-2020-001424. EDN: https://elibrary.ru/GPUUQL
12. Brann, D. H., Tsukahara, T., Weinreb, C., Lipovsek, M., Van den Berge, K., Gong, B., Chance, R., Macaulay, I. C., Chou, H. J., Fletcher, R. B., Das, D., Street, K., de Bezieux, H. R., Choi, Y. G., Risso, D., Dudoit, S., Purdom, E., Mill, J., Hachem, R. A., Matsunami, H., Logan, D. W., Goldstein, B. J., Grubb, M. S., Ngai, J., & Datta, S. R. (2020). Non-neuronal expression of SARS-CoV-2 entry genes in the olfactory system suggests mechanisms underlying COVID-19-associated anosmia. *Science Advances*, *6*(31), eabc5801. https://doi.org/10.1126/sciadv.abc5801. EDN: https://elibrary.ru/XIHMPQ
13. Schepens, E. J. A., Boek, W. M., Boesveldt, S., Stokroos, R. J., Stegeman, I., & Kamalski, D. M. A. (2023). One-year psychophysical evaluation of COVID-19-induced olfactory disorders: a prospective cohort study. *BMC Medicine*, *21*(1), 490. https://doi.org/10.1186/s12916-023-03205-x. EDN: https://elibrary.ru/YDOBDG
14. Pavli, A., Theodoridou, M., & Maltezou, H. C. (2021). Post-COVID syndrome: incidence, clinical spectrum, and challenges for primary healthcare professionals. *Archives of Medical Research*, *52*(6), 575–581. https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2021.03.010. EDN: https://elibrary.ru/DSLLRT
15. Fernández-de-Las-Peñas, C., Torres-Macho, J., Velasco-Arribas, M., Plaza-Canteli, S., Arias-Navalón, J. A., Hernández-Barrera, V., & Guijarro, C. (2022). Preexisting hypertension is associated with a greater number of long-term post-COVID symptoms and poor sleep quality: a case-control study. *Journal of Human Hypertension*, *36*(6), 582–584. https://doi.org/10.1038/s41371-022-00660-6. EDN: https://elibrary.ru/WSBNDI
16. Meng, J., Xiao, G., Zhang, J., He, X., Ou, M., Bi, J., Yang, R., Di, W., Wang, Z., Li, Z., Gao, H., Liu, L., & Zhang, G. (2020). Renin-angiotensin system inhibitors improve the clinical outcomes of COVID-19 patients with hypertension. *Emerging Microbes & Infections*, *9*(1), 757–760. https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1746200. EDN: https://elibrary.ru/ISONOJ
17. Moein, S. T., Hashemian, S. M., Mansourafshar, B., Khorram-Tousi, A., Tabarsi, P., & Doty, R. L. (2020). Smell dysfunction: a biomarker for COVID-19. *International Forum of Allergy and Rhinology*, *10*(8), 944–950. https://doi.org/10.1002/alr.22587. EDN: https://elibrary.ru/JWQHKV
18. Zhu, H., Zhang, L., Ma, Y., Zhai, M., Xia, L., Liu, J., Yu, S., & Duan, W. (2021). The role of SARS-CoV-2 target ACE2 in cardiovascular diseases. *Journal of*

Cellular and Molecular Medicine, *25*(3), 1342–1349. https://doi.org/10.1111/jcmm.16239. EDN: https://elibrary.ru/NCGSHO

19. Xiao, L., Sakagami, H., & Miwa, N. (2020). ACE2: The key molecule for understanding the pathophysiology of severe and critical conditions of COVID-19: Demon or angel? *Viruses*, *12*(5), 491. https://doi.org/10.3390/v12050491. EDN: https://elibrary.ru/TJBPIM
20. Zhang, X., Li, S., & Niu, S. (2020). ACE2 and COVID-19 and the resulting ARDS. *Postgraduate Medical Journal*, *96*(1137), 403–407. https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2020-137935. EDN: https://elibrary.ru/BTLKOK

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фейсханова Люция Исхаковна, д-р мед. наук, доцент кафедры госпитальной терапии
ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России
ул. Бутлерова, 49, г. Казань, 420012, Российская Федерация
ljuts@rambler.ru

Петрова Екатерина Эдуардовна, студент лечебного факультета
ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России
ул. Бутлерова, 49, г. Казань, 420012, Российская Федерация
kat31761@gmail.com

Ким Зульфия Фаритовна, д-р мед. наук, доцент кафедры внутренних болезней
ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России
ул. Бутлерова, 49, г. Казань, 420012, Российская Федерация
profz@yandex.ru

Щербаков Станислав Юрьевич, ассистент кафедры анестезиологии и реаниматологии, медицины катастроф
ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России
ул. Бутлерова, 49, г. Казань, 420012, Российская Федерация
vnim4nie@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Liutsiia I. Feiskhanova, MD, Associate Professor of the Department of Hospital Therapy
Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
49, Butlerova Str., Kazan, 420012, Russian Federation
ljuts@rambler.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7830-5283

Ekaterina E. Petrova, Student
Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
49, Butlerova Str., Kazan, 420012, Russian Federation
kat31761@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-5717-8523

Zulfiya F. Kim, MD, Associate Professor of the Department of Internal Medicine
Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
49, Butlerova Str., Kazan, 420012, Russian Federation
profz@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4240-3329

Stanislav Yu. Scherbakov, Assistant of the Department of Anesthesiology and Resuscitation
Kazan State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation
49, Butlerova Str., Kazan, 420012, Russian Federation
vnim4nie@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7417-2452

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1674 **EDN: VUWDEN**
УДК 619:616.995.121.56

CC BY NC ND

Научная статья

КЛИНИКО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОДНОКАМЕРНОГО ЭХИНОКОККОЗА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

А.А. Ибрагимхалилова

Аннотация

Обоснование. По данным ВОЗ, эхинококкоз ежегодно регистрируют у 5-7 миллионов человек в мире и является глобальной санитарно-гигиенической проблемой для биосферы, курортов, рекреационных комплексов и густонаселённых мегаполисов.

Цель. Изучение частоты встречаемости и клинико-эпидемиологических особенностей однокамерного эхинококкоза среди населения Азербайджанской Республики.

Материалы и методы. Проанализированы статистические материалы 423 больных эхинококкозом по всей стране, полученные из системы электронного надзора за инфекционными заболеваниями за 2016-2023 годы. Не было зафиксировано больных в возрастных диапазонах 0-1, 1-4 лет. Среди пациентов было 29 чел. (6,8±4,7%) в возрасте 5–13 лет, 22 (5,2±4,7%) – в возрасте 14–17 лет и 361 (85,3±1,8%) в возрасте 18 лет и старше. Из всех больных 311 (73,5±2,5%) были сельскими жителями.

Результаты. В 2016 г. 3 (7,5±15,2%) больных были в возрасте 5–13 лет, остальные - 18 лет и старше. Из них 27 (67,5±9,2%) были жителями села. В 2017 году 1 (1,8±13,3%) пациент был в возрасте 1-4 лет, 7 (12,5±12,5%) больных - 5-13, 2 (3,6±13,2%) больных - 14-17 лет, 46 (82,2±3,7%) пациентов были старше 18 лет. 75% больных были жителями села. В 2018 году 2 (2,6±11,3%) пациента были в возрасте 1-4 лет, 11 (14,5±10,6%) пациентов – в возрасте 5-13 лет, 3 (3,9±11,2%) – в возрасте 14-17 лет и 70 (92,1±3,2%) пациентов – старше 18 лет. 57 (75±5,3%) больных были сельскими жителями. В 2019 году 2

(3,2±12,4%) пациента были в возрасте 1-4 лет, 11 (17,4±11,4%) пациентов – 5-13 лет, 8 (12,7±11,7%) пациентов – 14-17 лет и 47 (74,6±6,3%) пациентов были старше 18 лет. 46 (73±6,5%) больных были сельскими жителями.

Всего в 2020 году в республике зарегистрировано 37 больных. Из них 17 (45,9±12,1%) мужчин, 20 (54,1±11,1%) женщин. Из них 32 (86,5±6,0%) больных были сельскими жителями. 4 (10,8±15,5%) больных в возрасте 0-17 лет при анализе больных, выявленных в 2020 году. Среди них 1 (2,7±12,8%) человек был в возрасте 5-13 лет, 3 (8,1±15,8%) - в возрасте 14-17 лет.

Выводы. За 2016-2022 гг. установлено отсутствие эхинококкоза легочной локализации и распространенной формы среди пациентов Республиканской клинической больницы имени М.А.Миргасимова. В этой больнице в большом количестве выявлялся эхинококкоз печени, в очень редких случаях - эхинококкоз брюшной полости. Как и в НЦХ им. М.А. Топчибашова, количество обратившихся сюда пациентов в 2020 году существенно меньше, чем в другие годы.

Ключевые слова: однокамерный эхинококкоз; эпидемиология; локализация; пол; возраст

Для цитирования. Ибрагимхалилова, А. А. (2025). Клинико-эпидемиологическая характеристика распространения однокамерного эхинококкоза среди населения Азербайджанской республики. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 445-458. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1674

Original article

CLINICAL-EPIDEMIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SPREADING OF UNILOCULAR ECHINOCOCCOSIS AMONG THE POPULATION OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN

A.A. Ibrahimkhalilova

Abstract

Background. According to WHO, echinococcosis is annually registered in 5-7 million people worldwide and is a global sanitary and hygienic problem for the biosphere, resorts, recreational complexes and densely populated megacities.

Purpose. The study is to study the frequency and clinical and epidemiological features of unilocular echinococcosis among the population of the Republic of Azerbaijan.

Material and methods. Statistical materials of 423 patients with echinococcosis throughout the country, obtained from the electronic surveillance system for infectious diseases for 2016-2023, were analyzed. There were no patients in the age ranges of 0-1, 1-4 years. Among the patients, there were 29 people (6.8 ± 4.7%) aged 5-13 years, 22 (5.2 ± 4.7%) aged 14-17 years and 361 (85.3 ± 1.8%) aged 18 years and older.

Results. Of all patients, 311 (73.5±2.5%) were rural residents. In 2016, 3 (7.5±15.2%) patients were 5–13 years old, the rest were 18 years and older. Of these, 27 (67.5±9.2%) were rural residents. In 2017, 1 (1.8±13.3%) patient was 1–4 years old, 7 (12.5±12.5%) patients were 5–13, 2 (3.6±13.2%) patients were 14–17 years old, and 46 (82.2±3.7%) patients were over 18 years old. 75% of patients were rural residents. In 2018, 2 (2.6±11.3%) patients were 1-4 years old, 11 (14.5±10.6%) patients were 5-13 years old, 3 (3.9±11.2%) patients were 14-17 years old, and 70 (92.1±3.2%) patients were over 18 years old. 57 (75±5.3%) patients were rural residents. In 2019, 2 (3.2±12.4%) patients were 1-4 years old, 11 (17.4±11.4%) patients were 5-13 years old, 8 (12.7±11.7%) patients were 14-17 years old, and 47 (74.6±6.3%) patients were over 18 years old. 46 (73±6.5%) patients were rural residents. In total, 37 patients were registered in the republic in 2020. Of these, 17 (45.9±12.1%) were men, 20 (54.1±11.1%) were women. Of these, 32 (86.5±6.0%) patients were rural residents. 4 (10.8±15.5%) patients were aged 0-17 years when analyzing patients identified in 2020. Among them, 1 (2.7±12.8%) person was aged 5-13 years, 3 (8.1±15.8%) - aged 14-17 years

Conclusion. For 2016-2022, the absence of pulmonary echinococcosis and a widespread form was established among patients of the M.A. Mirgasimov Republican Clinical Hospital. In this hospital, liver echinococcosis was detected in large numbers, and abdominal echinococcosis was detected in very rare cases. As in the M.A. Topchibashov National Center of Surgery, the number of patients who applied here in 2020 was significantly less than in other years.

Keywords: unilocular echinococcosis; epidemiology; localization; gender; age

For citation. Ibrahimkhalilova, A. A. (2025). Clinical-epidemiological characteristics of the spreading of unilocular echinococcosis among the population of the Republic of Azerbaijan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 445-458. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1674

Введение

Эхинококкоз является тяжелым хроническим паразитарным заболеванием, характеризующееся поражением печени, легких и других органов, вызываемое личинками цестоды Echinococcus granulosus у человека

[2; 4; 8]. В настоящее время это заболевание широко распространено. В последнее время обращает на себя внимание рост случаев заражений паразитарными инфекциями среди городского населения [1; 3; 7]. По данным ВОЗ, эхинококкоз ежегодно регистрируют у 5-7 миллионов человек в мире. Заболеваемость эхинококкозом собак и других диких животных колеблется от 25 до 80% [9; 13]. По данным литературы, эхинококкоз является глобальной санитарно-гигиенической проблемой для территорий, представляющих биосферу, курортов, рекреационных комплексов и всех густонаселенных мегаполисов [11; 12; 14].

Для возбудителя характерен длительный латентный период. Первым показателем, обнаруженным при исследовании, являются эхинококковые кисты во внутренних органах, преимущественно в печени и легких. Целостность пораженных органов нарушается и их размеры увеличиваются. Это происходит в результате сдавления эхинококковыми кистами мягких тканей внутренних органов и последующих некротических изменений. В организме происходит сенсибилизация к эхинококковым антигенам, а чувствительные к этому заболеванию внутренние органы за счет механического воздействия сдавливаются [10; 15-18].

Считается, что это довольно опасное паразитарное заболевание и имеет характерные черты высокой заболеваемости и распространения. Учитывая это, в качестве актуальной задачи предложено изучение распространенности и эпидемиологической характеристики эхинококкоза на современном этапе, который является для Азербайджана региональной патологией [5; 6].

Цель исследования заключалась в изучении частоты встречаемости и клинико-эпидемиологических особенностей однокамерного эхинококкоза среди населения Азербайджанской Республики.

Материалы и методы

Материалом исследования являлись данные электронной системы надзора за инфекционными заболеваниями за 2016-2023 гг.; были использованы архивные материалы Научно-Хирургического Центра имени академика М.А.Топчибашева и Республиканской клинической больницы им. М.А. Миргасимова за 2016-2023 гг. Были исследованы медицинские карты больных, лечившихся по поводу эхинококкоза за 2016-2023 гг.

В ходе исследования был проведен математико-статистический расчет количественных показателей, полученных по картам больных обоих медицинских учреждений.

Результаты

Проанализированы статистические материалы 423 больных эхинококкозом по всей стране, полученные из системы электронного надзора за инфекционными заболеваниями за 2016-2023 годы. Не было зафиксировано больных в возрастных диапазонах 0-1, 1-4 лет. Среди пациентов было 29 чел. (6,8±4,7%) в возрасте 5–13 лет, 22 (5,2±4,7%) – в возрасте 14–17 лет и 361 (85,3±1,8%) – в возрасте 18 лет и старше. Из всех больных 311 (73,5±2,5%) были сельскими жителями (табл. 1).

Таблица 1.

Количество больных, состоящих на учете в системе электронного эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями за 2016-2023 годы

Года	Возрастные группы					Всего	Сельские жители
	0-1	1-4	5-13	14-17	18 лет и выше		
2016			3		37	40	27
2017		1	7	2	46	56	42
2018		2	11	3	60	76	57
2019		2	6	8	47	63	46
2020			1	3	33	37	32
2021				1	42	43	31
2022				4	70	74	51
2023			1	1	29	31	25
Всего	0	5	29	22	361	423	311

В 2016 г. 3 (7,5±15,2%) больных были в возрасте 5–13 лет, остальные - 18 лет и старше. Из них 27 (67,5±9,2%) были жителями села. В 2017 году 1 (1,8±13,3%) пациент был в возрасте 1-4 лет, 7 (12,5±12,5%) больных - 5-13, 2 (3,6±13,2%) больных - 14-17 лет, 46 (82,2±3,7%) пациентов были старше 18 лет. 75% больных были жителями села. В 2018 году 2 (2,6±11,3%) пациента были в возрасте 1-4 лет, 11 (14,5±10,6%) пациентов – в возрасте 5-13 лет, 3 (3,9±11,2%) – в возрасте 14-17 лет и 70 (92,1±3,2%) пациентов – старше 18 лет. 57 (75±5,3%) больных были сельскими жителями. В 2019 году 2 (3,2±12,4%) пациента были в возрасте 1-4 лет, 11 (17,4±11,4%) пациентов – 5-13 лет, 8 (12,7±11,7%) пациентов – 14-17 лет и 47 (74,6±6,3%) пациентов были старше 18 лет. 46 (73±6,5%) больных были сельскими жителями.

Всего в 2020 году в республике зарегистрировано 37 больных. Из них 18 (45,9±12,1%) мужчин, 20 (54,1±11,1%) женщин. Из них 32 (86,5±6,0%) больных были сельскими жителями. 4 (10,8±15,5%) больных в возрас-

те 0-17 лет при анализе больных, выявленных в 2020 году. Среди них 1 (2,7±12,8%) человек был в возрасте 5-13 лет, 3 (8,1±15,8%) - в возрасте 14-17 лет (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, среди больных преобладали сельские жители и люди старше 19 лет.

Учитывая, что больные эхинококкозом из регионов Азербайджанской Республики обращаются в Республиканскую Клиническую Больницу (РКБ) имени М.А.Миргасимова и Научно-Хирургический Центр (НХЦ) имени М.А.Топчибашева, был проведен анализ историй болезни этих больных.

За период с 2016 по 2022 годы в НХЦ им. М.А. Топчибашева поступило 147 больных. Из них 85 (57,8±5,4%) женщин, 62 (42,2±6,3%) мужчин. За 2016-2022 годы в Республиканскую клиническую больницу имени М.А. Миргасимова поступило 107 пациентов. Из них 62 (71,2±5,8%) женщин, 45 (28,8±9,0%) мужчин.

Мы разделили пациентов, поступивших в обе больницы, по годам. Установлено, что в 2016 г. в НХЦ поступило 10 пациентов, в РКБ - 16, различия статистически недостоверны ($t=0,75$, $p>0,05$). В 2017 г. в НХЦ, РКБ поступило 12 больных ($t=0,34$, $p>0,05$). В 2018 году количество больных с НХЦ (34) было статистически значимо выше чем с РКБ (11), ($t=1,22$, $p<0,05$). В 2019 г. в НХЦ было 22 пациента, в РКБ – 19 ($t=0,26$, $p>0,05$). В 2020 году количество больных статистически не различалось ($t=0,34$, $p>0,05$). Статистически значимых различий в количестве больных эхинококкозом в стационарах в 2021 и 2022 гг. не выявлено ($p>0,05$).

В 2016-2022 годах количество мужчин, зачисленных в НХЦ им. М.А. Топчибашева, статистически достоверно превышало количество мужчин, зачисленных в РКБ имени М.А. Миргасимова ($p<0,001$). Также за исследуемые годы общее количество женщин, зачисленных в НХЦ им. М.А. Топчибашева, статистически достоверно превышало количественный показатель женщин, зачисленных в РКБ им. М.А. Миргасимова ($p<0,01$).

Больные были группированы следующим образом: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60 и 60-70 лет.

В 2016 г. из 147 пациентов, поступивших в Научно-хирургический центр им. Академика М.А. Топчибашева, 4 (40±24,5%) больных были в возрасте 50-60 лет и 3 (30±26,5%) – в возрасте 20-30 лет. В 2017 году количество пациентов в возрасте 50-60, 30-40 и 20-30 лет было одинаковым, в каждой возрастной группе было зарегистрировано по 3 (27,3±25,7%) пациента (табл. 2).

В 2018 году на учете было 11 (32,4±14,1%) пациентов в возрасте 20-30 лет. 2 (18,2±12,0%) больных были в возрасте 10-20 лет. В 2018 году на учете было 8 (23,5±15,0%) пациентов в возрасте 50-60 лет. В 2019 году выявлено больше больных, 8 (36,4±17,0%) больных в возрасте 20-30 лет. Больных в возрасте 10-20 лет было 3 (13,6±19,0%). В 2020 году было 18 больных. Особенностью этого года является то, что количество больных в возрасте от 10 до 20 лет было больше, чем в другие годы, и составило 4 (22,3±20,8%) человека. В 2021 г. больше пациентов было на 6 (26,1±17,0%) в возрасте 30-40 лет. пациентов в других возрастных группах было примерно одинаково. В 2022 г. было 10 (34,5±15,2%) больных в возрасте 50-60 лет и 7 (24,1±16,2%) больных в возрасте 40-50 лет. В 2016-2022 годах среди пациентов, поступивших в НХЦ им. М.А. Топшубашева, больше пациентов в возрасте 50-60 и 40-50 лет (табл. 2).

Таблица 2.

Возрастное распределение пациентов, поступивших в медицинские учреждения с диагнозом «Эхинококкоз»

Года	10-20 лет	20-30 лет	30-40 лет	40-50 лет	50-60 лет	60-70 лет
НХЦ им. М.А. Топчибашева						
2016	0	3	1	1	4	1
2017	0	3	3	1	3	1
2018	2	11	3	6	8	4
2019	3	8	3	3	2	3
2020	4	2	2	2	5	3
2021	3	3	6	4	3	4
2022	3	3	5	7	10	1
РКБ имени М.А.Миргасимова						
2016	2	4	3	3	4	0
2017	2	2	5	1	2	0
2018	0	3	2	2	2	2
2019	2	4	4	4	3	2
2020	2	2	1	0	1	3
2021	1	3	2	2	4	2
2022	7	4	3	8	2	2

Больные, поступившие в Республиканскую клиническую больницу имени академика М. А. Миргасимова, также были разделены на возрастные группы (табл. 3).

Среди пациентов, поступивших в 2016 году, не было пациентов в возрасте от 60 до 70 лет. В этом году было больше пациентов в возрасте от 50-60 до 20-30 лет. в обеих группах было 4 (25±21,6%) больных. Больных в возрасте 10-20 лет было 2 (12,5±23,4%). В 2017 году больных в возрасте от 60 до 70 лет не было. В этом году пациентов больше - 5 (41,6±22,0%) были в возрасте 30-40 лет. Меньше больных было в возрасте 40-50 лет - зарегистрирован 1 (8,3±27,6%) больной. В 2018 году на учете было 3 (27,3±25,3%) пациента в возрасте 20-30 лет и по 2 (18,2±27,3%) пациента в каждой из остальных возрастных групп.

Таблица 3.

Распределение больных в исследуемых медицинских учреждениях по локализации эхинококкоза

Года	Печень	Полость живота	Легкие	Оба органа
НХЦ им. М.А. Топчибашева				
2016	7	1	1	1
2017	10	-	-	1
2018	29	-	-	5
2019	20	1	-	1
2020	17	1	-	0
2021	22	-	-	1
2022	27	-	-	2
РКБ имени М.А.Миргасимова				
2016	15	1	-	-
2017	11	1	-	-
2018	10	1	-	-
2019	19	-		-
2020	8	1	-	-
2021	11	3	-	-
2022	23	3	-	-

В 2019 году больше пациентов было в возрасте 40-50, 30-40 и 20-30 лет, в каждом зарегистрировано по 4 (21,1±20,4%) пациента. В 2020 году заболевших было меньше, чем в другие годы. В этом году зарегистрировано 3 (33,3±27,2%) пациента в возрасте 60-70 лет, по 1 (11,1±31,3%) пациента в возрасте от 50-60 до 30-40 лет. В 2021 г. на учете было 4 (28,6±22,6%) больных в возрасте 50-60 лет и 1 (7,2±25,7%) в возрасте 10-20 лет. Остальные возрастные группы были примерно идентичными. В 2022 г. было 8

(30,8±16,3%) больных в возрасте 40-50 лет. В возрасте от 60-70 до 50-40 лет зарегистрировано 2 (7,6±18,7%) больных.

Если проанализировать количество пациентов по годам, количество пациентов в обеих больницах в 2020 году было низким. Это также связано с наличием в том году пандемии COVID-19 и тем, что население в основном ориентируется на эти респираторные вирусные инфекции и наличием долгосрочных закрытий. Аналогичная тенденция зафиксирована в докладе, посвященном распространению эхинококкоза в европейских странах. Здесь также частота распространения эхинококкоза в период пандемии была низкой [13].

При анализе локализации эхинококкоза за 2016-2022 гг. были обнаружены некоторые заметные различия. Таким образом, в каждом году и в обеих больницах преобладал эхинококкоз печени.

В 2016 г. эхинококкоз печени регистрировали у 70% больных, поступивших в НХЦ им. М.А. Топчибашова, а другие локализации соответственно легких, брюшной полости и общий эхинококкоз – по 10%. В 2017 году на эхинококкоз печени пришлось 90,9%. В этом году распространенность эхинококкоза составила 9,1%. В 2017 году эхинококкоз легких зарегистрирован у 1 пациента. В 2018 году на долю эхинококкоза печени пришлось 85,3%. Других локализаций в этом году не было, только случаи обычного эхинококкоза составили 14,7%. В 2019 году на эхинококкоз печени пришлось 90,9%. В этом году зарегистрировано 4,5% абдоминального эхинококкоза и 4,5% обычного эхинококкоза. В 2020 году на эхинококкоз печени пришлось 94,4%. Эхинококкоз полости живота имел место у 5,5% больных. В 2021 году эхинококкоз печени составил 95,6%, распространенный эхинококкоз - 4,5%. В 2022 году эхинококкоз печени составил 93,1%, обычный эхинококкоз - 6,8%.

При анализе показателей локализации эхинококкоза Республиканской клинической больницы имени академика М.А.Миргасимова по годам наблюдаются определенные тенденции. В 2016 году у 15 (93,75±6,2%) больных был эхинококкоз печени, у 6,25% - эхинококкоз брюшной полости. В 2017 году у 91,6% больных был эхинококкоз печени, у 8,3% - эхинококкоз брюшной полости. В 2018 году у 90,9% был эхинококкоз печени и у 9% брюшной полости. В 2019 году в исследование были включены только пациенты с эхинококкозом печени. В 2020 году эхинококкоз печени зарегистрирован у 88,8% больных, эхинококкоз брюшной полости – у 11,1% больных. В 2021 году выявлено 78,6% эхинококкоза печени и 21,4% эхинококкоза брюшной полости. В 2022 г. эхинококкоз печени преобладал у 88,2% больных. Эхинококкоз полости живота зарегистрирован у 11,6% больных.

Заключение

Исследования, проведенные в стране в современный период (2016-2022 гг.), показали основные тенденции заболевания, представив подробные количественные показатели о распространении эхинококкоза, половозрастных особенностях, а также локализации эхинококкоза в нашей республике. Следует отметить, что заболевание имеет характерные клинико-эпидемиологические особенности в Азербайджанской Республике.

Так, при анализе особенностей локализации эхинококкоза за период 2016-2022 гг. установлено, что эхинококкоз печени ежегодно присутствовал более чем в 90% случаев, а эхинококкоз легких практически отсутствовал. Только в 2016 г. он зарегистрирован у 1 пациента (6,3±24,3%). В очень редких случаях выявлялся абдоминальный эхинококкоз, в 2016, 2019 и 2020 годах он выявлен у 1 пациента. Распространенный эхинококкоз не выявлен только в 2020 году. В 2022 году чаще эхинококкоз регистрировали у 6,8% больных.

За 2016-2022 годы установлено отсутствие эхинококкоза легочной локализации и распространенной формы среди пациентов Республиканской клинической больницы имени М.А.Миргасимова. В этой больнице в большом количестве выявлялся эхинококкоз печени, в очень редких случаях - эхинококкоз брюшной полости. Как и в НЦХ им. М.А. Топчибашова, количество обратившихся сюда пациентов в 2020 году оказалось существенно меньше, чем в другие годы.

Список литературы

1. Аркелова, М. Р., Гогушев, З. Т., Биттиров, И. А., и др. (2023). Экосистемная эпидемиологическая, эпизоотологическая и санитарно-гигиеническая оценка эхинококкоза человека и животных в Северо-Кавказском регионе. *Гигиена и санитария, 102*(6), 556–560. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-556-560. EDN: https://elibrary.ru/MFFKXZ
2. Горбачёв, Д. С., Куликов, А. Н., Козлов, С. С., и др. (2022). Клинический случай эхинококкоза глазницы. Современные подходы к диагностике и лечению. *Офтальмология, 19*(1), 215–228. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-215-228. EDN: https://elibrary.ru/DPDBNV
3. Додусов, В. В., Брук, С. Л., Милица, И. М. (2020). Некоторые клинико-эпидемиологические особенности эхинококкоза по материалам инфекционной службы Смоленской области. *Смоленский Медицинский Альманах*, (1), 98–99. EDN: https://elibrary.ru/SZIIBM

4. Елисеев, Д. Э., Елисеев, Э. Н., Холодова, Ж. Л., и др. (2018). Эхинококкоз яичника: обзор литературы и клиническое наблюдение. *Онкогинекология*, (2), 62–69. https://doi.org/10.52313/22278710_2018_2_62. EDN: https://elibrary.ru/XMRQUH
5. Ибрахимхалилова, А. А. (2023a). Частота встречаемости групп крови A, B, O у больных эхинококкозом. *Современные достижения Азербайджанской медицины*, (1), 123–127.
6. Ибрагимхалилова, А. А. (2023b). Распространение эхинококкоза среди собак в Азербайджанской Республике. *Современные достижения Азербайджанской медицины*, (4), 166–168.
7. Могилина, Е. А., Маслянинова, А. Е., Попова, Т. В. (2024). Эпидемиологические и клинические аспекты эхинококкоза человека в Астраханской области за 2001–2022 гг. *Международный научно-исследовательский журнал*, (2(140)), 1–6. https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.10. EDN: https://elibrary.ru/XZYTBW
8. Чернов, И. И., Козьмин, Д. Ю., Демецкая, В. В., и др. (2023). Хирургическое лечение эхинококкоза сердца: клинический случай. *Российский кардиологический журнал, 28*(15), 5327. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5327. EDN: https://elibrary.ru/GDUWVX
9. Всемирная организация здравоохранения. (2021). *Эхинококкоз. Информационный бюллетень ВОЗ*.
10. Akil, M., Ozkeklikci, A., Oztürk, E., et al. (2021). Evaluation of usefulness of three serological tests using native crude antigen in diagnosis of hepatic cystic echinococcosis patients. *Open Journal of Medical Microbiology, 11*, 69–79. https://doi.org/10.4236/ojmm.2021.112006. EDN: https://elibrary.ru/KNTVDY
11. Bhutani, N., & Kajal, P. (2018). Hepatic echinococcosis: a review. *Annals of Medicine and Surgery, 36*, 99–105.
12. Cai, X., Cai, H., Gan, G., et al. (2019). Case report: rare presentation of multivisceral echinococcosis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 100*, 1204–1207.
13. European Centre for Disease Prevention and Control. (2022). *Echinococcosis*. In *ECDC Annual epidemiological report for 2020* (p. 8). Stockholm: ECDC.
14. Govindasamy, A., Bhattarai, P., & John, J. (2023). Liver cystic echinococcosis: A parasitic review. *Therapeutic Advances in Infectious Disease, 10*, 1–1. https://doi.org/10.1177/20499361231171478. EDN: https://elibrary.ru/AUYHIW
15. Hogea, M., Ciomaga, B., Muntean, M., et al. (2024). Cystic echinococcosis in the early 2020s: A review. *Tropical Medicine and Infectious Disease, 9*(2), 36. https://doi.org/10.3390/tropicalmed9020036. EDN: https://elibrary.ru/KCJVQZ
16. Safarpour, A., Omidian, M., Pouryousef, A., et al. (2022). Cystic echinococcosis and risk factors for infection in Fars Province, Southern Iran: A population-based study. *BioMed Research International, 20*(22), e3709694.

17. Tamarozzi, F., Legnardi, M., & Fittipaldo, A. (2020). Epidemiological distribution of echinococcosis granulosis s. infection in human and domestic animal hosts in European Mediterranean and Balkan countries: A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 14*, e0008519. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008519. EDN: https://elibrary.ru/ZEAEUT
18. Tamarozzi, F., Silva, R., Fittipaldo, V., et al. (2021). Serology for the diagnosis of human hepatic cystic echinococcosis and its relation with cyst staging: A systematic review of the literature with meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 15*, e0009370. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009370. EDN: https://elibrary.ru/EMSIAT
19. Torgerson, P., Robertson, L., Enemark, H., et al. (2020). Source attribution of human echinococcosis: A systematic review and meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 14*, e0008382.
20. Villa Mico, H., Ranalli, R., Hoffmann, L., & Bazan, H. (2021). Ultrasound and risk survey evidence for cystic echinococcosis in La Rioja Province, Argentina. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 105*, 1114–1116. https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1505. EDN: https://elibrary.ru/WYTJBU
21. Wen, H., Vuitton, L., Tuxun, F., et al. (2019). Echinococcosis: Advances in the 21st century. *Clinical Microbiology Reviews, 32*(2), e00075.
22. Widdcombe, J., Basariez, M., Entezami, M., et al. (2022). The economic evaluation of cystic echinococcosis control strategies focused on zoonotic hosts: A scoping review. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 16*, e0010568.

References

1. Arkelova, M. R., Gogushev, Z. T., Bittirov, I. A., et al. (2023). Ecosystemic epidemiological, epizootiological, and sanitary-hygienic assessment of human and animal echinococcosis in the North Caucasus region. *Hygiene and Sanitation*, 102(6), 556–560. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-6-556-560. EDN: https://elibrary.ru/MFFKXZ
2. Gorbachev, D. S., Kulikov, A. N., Kozlov, S. S., et al. (2022). A clinical case of orbital echinococcosis. Modern approaches to diagnosis and treatment. *Ophthalmology*, 19(1), 215–228. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2022-1-215-228. EDN: https://elibrary.ru/DPDBNV
3. Dodusov, V. V., Bruk, S. L., Militsa, I. M. (2020). Some clinical and epidemiological features of echinococcosis based on data from the infectious diseases service of the Smolensk region. *Smolensk Medical Almanac*, (1), 98–99. EDN: https://elibrary.ru/SZIIBM
4. Eliseev, D. E., Eliseev, E. N., Kholodova, Zh. L., et al. (2018). Ovarian echinococcosis: A literature review and clinical case. *Oncogynecology*, (2), 62–69. https://doi.org/10.52313/22278710_2018_2_62. EDN: https://elibrary.ru/XMRQUH

5. Ibrakhimkhalilova, A. A. (2023a). Frequency of blood groups A, B, O in patients with echinococcosis. *Modern Achievements of Azerbaijani Medicine*, (1), 123–127.
6. Ibragimkhalilova, A. A. (2023b). The spread of echinococcosis among dogs in the Republic of Azerbaijan. *Modern Achievements of Azerbaijani Medicine*, (4), 166–168.
7. Mogilina, E. A., Maslyaninova, A. E., Popova, T. V. (2024). Epidemiological and clinical aspects of human echinococcosis in the Astrakhan region for 2001–2022. *International Research Journal*, (2(140)), 1–6. https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.10. EDN: https://elibrary.ru/XZYTBW
8. Chernov, I. I., Kozmin, D. Yu., Demetskaya, V. V., et al. (2023). Surgical treatment of cardiac echinococcosis: A clinical case. *Russian Journal of Cardiology*, 28(15), 5327. https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5327. EDN: https://elibrary.ru/GDUWVX
9. World Health Organization. (2021). *Echinococcosis*. WHO Fact Sheet.
10. Akil, M., Ozkeklikci, A., Oztürk, E., et al. (2021). Evaluation of usefulness of three serological tests using native crude antigen in diagnosis of hepatic cystic echinococcosis patients. *Open Journal of Medical Microbiology*, 11, 69–79. https://doi.org/10.4236/ojmm.2021.112006. EDN: https://elibrary.ru/KNTVDY
11. Bhutani, N., & Kajal, P. (2018). Hepatic echinococcosis: a review. *Annals of Medicine and Surgery*, 36, 99–105.
12. Cai, X., Cai, H., Gan, G., et al. (2019). Case report: rare presentation of multivisceral echinococcosis. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 100, 1204–1207.
13. European Centre for Disease Prevention and Control. (2022). Echinococcosis. In *ECDC Annual epidemiological report for 2020* (p. 8). Stockholm: ECDC.
14. Govindasamy, A., Bhattarai, P., & John, J. (2023). Liver cystic echinococcosis: A parasitic review. *Therapeutic Advances in Infectious Disease*, 10, 1–1. https://doi.org/10.1177/20499361231171478. EDN: https://elibrary.ru/AUYHIW
15. Hogea, M., Ciomaga, B., Muntean, M., et al. (2024). Cystic echinococcosis in the early 2020s: A review. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 9(2), 36. https://doi.org/10.3390/tropicalmed9020036. EDN: https://elibrary.ru/KCJVQZ
16. Safarpour, A., Omidian, M., Pouryousef, A., et al. (2022). Cystic echinococcosis and risk factors for infection in Fars Province, Southern Iran: A population based study. *BioMed Research International*, 20(22), e3709694.
17. Tamarozzi, F., Legnardi, M., & Fittipaldo, A. (2020). Epidemiological distribution of *Echinococcus granulosus* s.l. infection in human and domestic animal hosts in European Mediterranean and Balkan countries: A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14, e0008519. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008519. EDN: https://elibrary.ru/ZEAEUT

18. Tamarozzi, F., Silva, R., Fittipaldo, V., et al. (2021). Serology for the diagnosis of human hepatic cystic echinococcosis and its relation with cyst staging: A systematic review of the literature with meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15, e0009370. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009370. EDN: https://elibrary.ru/EMSIAT
19. Torgerson, P., Robertson, L., Enemark, H., et al. (2020). Source attribution of human echinococcosis: A systematic review and meta-analysis. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 14, e0008382.
20. Villa Mico, H., Ranalli, R., Hoffmann, L., & Bazan, H. (2021). Ultrasound and risk survey evidence for cystic echinococcosis in La Rioja Province, Argentina. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 105, 1114–1116. https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1505. EDN: https://elibrary.ru/WYTJBU
21. Wen, H., Vuitton, L., Tuxun, F., et al. (2019). Echinococcosis: Advances in the 21st century. *Clinical Microbiology Reviews*, 32(2), e00075.
22. Widdcombe, J., Basariez, M., Entezami, M., et al. (2022). The economic evaluation of cystic echinococcosis control strategies focused on zoonotic hosts: A scoping review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 16, e0010568.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Ибрагимхалилова Айнур Аловсат кызы, диссертант, врач-лаборант клиники инфекционных болезней
Научно-исследовательский институт Медицинской Профилактики им. В. Ахундова
ул. М. Топчибашева, 216, AZ1004, Баку, Азербайджан
ibrahimxelilovaaynur@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHOR

Aynur A. Ibrahimkhalilova, Dissertation Candidate, Doctor-Laborant of Infection Diseases Hospital
Scientific Research Institute of Medical Prophylaxis named after V.Y. Akhundov
216, M. Topchibashev Str., Baku, AZ1004, Azerbaijan
ibrahimxelilovaaynur@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0005-9498-9642

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 22.05.2025 Revised 22.05.2025
Принята 24.06.2025 Accepted 24.06.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1333 **EDN: WIIGRL**
УДК 618.146:616-091.8

CC BY NC ND

Научная статья

ДИАГНОСТИКА ДИСПЛАЗИИ ШЕЙКИ МАТКИ КАК ОСНОВНОЙ АСПЕКТ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ РАКА ШЕЙКИ МАТКИ

Э.У. Ильясова, А.В. Марулова, З.С. Румянцева, А.Н. Сулима, С.С. Аникин, Е.С. Румянцева, А.А. Бабушкин

Аннотация

Обоснование. В России наблюдается негативная тенденция роста заболеваемости раком шейки матки. Основным этиологическим фактором считается вирус папилломы человека, особенно онкогенные штаммы. Однако, наличие дополнительных факторов риска у пациенток позволяет судить о полиэтиологичности развития заболевания.

Цель исследования. Оценка паритета этиологических факторов риска относительно степени неоплазии шейки матки и возможности профилактики рака шейки матки.

Материалы и методы. Проведен ретроспективный анализ историй болезни 100 пациенток, в возрасте от 19 до 76 лет с диагнозом «дисплазия шейки матки», обратившихся в клиники г. Симферополя за период 2023-2024 год. Оценивались результаты биопсии шейки матки, расширенной кольпоскопии, цитологического и гистологического исследований, ПЦР диагностики папилломавируса человека. Статистически значимыми считали различия по критерию Стьюдента $t > 2,0$ при $p < 0,05$.

Результаты исследования. Выявлено превалирование резко выраженной дисплазии шейки матки (56% пациенток) над CIN-I (29%) CIN-II (15%). Женщин моложе 40-ка лет в двух категориях больше (59,1%), чем женщин среднего возраста (40,9%). В группе пациенток с тяжелой формой заболевания - 17 носителей (30,3%) ВПЧ и эти женщины младше 40 лет. Среди женщин до 40 лет у 10 пациенток есть дети (17,8%). Резко выраженная дисплазия – у четырех (40%). Среди старших пациенток у 12 из 44 есть дети, наблюдается распределение: с CIN I – 5 (41,6%), CIN II – 3 (25%), резко выраженная дисплазия – 4 (33,3%).

Выводы. Наличие вируса папилломы человека является значимым в прогрессировании дисплазии среди молодых пациенток, тогда как среди пациенток старше 40 лет основным фактором прогрессирования можно считать нереализованный репродуктивный потенциал.

Ключевые слова: рак шейки матки; вирус папилломы человека; ВПЧ высокого онкогенного риска; влияние COVID-19; этиологические факторы; скрининг; профилактика

Для цитирования. Ильясова, Э. У., Марулова, А. В., Румянцева, З. С., Сулима, А. Н., Аникин, С. С., Румянцева, Е. С., & Бабушкин, А. А. (2025). Диагностика дисплазии шейки матки как основной аспект раннего выявления рака шейки матки. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 459-478. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1333

Original article

DIAGNOSIS OF CERVICAL DYSPLASIA AS THE MAIN ASPECT OF EARLY DETECTION OF CERVICAL CANCER

E.U. Ilyasova, A.V. Marulova, Z.S. Rumyantseva, A.N. Sulima, S.S. Anikin, E.S. Rumyantseva, A.A. Babushkin

Abstract

Background. In Russia, there is a negative trend of increasing incidence of cervical cancer. The main etiologic factor is considered to be the human papillomavirus, especially oncogenic strains. However, the presence of additional risk factors in patients allows us to judge the polyethiologic nature of the disease.

Purpose. Evaluation of the parity of etiologic risk factors in relation to the degree of cervical neoplasia and the possibility of preventing cervical cancer.

Materials and methods. A retrospective analysis of the case histories of 100 patients aged 19 to 76 years with a diagnosis of cervical dysplasia, who sought treatment in Simferopol clinics in 2023-2024, was conducted. The results of cervical biopsy, extended colposcopy, cytological and histological studies, and PCR diagnostics of human papillomavirus were evaluated. Differences according to the Student's criterion $t > 2.0$ at $p < 0.05$ were considered statistically significant.

Results. The prevalence of severe cervical dysplasia (56% of patients) over CIN-I (29%) CIN-II (15%) was revealed. There were more women under 40 in both

categories (59.1%) than middle-aged women (40.9%). In the group of patients with a severe form of the disease, there were 17 carriers (30.3%) of HPV, and these women were under 40 years of age. Among women under 40, 10 patients had children (17.8%). Severe dysplasia was found in four patients (40%). Among older patients, 12 out of 44 had children, with the following distribution: 5 (41.6%) with CIN I, 3 (25%) with CIN II, and 4 (33.3%) with severe dysplasia.

Conclusion. The presence of human papillomavirus is significant in the progression of dysplasia among young patients, while among patients over 40, the main factor in the progression can be considered unrealized reproductive potential.

Keywords: cervical cancer; human papillomavirus; high-risk HPV; impact of COVID-19; etiological factors; screening; prevention

For citation. Ilyasova, E. U., Marulova, A. V., Rumyantseva, Z. S., Sulima, A. N., Anikin, S. S., Rumyantseva, E. S., & Babushkin, A. A. (2025). Diagnostics of cervical dysplasia as the main aspect of early detection of cervical cancer. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 459-478. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1333

Введение

Рак шейки матки (РШМ) представляет собой одну из наиболее актуальных проблем, связанных с женским репродуктивным здоровьем, как в медицинском, так и в социальном аспекте, особенно в экономически развитых странах. Это заболевание продолжает оставаться серьезным вызовом для системы здравоохранения, требуя повышенного внимания к вопросам ранней диагностики, профилактики и эффективного лечения.

РШМ занимает второе место в структуре онкологических заболеваний женской репродуктивной системы, уступая только раку молочной железы (РМЖ), согласно данным Международного агентства по изучению рака (рис. 1). Это подтверждает важность данной проблемы как для медицинского сообщества, так и для общества в целом [13, с. 298; 14, с. 161; 18, с. 721].

В 2020 году во всем мире было выявлено 604 127 новых случаев РШМ, из которых 341 831 завершились летальным исходом. В тот же период стандартизированные показатели заболеваемости и смертности составили 13,3 и 7,2 случая на 100 тысяч женщин соответственно [12, с. 191; 15, с. 231; 16, с. 199; 17]. Эти данные подчеркивают необходимость дальнейшего развития стратегий профилактики, раннего выявления и лечения этого заболевания.

Распространенность РШМ в различных регионах мира значительно отличается, что связано с различным доступом к медицинским услугам, включая вакцинацию, скрининг и лечение. Дополнительными факторами,

влияющими на уровень заболеваемости, являются социально-экономические условия, распространенность факторов риска, гендерная принадлежность и низкий уровень достатка.

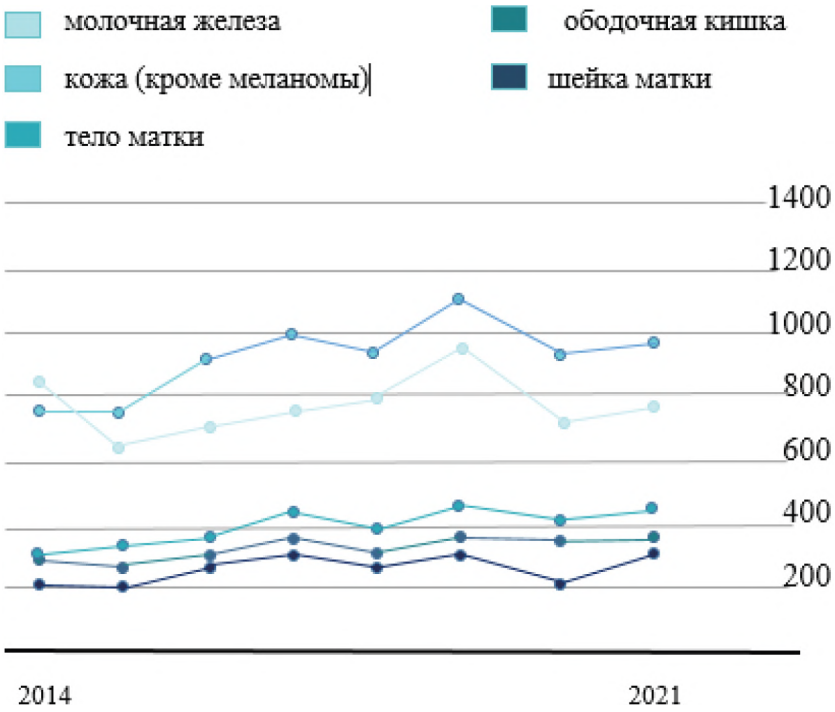


Рис. 1. Наиболее выявляемые ЗНО в Республике Крым за период 2014-2021 гг. Источник: https://tochno.st/problems/oncology/regions/krym

В России РШМ занимает третье место по частоте среди злокачественных опухолей репродуктивной системы, уступая лишь раку молочной железы и раку тела матки. За период с 2015 по 2020 год в стране было диагностировано 44 214 новых случаев этого заболевания, из которых 12 252 выявлены в 2020 году. В том же году зарегистрировано 7 550 смертей, связанных с РШМ.

Согласно статистике за 2020 год, РШМ занимал пятое место в структуре онкологических патологий у женщин, составляя 5,2 % от всех злокачественных новообразований. Среди опухолей репродуктивной системы он находился на третьем месте, уступая раку молочной железы (21,7 %) и раку тела матки (8 %) [9, с. 260; 6, с. 252; 8, с. 239]. Эти данные подчеркива-

ют актуальность проблемы РШМ в России и необходимость дальнейшего развития стратегий ранней диагностики, профилактики и эффективного лечения.

По данным ВОЗ на 2020 год, число выживаемости пациенток с данным диагнозом составляет: с CIN I- 65-90%, CIN II- 60-75%, резко выраженная дисплазия шейки матки - 30-50% [8, с. 239].

Согласно результатам ретроспективных исследований, проведенных в последние годы, пандемия COVID-19 существенно повлияла на динамику заболеваемости и смертности от онкологических патологий в 2020 году. Тем не менее, в глобальной статистике этот фактор до сих пор не отражен в полной мере, что требует дальнейшего анализа и учета для более точной оценки последствий пандемии на онкологическую помощь и здоровье населения.

Снижение уровня заболеваемости РШМ в 2020 году по сравнению с 2019 годом, вероятно, связано с последствиями пандемии. Ограничения в работе медицинских учреждений, снижение доступности профилактических осмотров, перебои в проведении скрининговых программ и откладывание плановых посещений врачей могли существенно повлиять на выявляемость заболевания. Эти факторы привели к временной недооценке реального уровня заболеваемости, что требует дополнительного анализа и учета в будущих эпидемиологических исследованиях (рис. 2) [2, с. 67].

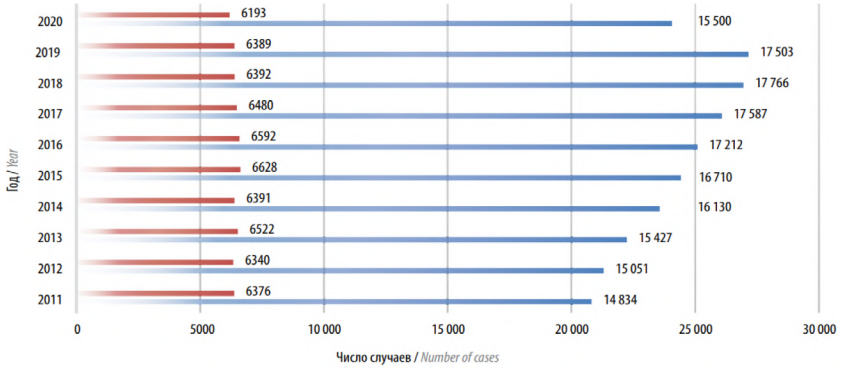


Рис. 2. Диаграмма динамики заболеваемости раком шейки матки и смертности от него женского населения Российской Федерации в 2011-2020 году. **Красный цвет** – абсолютное число умерших от РШМ; **синий цвет** – абсолютное число впервые установленных диагнозов РШМ
Источник: https://protiv-raka.ru/analytics/epidemiologicheskie-aspekty-zabolevaemosti-rakom-shejki-matki-i-smertnosti-ot-nego/

Согласно статистическим данным заболеваемости, злокачественными новообразованиями в РФ за 2021 год, рак шейки матки у женщин до 30 лет составляет 4,7%, от 30 до 59 лет - 7,6%, что указывает нам на важность скрининговых методов онкопатологии в диспансеризации у женщин социально активной группы [11, с. 79]. При анализе основных причин смерти выявлено, что у женщин рак шейки матки занимает 2 место: процент смертности для женщин 30-39 лет - 21,5%, 40-49 лет - 15,4%, а 50-59 лет - 7,9%, тем самым подтверждает агрессивность онкопатологии в молодом возрасте. Недостатки раннего выявления этой патологии в молодом возрасте, тем самым указывает на точки направленности работы системы здравоохранения.

По статистическим данным на период 2014-2021 год РШМ является одним из пяти наиболее часто выявляемых злокачественных новообразований (ЗНО) у женщин в Крыму [7, с. 252].

Согласно статистическим данным Министерства здравоохранения Республики Крым, на базе бюджетных медицинских учреждений Республики Крым в рамках I этапа диспансеризации женщин возрастных групп от 18 до 55 лет, в 2023 году профилактические медицинские осмотры прошли 31 226 женщин, при этом злокачественные новообразования (ЗНО) были выявлены у 256 пациенток.

Доля впервые выявленных случаев ЗНО шейки матки (включая CIN II) в ходе профилактических осмотров и диспансеризации среди определенных групп взрослого населения составила 0,8 % от общего числа проведенных цитологических исследований. Этот показатель соответствует установленному целевому уровню - 0,6 % [10, с. 58].

Согласно статистике Республики Крым, в 2022 году рак шейки матки (РШМ) составлял 5,34 % от всех онкологических заболеваний, а в 2023 году этот показатель вырос до 5,85 %. Таким образом, за год заболеваемость РШМ увеличилась на 0,51 % [10, с. 58]. Данная динамика указывает на рост распространенности патологии в регионе, что актуализирует необходимость усиления профилактических мер, повышения доступности скрининга и совершенствования методов ранней диагностики (рис. 3).

Несмотря на активное развитие медицинской науки, вопросы этиологии, патогенеза и диагностики РШМ остаются крайне актуальными. Основным фактором развития РШМ признано инфицирование онкогенными генотипами вируса папилломы человека (ВПЧ), включая 16, 18, 31, 51, 56 и 39 [1, с. 43]. Однако, даже при активном внедрении вакцинации против ВПЧ, существенного снижения заболеваемости и смертности от РШМ достичь не удается [5, с. 24].

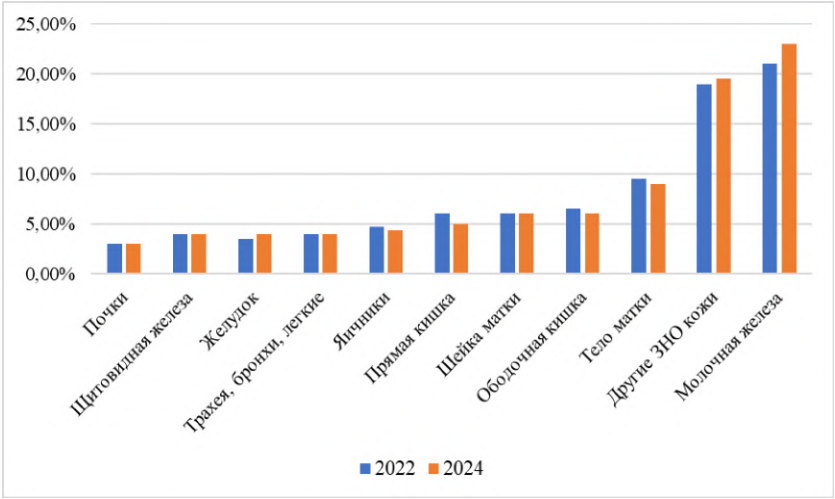


Рис. 3. Структура заболеваемости ЗНО женского населения в Республике Крым за период 2022-2023 гг.
Источник: https://rknpa.ru/uploads/main/docume nt/2024/07/04/2024-07-04-15-47-04_344%20%20%2028062024.pdf

Используя интернет ресурсы, мы проанализировали статистику стран с различной распространенностью вакцинирования от ВПЧ. По данным Министерства здравоохранения Узбекистана за 2020 год, 94% девочек в возрасте 12–14 лет получили первую дозу прививки против ВПЧ, и по статистическим данным, за 2020 год на 100 000 человек населения общий коэффициент заболеваемости РШМ составляет 11,3, тогда как в РФ, коэффициент заболеваемости составляет 19,6 на 100 000 населения (Таблица 1, 2) (рис. 4, 5). Мы предполагаем, что такая разница в статистических данных может быть обусловлена с одной стороны особенностями культурной жизни населения Узбекистана, с другой стороны – высокой стоимостью процедуры прививания от ВПЧ в РФ [3; 4].

С целью первичной профилактики вакцина против ВПЧ включена в национальный календарь прививок Узбекистана, производится вакцинация девочек в возрасте 12-14 лет, количество привившихся от ВПЧ на 2020 год составляет 99%. 9 из 10 девочек, относящихся в 2020 году к основной возрастной когорте, получили последнюю дозу вакцины.

В Российской Федерации вакцинация против ВПЧ не включена в национальный календарь прививок.

Таблица 1.

Сводные данные о раке шейки матки в Узбекистане

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И СМЕРТНОСТЬ	
Общий коэффициент заболеваемости раком шейки матки на 100 000 женщин (2020)	***11,3***
Стандартизированный по возрасту коэффициент заболеваемости раком шейки матки на 100 000 женщин (2020)	***11,0***
Совокупный риск рака шейки матки в возрасте 0-74 лет (2020)	***1,2%***
Умерших от рака шейки матки (2019)	***840***
Соотношение смертности и заболеваемости, рак шейки матки (2020)	***0,58***
Наличие единого реестра онкологических больных (2021)	***Да***

Источник: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-uzb-2021-country-profile-ru.pdf?sfvrsn=81871bad_33&download=true

Таблица 2.

Сводные данные о раке шейки матки в Российской Федерации

ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ И СМЕРТНОСТЬ	
Общий коэффициент заболеваемости раком шейки матки на 100 000 женщин (2020)	***19,6***
Стандартизированный по возрасту коэффициент заболеваемости раком шейки матки на 100 000 женщин (2020)	***14,1***
Совокупный риск рака шейки матки в возрасте 0-74 лет (2020)	***1,4%***
Умерших от рака шейки матки (2019)	***7400***
Соотношение смертности и заболеваемости, рак шейки матки (2020)	***0,49***
Наличие единого реестра онкологических больных (2021)	***Да***

Источник: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-rus-2021-country-profile-ru.pdf?sfvrsn=37e5d8b7_33&download=true

Раннее начало половой жизни, частую смену половых партнеров, отказ от использования барьерных методов контрацепции, курение и снижение иммунитета являются основными факторам риска развития РШМ. Однако влияние инфекций, передаваемых половым путем (ИППП), на развитие РШМ до сих пор остается предметом научных дискуссий и не имеет однозначного подтверждения.

В рамках нашего исследования мы решили проанализировать, какие этиологические факторы наиболее изучены и достоверно связаны с возникновением РШМ, а также оценить, какие профилактические меры могут быть эффективны для снижения риска развития этого заболевания.

Цели исследования – оценка паритета этиологических факторов риска относительно степени неоплазии шейки матки и возможности профилактики рака шейки матки.

Задачи исследования:

1) Провести анализ статистических данных пациенток, имеющих в патогистологическом заключении дисплазию шейки матки I – III стадий (CIN I – III).
2) Выявить ключевые и распространенные факторы риска развития дисплазии шейки матки в истории болезни пациенток разных групп и установить взаимосвязь между этими факторами и степенью тяжести дисплазии шейки матки.
3) Определить степень корреляции этиологических факторов и прогрессирования заболевания.

Материалы и методы исследования

На базе МКБ имени Святителя Луки, Республиканской клинической больницы имени Н.А. Семашко, лаборатории ЦНИЛ ОТКЗ Медицинского института имени С. И. Георгиевского был проведен ретроспективный анализ историй болезни 100 пациенток за период 2023-2024 год в возрасте от 19 до 76 лет с установленным диагнозом дисплазия шейки матки (МКБ X – N87). Для проведения исследования были использованы следующие методы: анализ акушерского анамнеза, гинекологический осмотр, биопсия шейки матки, расширенная кольпоскопия, цитологическое исследование, морфологический анализ биопсийного материала, а также молекулярно-биологическое тестирование на наличие ВПЧ методом ПЦР с определением генотипов 16, 18, 30 и 35. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием специализированных пакетов прикладных программ. Статистически значимыми считали различия по критерию Стьюдента $t > 2,0$ при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно статистическим данным Всемирной Организации Здравоохранения за последние 10 лет, РШМ занимает лидирующие позиции в структуре злокачественных заболеваний женской репродуктивной системы и Крымский регион в этом списке не исключение. Каждый год прослеживается тенденция к увеличению частоты выявления данной патологии. Диагностируемый в большинстве случаев РШМ на поздних стадиях требует совершенствования уже имеющихся методов диагностики, а еще более

важно – увеличения охвата женского населения медицинскими осмотрами с прицельным проведением онкоскрининга женской половой системы. Эта необходимость возникает не на «пустом месте», а в связи с тем, что у нас есть возможности доказанных и эффективных профилактических мер РШМ – своевременная диагностика фоновых предраковых заболеваний шейки матки, в частности, диспластических процессов, при которых нарушается деление клеток, их дифференцировка и созревание эпителия в пределах базальной мембраны влагалищной части шейки матки.

В ходе анализа и систематизации полученных данных нами были определены три группы пациентов с соответствующей степенью тяжести патологии, среди которых CIN I наблюдался у 29 (29%) человек , CIN II – у 15 (15%), резко выраженная дисплазия шейки матки (РВДШМ) – у 56 (56%) человек. В вышеуказанных группах была произведена градация пациентов по нескольким критериям: возрасту, носительству ВПЧ и наличию дополнительных клинических данных. Таким образом, по первому критерию пациентов распределили на две подгруппы – до 40 лет (1 подгруппа) и старше 40 лет (2 подгруппа), согласно угасанию гормонального фона у женщин. В первой подгруппе среди 29 пациенток с CIN I – 13 человек (44,8%), во второй – 16 человек (55,2%) (рис. 4).

В группе с CIN II – 5 человек (33,3%) – «40+», 10 (66,7%) – моложе 40 лет.

К первой подгруппе среди женщин с резко выраженной дисплазией шейки матки относятся 32 пациента (57,2%), ко второй – 24 (42,8%).

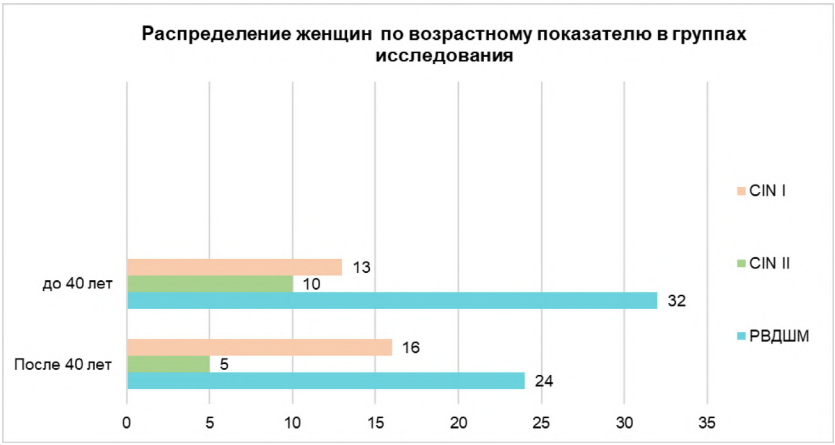


Рис. 4. Распределение женщин по возрастному показателю в группах исследования

На данном этапе по результатам распределения отмечается преобладание у пациенток дисплазии шейки матки тяжелой степени (56%). Так же отмечено, что женщин моложе 40 лет в двух категориях больше (59,1), чем женщин среднего возраста (40,9%).

Далее нами было рассчитано количество женщин в каждой группе, являющихся носителями ВПЧ (канцерогенные штаммы 16, 18) (рис. 5). Таким образом, было выявлено, что в группе CIN I – среди 29 пациенток – 4 пациентки имели положительный ВПЧ-тест (13,8%), 25 (86,2%) – отрицательный. Следует отметить, что среди выявленных носителей, все пациентки относились к подгруппе до 40 лет.

В группе с CIN II из 15 пациенток, носителями явились 5 женщин (33,3%), причем, в данной группе все респондентки, которым больше 40 лет, имели отрицательный результат (66,7%) ПЦР теста. Таким образом, вышеобозначенное число пациенток относились к группе молодых.

В группе пациенток с тяжелой дисплазией шейки матки (CIN III), 17 пациенток оказались носителями ВПЧ (30,3%) в возрастной категории лиц младше 40 лет.

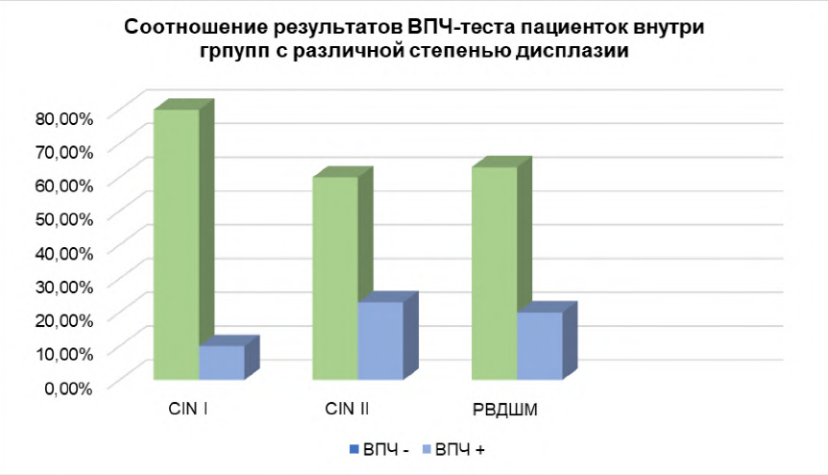


Рис. 5. Соотношение результатов ВПЧ-теста пациенток внутри групп с различной степенью дисплазии шейки матки

Исходя из приведенной выше статистики, отмечается преимущественное распространение носительства этиологически опасных штаммов ВПЧ среди более молодого поколения пациенток 26 женщин (26%).

Интересен и тот факт, что у женщин с резко выраженной дисплазией шейки матки отмечался низкий – 20% показатель по распространенности ВПЧ инфекцией, что говорит о неоднозначности бытующего мнения о ВПЧ – инфекции как основного этиологического фактора рака шейки матки.

Одной из поставленных задач было определить связь между прогрессированием CIN и наличием в анамнезе реализованной репродуктивной функции. Было выявлено, что среди всех пациенток старшего возраста, наличие детей отмечалось только лишь у 12 (27,3%) из 44 пациенток, причем среди этого количества, наблюдалось следующее распределение: с CIN I – 5 (41,6%), CIN II – 3 (25%), резко выраженная дисплазия шейки матки – 4 (33,3%). В то же время из 32 не выполнивших репродуктивную функцию, 16 (50%) выявлена тяжелая степень дисплазии. Среди женщин до 0 лет 10 пациенток (17,8%) из 56 имели детей (CIN I- у 4 (40%), CIN II- у 2 (20%), с резко выраженной дисплазией шейки матки – у 4 (40%)). Количество детей в данном случае не определяло диагностическую точность. Представленные результаты показали, что в основном развитие цервикальной неоплазии наблюдается у женщин с нереализованным репродуктивным потенциалом. Согласно данным, приведенным в изученной научной литературе, большинство беременных женщин, заболевающих раком, имели средний возраст около 30 лет. Это позволяет предположить, что отложенные роды или поздняя первая беременность могут способствовать развитию новообразований шейки матки [13, с. 299]. На прогрессирование опухоли также влияют гормональные изменения (колебания эстрогена, прогестерона и ХГЧ), связанные с HPV-инфекцией, ослабление иммунитета, усиление кровоснабжения и лимфодренажа в репродуктивной системе во время беременности, а также травма шейки матки в родах [18, с. 722]. Диагностика в этот период осложнена, поскольку нормальные процессы пролиферации тканей при беременности могут быть ошибочно приняты за признаки опухоли.

Заключение

Среди всех групп пациенток нашей выборки, превалировали пациентки с резко выраженной дисплазией шейки матки, что говорит о поздней выявляемости и указывает на недостаточный, не ежегодный охват женщин всех возрастных групп специальным гинекологическим осмотром. К тому же для профилактики рака шейки матки необходимо не пренебрегать проведением расширенной кольпоскопии с взятием биопсийного материала у молодых женщин с визуально измененной шейкой матки, а также тенденцию к рас-

пространённости заболевания среди пациенток, относящимся к возрастной группе до 40 лет. Наличие вируса папилломы человека имеет большое значение в прогрессировании диспластических процессов. По данным нашего исследования, ВПЧ был более распространен среди молодых пациенток. Тогда как среди пациенток старше 40 лет основным фактором развития заболевания можно считать нереализованный репродуктивный потенциал, что указывает на еще одно направление профилактической деятельности системы здравоохранения - повышения рождаемости и снижение среднего возраста материнства. Это приведет не только к эффективной профилактике диспластических и неопластических процессов в шейке матки, но и к улучшению демографических показателей государства.

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

Информация о спонсорстве. Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Абдугаффарова, Н. А., & Умарова, С. Г. (2020). Вторичная профилактика рака шейки матки в современных условиях. *Онкология. Журнал им. П. А. Герцена, 9*(4), 42–48. https://doi.org/10.17116/onkolog2020904142. EDN: https://elibrary.ru/XWDEMN
2. Жуйкова, Л. Д., Ананина, О. А., Пикалова, Л. В., Кононова, Г. А., & Каличкин, А. А. (2022). Влияние COVID-19 на эпидемиологическую ситуацию с раком шейки матки в Иркутской области и г. Иркутске. *Опухоли женской репродуктивной системы, 18*(1), 66–75. https://doi.org/10.17650/1994-4098-2022-18-1-66-75. EDN: https://elibrary.ru/QICLDX
3. Всемирная организация здравоохранения. (2021). *Сводные данные о раке шейки матки по странам, 2021. Российская Федерация*. Получено 15 марта 2025 г. с https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-rus-2021-country-profile.ru.pdf?sfvrsn=37e5d8b7_33&download=true
4. Всемирная организация здравоохранения. (2021). *Сводные данные о раке шейки матки по странам, 2021. Узбекистан*. Получено 15 марта 2025 г. с https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-uzb-2021-country-profile.ru.pdf?sfvrsn=81871bad_33&download=true

5. Каприн, А. Д., Старинский, В. В., & Шахзадова, А. О. (Ред.). (2021). *Злокачественные новообразования в России в 2020 г. (заболеваемость и смертность)*. М.: МНИОИ им. П. А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.
6. Каприн, А. Д., Старинский, В. В., & Шахзадова, А. О. (Ред.). (2022). *Злокачественные новообразования в России в 2021 году (заболеваемость и смертность)*. М.: МНИОИ им. П. А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Получено 15 марта 2025 г. с https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2022/11/zlokachestvennye-novoobrazovaniya-v-rossii-v-2021-g_zabolevaemost-i-smertnost.pdf
7. Каприн, А. Д., Старинский, В. В., & Шахзадова, А. О. (2022). *Состояние онкологической помощи населению России в 2022 году*. М.: МНИОИ им. П. А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.
8. Окунева, И. В., Золотарева, Т. Г., & Орлов, А. Е. (2022). Анализ заболеваемости и смертности от рака шейки матки в Самарской области за 10 лет. *Наука и инновации в медицине, 7*(4), 258–263. https://doi.org/10.35693/2500-1388-2022-7-4-258-263. EDN: https://elibrary.ru/HLJRPQ
9. Совет Министров Республики Крым. (2022). Постановление от 30.06.2022 № 491 «О внесении изменений в постановление Совета министров Республики Крым от 28 июня 2019 года № 349» (с. 58).
10. Кулиева, Г. З., Мкртчян, Л. С., Крикунова, Л. И., Иванов, С. А., & Каприн, А. Д. (2023). Эпидемиологические аспекты заболеваемости раком шейки матки и смертности от него (обзор литературы). *Опухоли женской репродуктивной системы, 19*(3), 77–84. https://doi.org/10.17650/1994-4098-2023-19-3-77-84. EDN: https://elibrary.ru/ZISAVS
11. Fowler, J. R., Maani, E. V., Dunton, C. J., & Jack, B. W. (2023). *Cervical cancer*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Получено 15 марта 2025 г. с https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431093/
12. Zhang, S., Xu, H., Zhang, L., & Qiao, Y. (2020). Cervical cancer: epidemiology, risk factors and screening. *Chinese Journal of Cancer Research, 32*(6), 720–728. https://doi.org/10.21147/j. EDN: https://elibrary.ru/PNAGIM
13. Arbyn, M., Weiderpass, E., Bruni, L., de Sanjosé, S., Saraiya, M., Ferlay, J., & Bray, F. (2020). Estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2018: a worldwide analysis. *Lancet Global Health, 8*(2), e191–e203. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30482-6. EDN: https://elibrary.ru/PSBJRF
14. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Can-*

cer Journal for Clinicians, 71(3), 209–249. https://doi.org/10.3322/caac.21660. EDN: https://elibrary.ru/MRLXRI

15. Singh, D., Vignat, J., Lorenzoni, V., Eslahi, M., Ginsburg, O., Lauby-Secretan, B., Arbyn, M., Basu, P., Bray, F., & Vaccarella, S. (2023). Global estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2020: a baseline analysis of the WHO Global Cervical Cancer Elimination Initiative. *Lancet Global Health, 11*(2), e197–e206. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00501-0. EDN: https://elibrary.ru/YEZVLY
16. Choi, S., Ismail, A., Pappas-Gogos, G., & Boussios, S. (2023). HPV and cervical cancer: a review of epidemiology and screening uptake in the UK. *Pathogens, 12*, 298. https://doi.org/10.3390/pathogens12020298. EDN: https://elibrary.ru/CTREQD
17. Всемирная организация здравоохранения. (2022). Human papillomavirus vaccines: WHO position paper. *Weekly Epidemiological Record, 97*(50), 645–672. Получено 15 марта 2025 г. с https://www.who.int/publications/i/item/who-wer9750-645-672
18. Nygård, M., & Nygård, S. (2023). The future of cervical cancer prevention: from "one-size-fits-all" to personalized screening. *Journal of Personalized Medicine, 13*, 161. https://doi.org/10.3390/jpm13020161. EDN: https://elibrary.ru/NNMEMQ

References

1. Abdugaffarova, N. A., & Umarova, S. G. (2020). Secondary prevention of cervical cancer in modern conditions. *Oncology. P. A. Herzen Journal*, 9(4), 42–48. https://doi.org/10.17116/onkolog2020904142. EDN: https://elibrary.ru/XWDEMN
2. Zhuikova, L. D., Ananina, O. A., Pikalova, L. V., Kononova, G. A., & Kalichkin, A. A. (2022). The impact of COVID-19 on the epidemiological situation of cervical cancer in the Irkutsk region and the city of Irkutsk. *Tumors of the Female Reproductive System*, 18(1), 66–75. https://doi.org/10.17650/1994-4098-2022-18-1-66-75. EDN: https://elibrary.ru/QICLDX
3. World Health Organization. (2021). *Cervical cancer country profiles 2021: Russian Federation*. Retrieved March 15, 2025, from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-rus-2021-country-profile.ru.pdf?sfvrsn=37e5d8b7_33&download=true
4. World Health Organization. (2021). *Cervical cancer country profiles 2021: Uzbekistan*. Retrieved March 15, 2025, from https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/cervical-cancer/cervical-cancer-uzb-2021-country-profile.ru.pdf?sfvrsn=81871bad_33&download=true

5. Kaprin, A. D., Starinsky, V. V., & Shakhzadova, A. O. (Eds.). (2021). *Malignant neoplasms in Russia in 2020 (incidence and mortality)*. Moscow: P. A. Herzen MNIOI – Branch of the FSBI "NMIC of Radiology" of the Ministry of Health of Russia.
6. Kaprin, A. D., Starinsky, V. V., & Shakhzadova, A. O. (Eds.). (2022). *Malignant neoplasms in Russia in 2021 (incidence and mortality)*. Moscow: P. A. Herzen MNIOI – Branch of the FSBI "NMIC of Radiology" of the Ministry of Health of Russia. Retrieved March 15, 2025, from https://oncology-association.ru/wp-content/uploads/2022/11/zlokachestvennye-novoobrazovaniya-v-rossii-v-2021-g_zabolevaemost-i-smertnost.pdf
7. Kaprin, A. D., Starinsky, V. V., & Shakhzadova, A. O. (2022). *The state of cancer care for the population of Russia in 2022*. Moscow: P. A. Herzen MNIOI — Branch of the FSBI "NMIC of Radiology" of the Ministry of Health of Russia.
8. Okuneva, I. V., Zolotareva, T. G., & Orlov, A. E. (2022). Analysis of incidence and mortality from cervical cancer in the Samara region over a 10-year period. *Science and Innovations in Medicine*, 7(4), 258–263. https://doi.org/10.35693/2500-1388-2022-7-4-258-263. EDN: https://elibrary.ru/HLJRPQ
9. Council of Ministers of the Republic of Crimea. (2022). Resolution No. 491 of June 30, 2022 "On amendments to the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Crimea of June 28, 2019 No. 349" (p. 58).
10. Kulieva, G. Z., Mkrtchyan, L. S., Krikunova, L. I., Ivanov, S. A., & Kaprin, A. D. (2023). Epidemiological aspects of cervical cancer incidence and mortality (a literature review). *Tumors of the Female Reproductive System*, 19(3), 77–84. https://doi.org/10.17650/1994-4098-2023-19-3-77-84. EDN: https://elibrary.ru/ZISAVS
11. Fowler, J. R., Maani, E. V., Dunton, C. J., & Jack, B. W. (2023). *Cervical cancer*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. Retrieved March 15, 2025, from https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431093/
12. Zhang, S., Xu, H., Zhang, L., & Qiao, Y. (2020). Cervical cancer: epidemiology, risk factors and screening. *Chinese Journal of Cancer Research*, 32(6), 720–728. https://doi.org/10.21147/j. EDN: https://elibrary.ru/PNAGIM
13. Arbyn, M., Weiderpass, E., Bruni, L., de Sanjosé, S., Saraiya, M., Ferlay, J., & Bray, F. (2020). Estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2018: a worldwide analysis. *Lancet Global Health*, 8(2), e191–e203. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30482-6. EDN: https://elibrary.ru/PSBJRF
14. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(3), 209–249. https://doi.org/10.3322/caac.21660. EDN: https://elibrary.ru/MRLXRI

15. Singh, D., Vignat, J., Lorenzoni, V., Eslahi, M., Ginsburg, O., Lauby-Secretan, B., Arbyn, M., Basu, P., Bray, F., & Vaccarella, S. (2023). Global estimates of incidence and mortality of cervical cancer in 2020: a baseline analysis of the WHO Global Cervical Cancer Elimination Initiative. *Lancet Global Health*, 11(2), e197–e206. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00501-0. EDN: https://elibrary.ru/YEZVLY
16. Choi, S., Ismail, A., Pappas-Gogos, G., & Boussios, S. (2023). HPV and cervical cancer: a review of epidemiology and screening uptake in the UK. *Pathogens*, 12, 298. https://doi.org/10.3390/pathogens12020298. EDN: https://elibrary.ru/CTREQD
17. World Health Organization. (2022). Human papillomavirus vaccines: WHO position paper. *Weekly Epidemiological Record*, 97(50), 645–672. Retrieved March 15, 2025, from https://www.who.int/publications/i/item/who-wer9750-645-672
18. Nygård, M., & Nygård, S. (2023). The future of cervical cancer prevention: from "one-size-fits-all" to personalized screening. *Journal of Personalized Medicine, 13*, 161. https://doi.org/10.3390/jpm13020161. EDN: https://elibrary.ru/NNMEMQ

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Ильясова Эдие Усеиновна, студентка, кафедра акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
ediei@bk.ru

Марулова Алина Владимировна, студентка кафедра акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
alina.marulova@gmail.com

Румянцева Зоя Сергеевна, к.м.н., доцент, заведующая кафедрой акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
zoyarum@inbox.ru

Сулима Анна Николаевна, д.м.н., профессор, профессор кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
gsulima@yandex.ru

Аникин Сергей Сергеевич, к.м.н., доцент, доцент кафедры акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
ssanikin@rambler.ru

Румянцева Екатерина Сергеевна, студентка, кафедра акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
rumancevakata7@gmail.com

Бабушкин Андрей Андреевич, магистр, кафедра акушерства, гинекологии и перинатологии № 1
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С. И. Георгиевского ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
бул. Ленина, 5/7, г. Симферополь, 295051, Российская Федерация
rythymguitar348@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Edie U. Ilyasova, Student of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1

Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
ediei@bk.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-0079-4763

Alina V. Marulova, Student of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
alina.marulova@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/ 0009-0000-4570-2848

Zoya S. Rumyantseva, PhD, Associate Professor, Head of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
zoyarum@inbox.ru
SPIN-code: 3480-3514
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1711-021X

Anna N. Sulima, MD, Professor, Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
gsulima@yandex.ru
SPIN-code: 2232-0458
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2671-6985

Sergey S. Anikin, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
ssanikin@rambler.ru

SPIN-code: 5379-0703
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8142-2173

Ekaterina S. Rumyantseva, Student of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
rumancevakata7@gmail.com
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5371-3820

Andrei A. Babushkin, Magister of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology № 1
Order of the Red Banner of Labor Medical Institute named after S. I. Georgievsky, V.I. Vernadsky Crimean Federal University
5/7, Lenin Blvd., Simferopol, 295051, Russian Federation
rythymguitar348@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-2733-9843

Поступила 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025
Принята 25.05.2025

Received 10.04.2025
Revised 20.05.2025
Accepted 25.05.2025

ОПЫТ РЕГИОНОВ

EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1364 **EDN: XCRYKI**
УДК 619:616.995.1

Научная статья

САНИТАРНО-ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НОЗЕМАТОЗА ПЧЕЛ НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА

Е.Ю. Тихомирова, А.Н. Байгазанов, А.С. Казарян, С.А. Пашаян, В.В. Абрамян

Аннотация

Обоснование. В Восточном Казахстане присутствуют благоприятные природные, климатические и экологические условия для развития пчеловодства. Но на жизнеспособность, численность и продуктивность пчелиных семей отрицательно влияют различные факторы, чаще всего к ним относятся заразные заболевания пчел, в т.ч. нозематоз.

Цель исследования – провести санитарно-эпизоотологический мониторинг нозематоза пчел в условиях Восточного Казахстана.

Впервые на территории Восточного Казахстана проведен сравнительный анализ поражения нозематозом пасек горных и степных районов, а также степень поражения нозематозом пчелосемей и количество спор в одной пчеле. Составлена эпизоотическая карта по распространению нозематоза пчел в горных и степных районах региона.

Материал и методы. Работа проводилась в период с 2018 по 2022 гг. в лаборатории ветеринарной и пищевой безопасности НАО Университета имени Шакарима города Семей, в Республиканской ветеринарной лаборатории Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК (Семей), испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» (Алматы), в лаборатории физико-химических методов исследования ТОО «Научно-производственное предприятие «Антиген» (Алматы) и на кафедре зоологии беспозвоночных Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства НИ ТГУ (г. Томск). Отбор проб проводили на пасеках Восточного Казахстана Республики Казахстан.

Результаты. Анализ полученных результатов подтверждает, что пасеки Восточного Казахстана являются неблагополучными по нозематозу пчел. В горных районах (Катон-Карагайском и Урджарском) поражение пчел нозематозом выше, чем в степных (Бородулихинском и Шемонаихинском). В горных районах пораженность пасек нозематозом составила 83,3 и 80% (в среднем 81,65%), а в степных районах – 62,5 и 50% (в среднем 56,25%). Из исследованных проб медоносных пчел, взятых из пчелиных семей, в 23,3% случаев были обнаружены споры микроспоридии рода *Nosema*. ПЦР исследования показали, что ДНК микроспоридий рода *Nosema* обнаружена у 66,7% пчел от общего количества исследованных проб. Из них только 1 образец содержал *Nosema apis*, в 30 пробах пчел выявлена *Nosema ceranae,* и в 3-х (8,82%) пчелиных семьях зарегистрирована смешанная инфекция: *Nosema ceranae* и *Nosema apis*.

Заключение. Пасеки Восточного Казахстана являются неблагополучными по нозематозу пчел. В горных районах поражение пчел нозематозом выше, чем в степных. По результатам исследования составлена эпизоотологическая карта по нозематозу пчел Восточно-Казахстанской области. ПЦР исследования показали, что из общего числа поражённых пчел только 2,99% содержали возбудителя *Nosema apis*, у 88,23% выявлена *Nosema ceranae,* у 8,82% зарегистрирована смешанная инфекция *Nosema ceranae* и *Nosema apis*.

Ключевые слова: медоносные пчелы; болезни пчел; нозематоз; возбудители; *Nosema ceranae*; *Nosema apis*; эпизоотологическая карта

Для цитирования. Тихомирова, Е. Ю., Байгазанов, А. Н., Казарян, А. С., Пашаян, С. А., & Абрамян, В. В. (2025). Санитарно-эпизоотологический мониторинг нозематоза пчел на востоке Казахстана. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 479-508. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1364

Original article

SANITARY AND EPIZOOTOLOGICAL MONITORING OF BEE NOSEMATOSIS IN THE EAST OF KAZAKHSTAN

E.Yu. Tikhomirova, A.N. Baygazanov, A.S. Kazaryan, S.A. Pashayan, V.V. Abramyan

Abstract

Background. In East Kazakhstan, there are favorable natural, climatic and ecological conditions for the development of beekeeping. But the viability, number and

productivity of bee colonies are negatively affected by various factors. Most often, contagious diseases of bees, which include nosematosis.

Purpose. The purpose of the study is to conduct sanitary and epizootological monitoring of bee nosematosis in the conditions of East Kazakhstan.

For the first time in East Kazakhstan, a comparative analysis of the defeat of apiaries in mountainous and steppe regions by nosematosis, as well as the degree of defeat of bee colonies by nosematosis and the number of spores in one bee was carried out. An epizootic map of the spread of bee nosematosis in the mountainous and steppe regions of the region was compiled.

Material and methods. The work was carried out from 2018 to 2022. in the laboratory of veterinary and food safety of the NAO Shakarim University of Semey, in the Republican veterinary laboratory of the Republican state enterprise on the right of economic management of the Committee for Veterinary Control and Supervision of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan (Semey), the testing laboratory of Nutritest LLP (Almaty), in the laboratory of physicochemical research methods of Antigen Research and Production Enterprise LLP (Almaty) and at the Department of Invertebrate Zoology of the Institute of Biology, Ecology, Soil Science, Agriculture and Forestry of the Tomsk State University (Tomsk). Sampling was carried out at apiaries in Eastern Kazakhstan of the Republic of Kazakhstan.

Results. Thus, the analysis of the obtained results confirms that the apiaries of Eastern Kazakhstan are unfavorable for bee nosematosis. In the mountainous regions (Katon-Karagaysky and Urzharsky), the incidence of bees with nosematosis is higher than in the steppe regions (Borodulikha and Shemonaikha). In mountainous areas, the incidence of nosematosis in apiaries was 83.3 and 80% (on average 81.65%), and in steppe areas 62.5 and 50% (on average 56.25%). Of the studied samples of honey bees taken from bee families, spores of the microsporidia of the genus Nosema were found in 23.3% of cases. PCR studies showed that DNA of microsporidia of the genus Nosema was found in 66.7% of bees from the total number of studied samples. Of these, only 1 sample contained Nosema apis, Nosema ceranae was detected in 30 bee samples and a mixed infection was registered in 3 (8.82%) bee families: Nosema ceranae and Nosema apis.

Conclusion. Apiaries of Eastern Kazakhstan are unfavorable for nosematosis of bees. In mountainous areas, the incidence of nosematosis among bees is higher than in steppe areas. Based on the results of the study, an epizootological chart for nosematosis among bees in the East Kazakhstan region was compiled. PCR studies showed that of the total number of affected bees, only 2.99% contained the pathogen Nosema apis, 88.23% were found to have Nosema ceranae, and 8.82% had a mixed infection of Nosema ceranae and Nosema apis.

Keywords: honey bees; bee diseases; nosematosis; pathogens; Nosema ceranae; Nosema apis; epizootological map

For citation. Tikhomirova, E. Yu., Baygazanov, A. N., Kazaryan, A. S., Pashayan, S. A., & Abramyan, V. V. (2025). Sanitary and epizootological monitoring of bee nosematosis in the east of Kazakhstan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 479-508. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1364

Введение

Во всем мире медоносная пчела *Apis mellifera* Linnaeus (Hymenoptera: Apidae) является экологически и экономически важным видом. Это связано с тем, что медоносная пчела – важнейшее насекомое-опылитель в мировом сельском хозяйстве, опыляя более 90% энтомофильных сельскохозяйственных культур, и как ресурсный вид имеет особую научную, познавательную и практическую ценность [1-4]. Кроме того, медоносные пчелы представляют собой ценный актив благодаря комплексу пчелопродуктов, используемых людьми для питания и лечения [5].

В производстве меда и продуктов пчеловодства Восточный Казахстан имеет давние традиции, основанные на разнообразной и богатой растительности, подходящей для производства меда, а также на благоприятных природных, климатических и экологических условиях. Восточный Казахстан является не только родиной пчеловодства для Казахстана, но и основным экспортером меда в республике [6; 7].

На круглом столе, прошедшем 19 марта 2024 года в Астане в Комитете Мажилиса по аграрным вопросам, обсуждались актуальные вопросы развития пчеловодства.

Однако, на жизнеспособность, численность и продуктивность пчелиных семей отрицательно влияют различные факторы. При этом причиной гибели или снижения силы и продуктивности пчелосемей преимущественно становятся болезни пчел и вызывающие их вредные организмы.

Чаще всего встречаются инфекционные и инвазионные заболевания пчел, которые вызывают микроспоридии рода *Nosema* (Nosematidae), гриб *Ascosphaera apis*, споры которых могут оставаться жизнеспособными в окружающей среде в течение многих лет, передавая болезни между колониями пчел и среди их особей, а также клещи *Varroa destructor* и *Acarapis woodi*, являющиеся одними из самых серьезных вредителей пчел [8, 9].

Считается, что возбудитель нозематоза влияет на функциональное состояние организма пчел. Так, у нозематозных пчел, несмотря на усиленное потребление белкового корма, отмечается снижение содержания белка,

недостаток которого приводит к атрофии гипофаренгиальных желез и резкому снижению активности ферментов [10], инвертазы и амилазы (диастазы) [11], в результате выращивается относительно малая численность пчел и лишь на короткий период времени, что очень сокращает развитие семьи, снижает массу тела и азотосодержание в организме пчел-кормилиц, вследствие выращивания расплода с помощью собственного белка, при этом продолжительность жизни пчел значительно сокращается [12; 13].

Кроме того, выработка меда в значительной степени зависит от развития семьи и от физиологической особенности организма пчел использовать медосбор. Небезызвестно, что пчелы преобразовывают цветочный нектар в мед, добавляя в него секрет гипофаренгиальных желез, запускающий процесс превращения нектара в мед. Чаще всего, снабжение белка с пищей определяет интенсивность секреции ферментов у сборщиц медоносных пчел, что воздействует на количество собираемого нектара, в результате чего отмечена тесная корреляция между секреторной активностью желез или активностью ферментов и производством меда. Следовательно, активность гипофаренгиальных желез зависит от количества белка, содержащегося в корме [12].

В настоящий момент дать объективную оценку эпизоотической ситуации по заболеваниям пчел не представляется возможным, так как систематический мониторинг по данным заболеваниям на территории Восточного Казахстана не проводился. Более того, литературные данные, характеризующие сравнительный анализ качества меда, полученного от здоровых и больных пчелосемей, весьма недостаточны.

Поскольку многие исследования доказывают негативные последствия инфекционных и инвазионных заболеваний на уровне пчелиной семьи, возникает необходимость проведения мониторинговых исследований медоносных пчел на пасеках Восточного Казахстана.

Болезни медоносных пчел и их влияние на показатели качества меда обусловливают тенденцию развития пчеловодства в Республике Казахстан, где по состоянию на 2023 г. общее количество пчелосемей составляло 233686 шт., из них в Восточном Казахстане сосредоточено 53,4%, или 124687 пчелиных семей [33], с которых ежегодно собирается до 80% всего меда республики.

Следовательно, контроль и надзор за распространением и лечением болезней пчел, в том числе и на государственном уровне, поможет обеспечить ветеринарно-санитарное благополучие на пасеках, сохраняя при этом численность пчелиных семей без снижения их продуктивности и качества производимой продукции.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась в период с 2018 по 2022 гг. в лаборатории ветеринарной и пищевой безопасности НАО Университета имени Шакарима города Семей, в Республиканской ветеринарной лаборатории Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК (Семей), испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» (Алматы), в лаборатории физико-химических методов исследования ТОО «Научно-производственное предприятие «Антиген» (Алматы) и на кафедре зоологии беспозвоночных Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства НИ ТГУ (Томск).

Для отбора проб использовались пасеки Восточного Казахстана Республики Казахстан.

Район отбора проб и испытаний проб расположен на северо-востоке и юге региона. Для Бородулихинского и Шемонаихинского районов характерны низменности, в основном плоские равнины, а Катон-Карагайский и Урджарский районы расположены в горах.

Климат исследуемых районов Восточного Казахстана резко континентальный, характеризуется продолжительной суровой зимой и сухим, достаточно жарким и засушливым летом с большими колебаниями температуры во время года и в течение 24 ч. Континентальность несколько уменьшается в горных районах и в предгорьях.

Отличительные особенности климатических условий равнинной и горной местности включают температуру и количество осадков [6].

В Катон-Карагайском районе зимы продолжительные и относительно холодные. Прохладное и короткое лето (90-100 дней) обусловливает краткость вегетационного периода.

Климат в Урджарском районе характеризуется как полусухой, умеренно жаркий.

Бородулихинский район расположен в сухостепной подзоне степной зоны.

Шемонаихинский район относится к горно-луговой степи и предгорной степи, т.е. к умеренно влажной природно-климатической зоне.

Вегетационный период в Катон-Карагайском, Бородулихинском, Шемонаихинском и Урджарском районах длится соответственно 100, 122, 126 и 166 дней.

Материалом для изучения поражения возбудителем нозематоза, клещевых инвазий варроатоза и акарапидоза явились медоносные пчелы *Apis mellifera* L., полученные от 394 пчелиных семей с 30 пасек, расположенных в четырех районах Восточного Казахстана (Катон-Карагайский, Урджарский, Бородулихинский, Шемонаихинский) в весенне-осенний периоды.

Материалом для лабораторного исследования аскосфероза медоносных пчел послужили образцы пчелиного расплода, полученные от 58 пчелиных семей с 9 пасек Бородулихинского района Восточного Казахстана в весенне-летний периоды.

Для изучения органолептических и физико-химических показателей в период главного медосбора были взяты 12 образцов свежеоткачанного меда с разных по силе пчелиных семей, полученного на пасеках Урджарского, Бородулихинского и Шемонаихинского районов.

Для достижения поставленной цели и решения поставленных задач проводились научные исследования с использованием методов эпизоотологического мониторинга, лабораторной диагностики (микроскопические, микологические, молекулярно-генетические, акаралогические), ветеринарно-санитарной экспертизы продукции пчеловодства (органолептические и физико-химические), а также метода определения силы пчелиных семей и медовой продуктивности.

Карты составлялись по лицензионной программе CorelDRAW 2020 (64-Bit). Программа представляет собой мультифункциональный графический редактор векторной графики, разработанный канадской корпорацией Corel.

Алгоритм исследования состоял из двух этапов и представлен на рисунке 1.

Исследование проб пчел проводили групповым способом. Для этого из предварительно замороженных пчел вынимали среднюю кишку, а от пчелиного подмора использовали брюшко, которые тщательно растирали пестиком в фарфоровой ступке до получения гомогенной суспензии с дистиллированной водой, добавленной из расчета 1 мл на одну пчелу. Одну каплю суспензии наносили на предметное стекло, закрывали покровным стеклом и изучали в затемненном поле зрения при среднем увеличении (х400) с использованием светового микроскопа Микмед-5 XC1450 и гемоцитометра. Всего в одной пробе просматривали не менее 20 полей.

В гемоцитометре подсчитывали количество спор ноземы, которое использовали для расчета среднего количества спор на пчелу [11].

При наличии ноземы в поле зрения микроскопа обнаруживают овальные, слегка изогнутые, иногда прямые или в виде «рисового зерна» сильно преломляющие свет споры рода *Nosema* размером 4,5-7,5х2,0-3,5 мкм.

Метод подсчета количества спор и определение степени поражения

Для количественной диагностики нозематоза производили подсчет в гемоцитометре счетной камеры Горяева. Количество спор ноземы подсчи-

тывали в пяти больших квадратах, разбитых на 16 малых по диагональной сетке гемоцитометра, затем умножали на 50 000 для получения числа спор в одном мл суспензии или на одну пчелу.

Степень поражения оценивали по четырехбалльной шкале по количеству спор в пчеле [11] (табл. 1).

Таблица 1.

Оценка степени поражения пчелиных семей микроспоридиями рода *Nosema*

Степень поражения, в баллах	1	2	3	4
Число спор в одной пчеле, в миллионах	5	5,05-25	25,05-75	75 и свыше

Генетический молекулярный анализ видовой принадлежности возбудителя нозематоза проводили путем гуанидинизотиоцианат-фенол-хлороформной экстракции. Изолированная ДНК анализировалась с помощью мультипраймерной ПЦР с использованием набора праймеров, высокоспецифичных для генов, кодирующих 16S рРНК *Nosema apis* (Apis 321–F/R) и 16S рРНК *Nosema ceranae* [4, 24].

Для определения эпизоотологии нозематоза в Восточном Казахстане сначала методом световой микроскопии определяли наличие спор рода *Nosema* в среднем отделе кишечника проб пчел, а затем с помощью гемоцитометра подсчитывали количество микроспоридий на одну пчелу.

Результаты исследования

Проведенные микроскопические исследования подтверждают, что на пасеках Восточного Казахстана широко распространен нозематоз. Из 30 обследованных пасек с общим количеством пчелосемей 3692 штук нозематоз зарегистрирован на 21 пасеке (70%) (табл. 2).

Таблица 2.

Пораженность пасек нозематозом в Восточном Казахстане

Районы	Пасеки			Общее количество пчелосемей на обследованных пасеках, шт.
	всего обследовано, шт.	поражено нозематозом, шт.	пораженность, %	
Катон-Карагайский	6	5	83,3	320
Урджарский	10	8	80	1430
Бородулихинский	8	5	62,5	892
Шемонаихинский	6	3	50	1050
Итого	30	21	70,0	3692

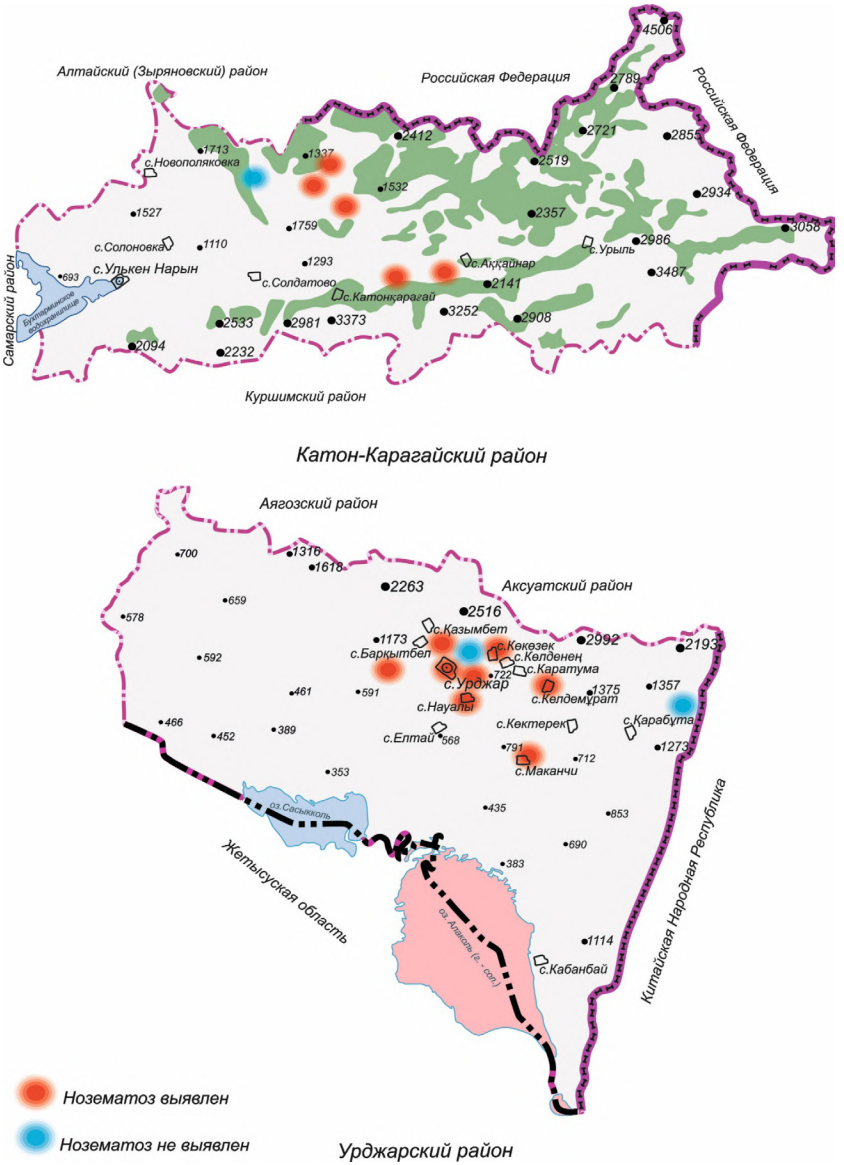


Рис. 1. Карта распространения микроспоридий рода *Nosema* в горных районах Восточного Казахстана

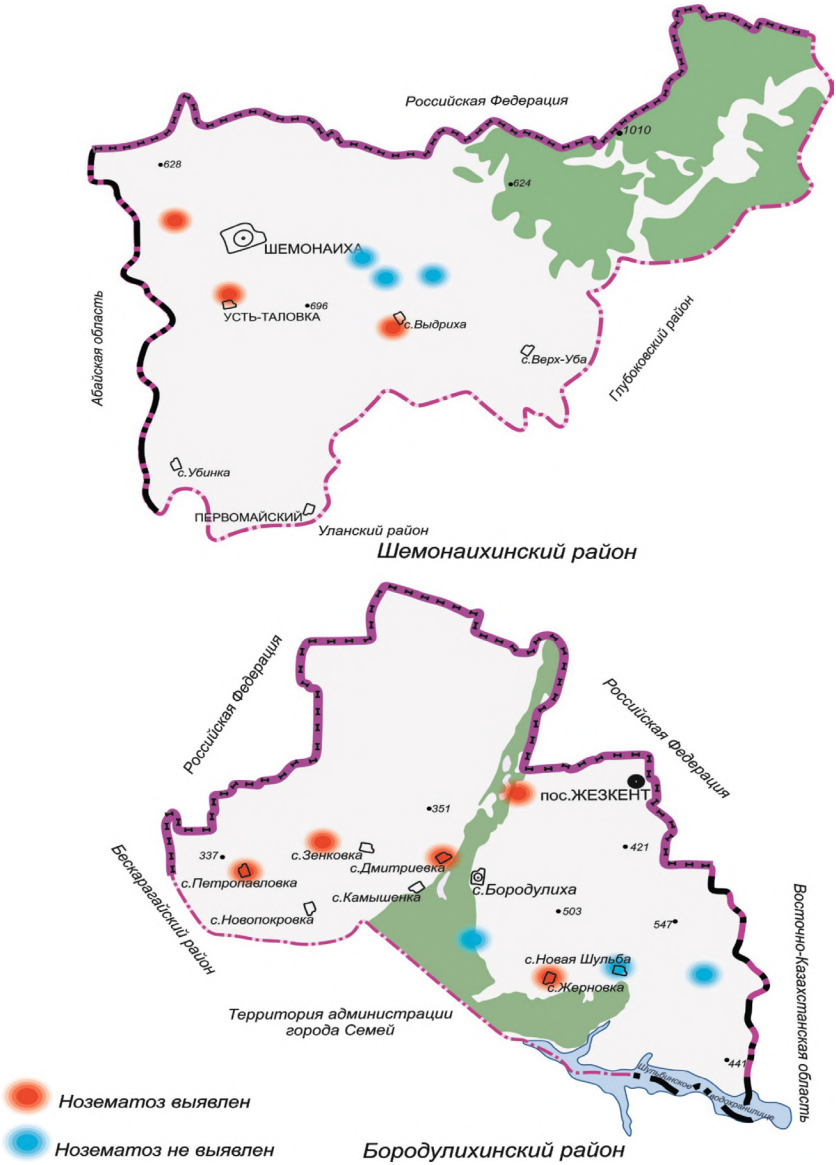


Рис. 2. Карта распространения микроспоридий рода *Nosema* в степных районах Восточного Казахстана

По данным, приведенным в таблице 2, видно, что в горных районах (Катон-Карагайском и Урджарском) поражение пасек нозематозом выше, чем в степных (Бородулихинском и Шемонаихинском) (рис. 2). В горных районах пораженность пасек нозематозом составила 83,3 и 80% (в среднем 81,65%) (рис. 2), а в степных районах – 62,5 и 50% (в среднем 56,25%) (рис. 3). Однако, представленный на рисунке 4 сравнительный анализ показал, что статистически значимых различий в зависимости количества (доли) пораженных нозематозом пасек от района их расположения не установлено (p>0,05).

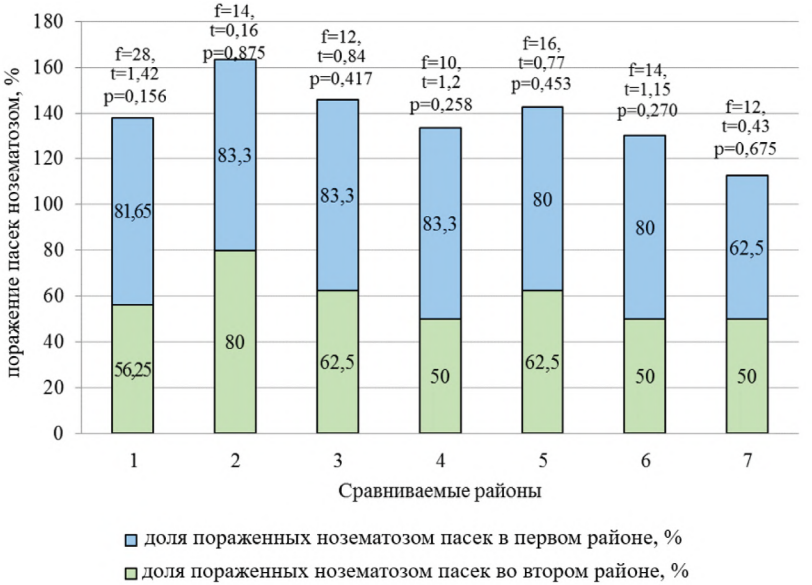
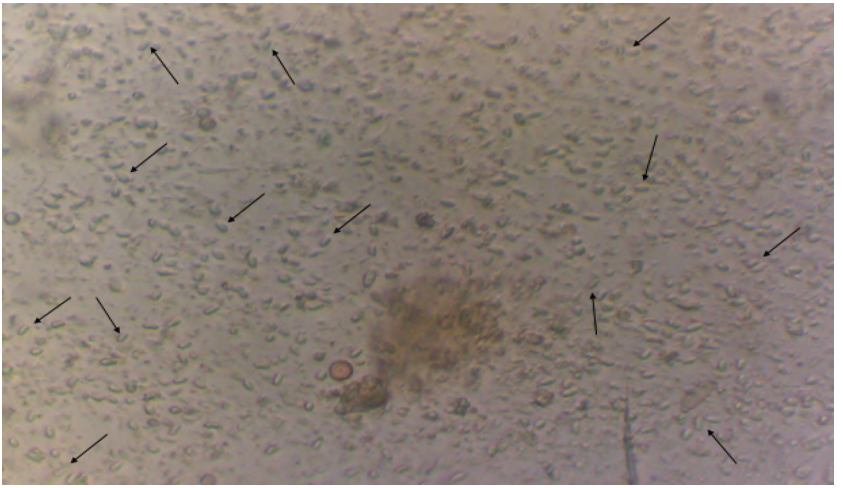


Рис. 3. Сравнительный анализ поражения нозематозом пасек в районах
1 – горные/степные; 2 – Катон-Карагайский/Урджарский; 3 – Катон-Карагайский/ Бородулихинский; 4 – Катон-Карагайский/Шемонаихинский; 5 – Урджарский/ Бородулихинский; 6 – Урджарский/ Шемонаихинский; 7 – Бородулихинский/ Шемонаихинский

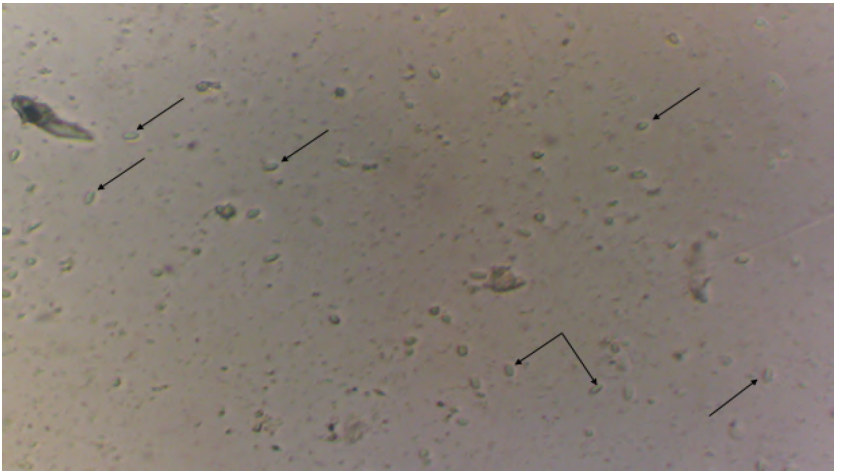
Из 394 исследованных проб медоносных пчел, взятых из пчелиных семей, в 92 пробах, или в 23,3% случаев, были обнаружены споры микроспоридии рода *Nosema*.

При этом установлены различия степени поражения медоносных пчел (в процентах от общего числа проб/от количества положительных проб). В среднем по региону слабая степень поражения обнаружена в 6 пробах (1,5/6,5%), средняя – в 55 пробах (14,0/59,8%) и сильная – в 31 пробе (7,9/33,7%). Таким

образом, пораженность пчелосемей в разных районах Восточного Казахстана варьировала от слабой (1 балл) до сильной (3 балла) степени, крайне тяжелая степень поражения (4 балла) пчел отсутствовала (рис. 5, табл. 4).



а



б

Рис. 4. Споры микроспоридий рода *Nosema* spp. (х400)

Степень зараженности пчел: а – сильная степень поражения (3 балла); б – слабая степень поражения (1 балл)

Согласно данным таблицы 3, в Катон-Карагайском районе слабая степень поражения пчелиных семей не обнаружена. Высокая степень поражения (3 балла) зарегистрирована в Катон-Карагайском (60% от положительных проб) и Бородулихинском (52,2%) районах. В Урджарском и Шемонаихинском районах преобладает средняя степень поражения (70,0 и 73,7% от числа положительных проб, соответственно).

Таблица 3.

Показатели степени зараженности пчелиных семей

Районы	Пробы			Степень поражения (количество проб, шт./% от общего числа проб (% от числа положительных проб))					Количество спор в пчеле, млн.
	исследовано, шт.	положительные		-	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	
		шт.	%						
Катон-Карагайский	31	10	32,2	21 / 67,5	-/- (-)	4/ 12,9 (40)	6/ 19,4 (60)	-	22,6± 2,76
Урджарский	170	40	23,5	130/ 76,5	3/1,8 (7,5)	28/ 16,5 (70,0)	9/ 5,3 (22,5)	-	14,83± 1,25
Бородулихинский	89	23	25,8	66/ 74,16	2/2,2 (8,7)	9/ 10,1 (39,1)	12/ 13,5 (52,2)	-	20,9± 2,17
Шемонаихинский	104	19	18,3	85/ 81,7	1/1 (5,2)	14/ 13,5 (73,7)	4/ 3,8 (21,1)	-	13,5± 1,85
Итого	394	92	23,4*	302/ 76,6	6/1,5 (6,5)	55/ 14,0 (59,8)	31/ 7,9 (33,7)	-	17,96*
* – среднее значение									

При сравнении двух районов (рис. 5) разность в заболеваемости пчелиных семей нозематозом статистически недостоверна ($p>0,05$).

Статистически значимые различия выявлены в зависимости количества спор в пчеле от продолжительности вегетационного периода в районе ($p>0,05$). Вегетационный период в Катон-Карагайском, Бородулихинском, Шемонаихинском и Урджарском районах длится 100, 122, 126 и 166 дней, а количество спор в пчеле составляет 22,6±2,76, 20,9±2,17, 13,85±1,85 и 14,83±1,25 млн. шт., соответственно (рис. 6). В Катон-Карагайском и Бородулихинском районах количество спор в пчеле существенно выше, чем

в Урджарском (f=48, t=2,56, p=0,011; f=27, t=2,74, p=0,006) и Шемонаихинском (f=61, t=2,436, p=0,015; f=40, t=2,6, p=0,009).

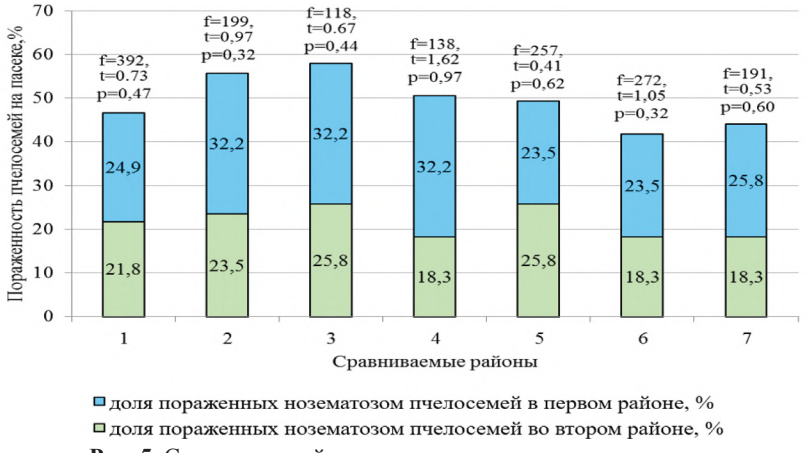


Рис. 5. Сравнительный анализ степени поражения нозематозом пчелосемей на пасеках

1 – горные/степные; 2 – Катон-Карагайский/Урджарский; 3 – Катон-Карагайский/ Бородулихинский; 4 – Катон-Карагайский/Шемонаихинский; 5 – Урджарский/ Бородулихинский; 6 – Урджарский/ Шемонаихинский; 7 – Бородулихинский/ Шемонаихинский

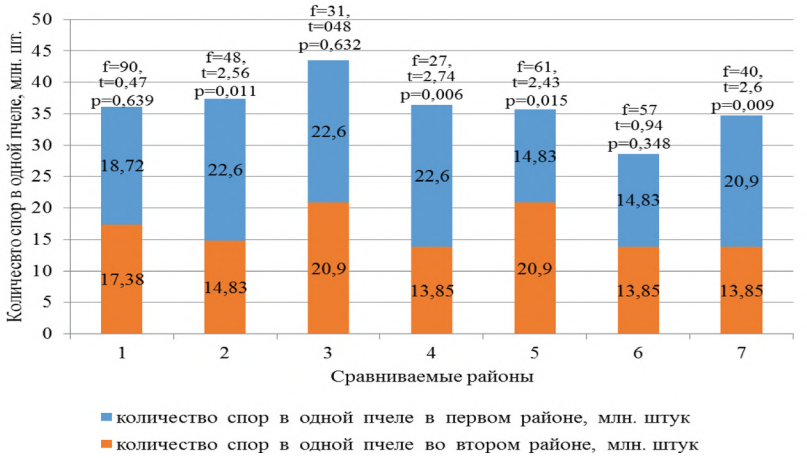


Рис. 6. Сравнительный анализ количества спор в одной пчеле

1 – горные/степные; 2 – Катон-Карагайский/Урджарский; 3 – Катон-Карагайский/ Бородулихинский; 4 – Катон-Карагайский/Шемонаихинский; 5 – Урджарский/ Бородулихинский; 6 – Урджарский/ Шемонаихинский; 7 – Бородулихинский/ Шемонаихинский

Таким образом, достоверно установлено, что при сокращении вегетационного периода количество спор в одной пчеле и степень пораженности пчелосемей нозематозом возрастают. Коэффициент корреляции (r) равен -0,720. Связь между исследуемыми признаками обратная, теснота (сила) связи по шкале Чеддока – высокая.

Изучение пораженности возбудителями нозематоза методом молекулярно-генетического анализа, позволяющим дифференцировать микроспоридии рода *Nosema*, на территории Восточного Казахстана подтвердил наличие *Nosema apis* и *Nosema ceranae* (табл. 4).

Таблица 4.

Распространение *Nosema apis* и *Nosema ceranae* на территории Восточного Казахстана

Районы	Пробы			Выявленный вид рода *Nosema* (количество проб, шт / % от общего числа положительных проб)		
	исследовано, шт.	положительные		*Nosema apis*	*Nosema ceranae*	*Nosema apis* + *Nosema ceranae*
		шт.	%			
Катон-Карагайский	4	-	-	-	-	-
Урджарский	27	23	85,2	1 (4,3)	20 (86,9)	2 (8,7)
Бородулихинский	13	7	53,8	-	6 (85,7)	1 (14,2)
Шемонаихинский	7	4	57,1	-	4 (100)	-
Итого	51	34	66,7	1 (2,94)	30 (88,24)	3 (8,82)

Из данных таблицы 4 следует, что при исследовании 51 пробы пчел, взятых на пасеках в четырех районах Восточного Казахстана, ДНК микроспоридий рода *Nosema* обнаружена в 34 пробах, что составляет 66,7% от общего количества исследованных проб. Из них только 1 образец (2,94%) содержал *Nosema apis*, в 30 семьях пчел (88,24%) выявлена *Nosema ceranae* и в 3-х (8,82%) пчелиных семьях зарегистрирована смешанная инфекция: *Nosema ceranae* и *Nosema apis*.

На основании результатов исследования пчелиных семей установлено, что в Восточном Казахстане доля здоровых пчелиных семей составляет 33%. Количество здоровых пчелосемей в разрезе районов: в Урджарском, Бородулихинском и Шемонаихинском районах – 15, 46 и 43%, соответственно. Доли видового состава рода *Nosema* от общего числа исследованных образцов распределялись следующим образом: по Восточному Казахстану: *Nosema apis* – 2%, *Nosema ceranae* – 59%, смешанная инфекция – 6% (рис.

7), из них: по Урджарскому району: *Nosema apis* – 4%, *Nosema ceranae* – 74%, смешанная инфекция – 7% (рис. 8); по Бородулихинскому району: *Nosema ceranae* – 46%, смешанная инфекция – 8%, *Nosema apis* – не обнаружена (рис. 9); по Шемонаихинскому району: *Nosema ceranae* – 57%, *Nosema apis* и смешанная инфекция установлены не были (рис. 10).

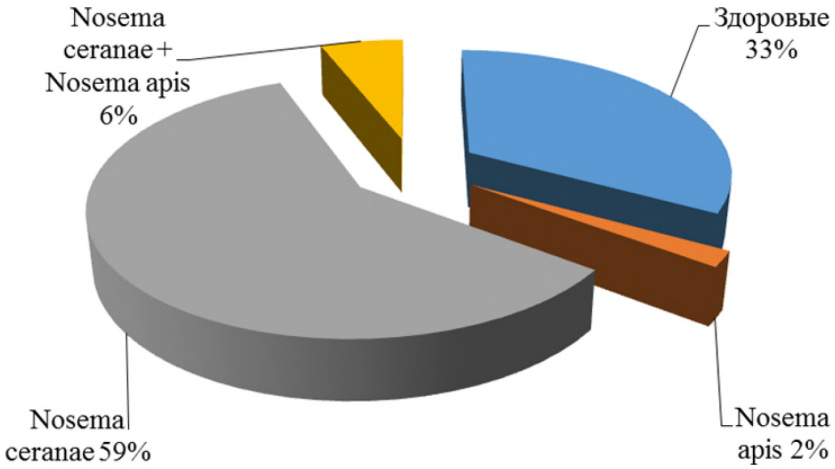


Рис. 7. Распространение видов рода *Nosema* в Восточном Казахстане, % от общего числа исследованных проб

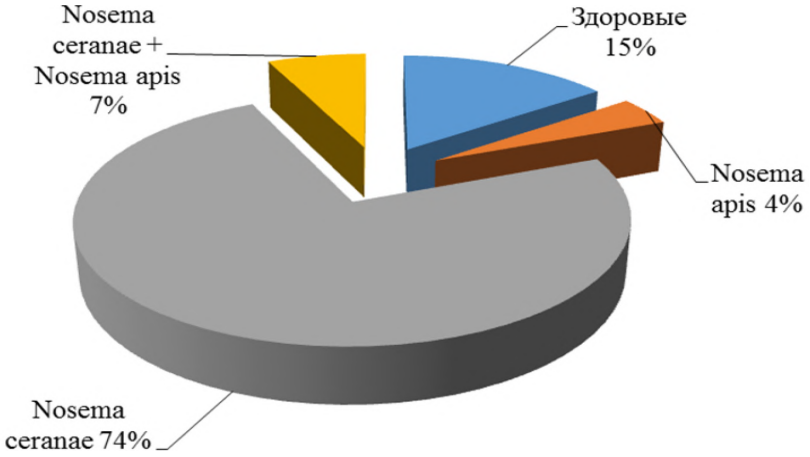


Рис. 8. Распространение видов рода *Nosema* в Урджарском районе, % от общего числа исследованных проб

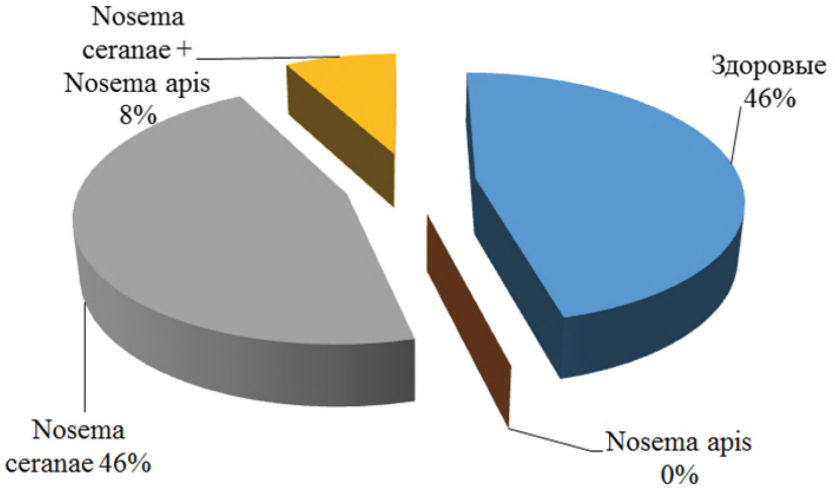


Рис. 9. Распространение видов рода *Nosema* в Бородулихинском районе, % от общего числа исследованных проб

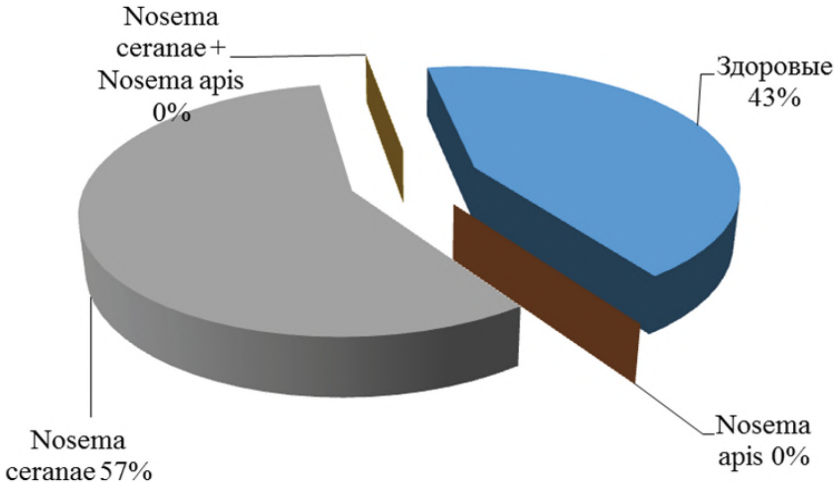


Рис. 10. Распространение видов рода *Nosema* в Шемонаихинском районе, % от общего числа исследованных проб

По восточному региону Казахстана установлено следующее распределение видовой принадлежности возбудителей нозематоза пчел (от общей численности положительных образцов): *Nosema apis* – 2,94, 88,24% при-

надлежало *Nosema ceranae* и 8,82% составила ассоциативная инфекция, из них, по Урджарскому району, соответственно: 4,3, 86,9, 8,7%; по Бородулихинскому району: *Nosema ceranae* – 85,7%, смешанная инфекция – 14,2%, *Nosema apis* не выявлено; по Шемонаихинскому району: *Nosema ceranae* – 100%, *Nosema apis* и смешанная инфекция не выявлены; по Катон-Карагайскому району видовой состав рода *Nosema* не зарегистрирован (рис. 11).

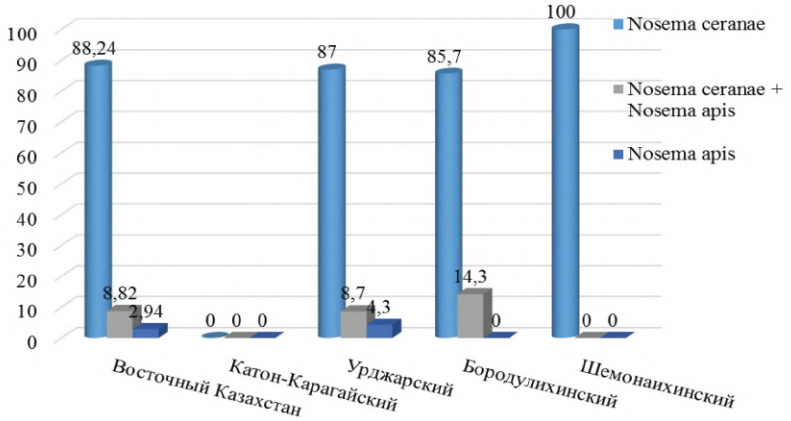


Рис. 11. Распространение видов рода Nosema в Восточном Казахстане, % от общего числа положительных проб

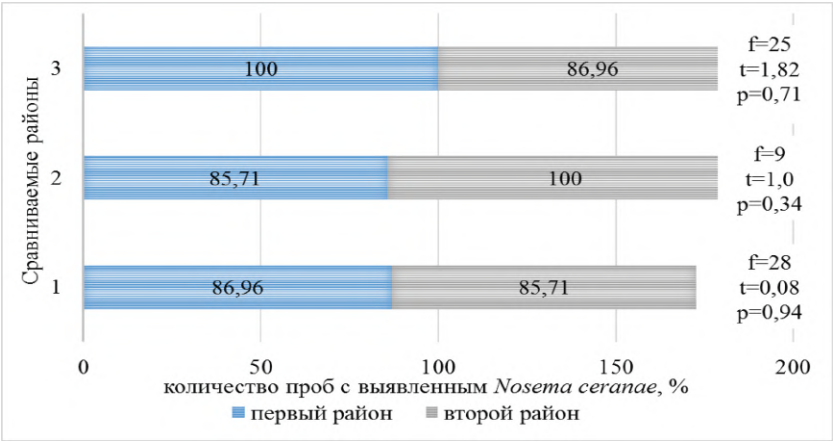


Рис. 12. Сравнительный анализ распространения Nosema ceranae в разрезе районов
1 – Урджарский / Бородулихинский; 2 – Бородулихинский / Шемонаихинский; 3 – Шемонаихинский / Урджарский

Таким образом, анализ результатов подтверждает существенное преобладание *Nosema ceranae* на уровне пчелиной семьи, и ее доля в разрезе исследуемых районов существенно не отличается (p>0,05) (рис. 12).

Обсуждение

Проведенные микроскопические исследования подтверждают, что на пасеках Восточного Казахстана широко распространен нозематоз. Из 30 обследованных пасек с общим количеством пчелосемей 3692 штук нозематоз зарегистрирован на 21 пасеке (70%).

По полученным данным заметно, что в горных районах (Катон-Карагайском и Урджарском) поражение пасек нозематозом выше, чем в степных (Бородулихинском и Шемонаихинском). В горных районах пораженность пасек нозематозом составила 83,3 и 80% (в среднем 81,65%), а в степных районах 62,5 и 50% (в среднем 56,25%). Однако, статистически значимых различий в зависимости от количества (доли) пораженных нозематозом пасек и района их расположения не установлено (p>0,05).

Из 394 исследованных проб медоносных пчел, взятых из пчелиных семей, в 23,3% случаев были обнаружены споры микроспоридии рода *Nosema*.

При этом установлены различия степени поражения медоносных пчел (в процентах от общего числа проб/от количества положительных проб). В среднем по региону слабая степень поражения обнаружена в 6 пробах (1,5/6,5%), средняя – в 55 пробах (14,0/59,8%) и сильная – в 31 пробе (7,9/33,7%). Таким образом, пораженность пчелосемей в разных районах Восточного Казахстана варьировала от слабой (1 балл) до сильной (3 балла) степени, крайне тяжелая степень поражения (4 балла) пчел отсутствовала.

Согласно полученным данным, в Катон-Карагайском районе слабая степень поражения пчелиных семей не обнаружена. Высокая степень поражения (3 балла) зарегистрирована в Катон-Карагайском (60% от положительных проб) и Бородулихинском (52,2%) районах. В Урджарском и Шемонаихинском районах преобладает средняя степень поражения (70,0 и 73,7% от числа положительных проб, соответственно).

При сравнении двух районов разность в заболеваемости пчелиных семей нозематозом статистически недостоверна (p>0,05).

Статистически значимые различия выявлены в зависимости от количества спор в пчеле и продолжительности вегетационного периода в районе (p>0,05). Вегетационный период в Катон-Карагайском, Бородулихинском, Шемонаихинском и Урджарском районах длится 100, 122, 126 и 166 дней, а количество спор в пчеле составляет 22,6±2,76, 20,9±2,17, 13,85±1,85 и

14,83±1,25 млн. шт., соответственно. В Катон-Карагайском и Бородулихинском районах количество спор в пчеле существенно выше, чем в Урджарском (f=48, t=2,56, p=0,011; f=27, t=2,74, p=0,006) и Шемонаихинском районах (f=61, t=2,436, p=0,015; f=40, t=2,6, p=0,009).

Таким образом, достоверно установлено, что при сокращении вегетационного периода количество спор в одной пчеле и степень пораженности пчелосемей нозематозом возрастают. Коэффициент корреляции (r) равен -0,720. Связь между исследуемыми признаками обратная, теснота (сила) связи по шкале Чеддока высокая.

Изучение пораженности возбудителями нозематоза методом молекулярно-генетического анализа, позволяющим дифференцировать микроспоридии рода *Nosema*, на территории Восточного Казахстана подтвердило наличие *Nosema apis* и *Nosema ceranae.*

Из полученных данных можно сделать вывод, что при исследовании 51 пробы пчел, взятой на пасеках в четырех районах Восточного Казахстана, ДНК микроспоридий рода *Nosema* обнаружена у 34 образцов (66,7%) пчел от общего количества исследованных проб. Из них только 1 образец (2,99%) содержал *Nosema apis*, в 30 пробах (88,23%) пчел выявлена *Nosema ceranae* и в 3-х (8,82%) пчелиных семьях зарегистрирована смешанная инфекция: *Nosema ceranae* и *Nosema apis*.

На основании результатов исследования пчелиных семей установлено, что в Восточном Казахстане доля здоровых пчелиных семей составляет 33%. Количество здоровых пчелосемей в разрезе районов: в Урджарском, Бородулихинском и Шемонаихинском районах – 15, 46 и 43%, соответственно. Доли видового состава рода *Nosema* от общего числа исследованных образцов по Восточному Казахстану распределялись следующим образом: *Nosema apis* – 2%, *Nosema ceranae* – 59%, смешанная инфекция – 6%, из них: по Урджарскому району: *Nosema apis* – 4%, *Nosema ceranae* – 74%, смешанная инфекция – 7%; по Бородулихинскому району: *Nosema ceranae* – 46%, смешанная инфекция – 8%, *Nosema apis* не обнаружена; по Шемонаихинскому району: *Nosema ceranae* – 57%, *Nosema apis* и смешанная инфекция установлены не были.

По восточному региону Казахстана установлено следующее распределение видовой принадлежности возбудителя нозематоза (от общей численности положительных образцов): *Nosema apis* – 2,94, 88,24% принадлежало *Nosema ceranae* и 8,82% составила ассоциативная инфекция, из них по Урджарскому району, соответственно: 4,3, 86,9, 8,7%; по Бородулихинскому району: *Nosema ceranae* – 85,7%, смешанная инфекция – 14,2%,

Nosema apis не выявлено; по Шемонаихинскому району: *Nosema ceranae* – 100%, *Nosema apis* и смешанная инфекция не выявлены, по Катон-Карагайскому району видовой состав рода *Nosema* не зарегистрирован.

Таким образом, по результатам исследования составлена эпизоотологическая карта по нозематозу пчел в Восточно-Казахстанской области.

Заключение

Анализ полученных результатов подтверждает, что пасеки Восточного Казахстана являются неблагополучными по нозематозу пчел. В горных районах (Катон-Карагайском и Урджарском) поражение пчел нозематозом выше, чем в степных (Бородулихинском и Шемонаихинском). В горных районах пораженность пасек нозематозом составила 83,3 и 80% (в среднем 81,65%), а в степных районах – 62,5 и 50% (в среднем 56,25%). Из исследованных проб медоносных пчел, взятых из пчелиных семей, в 23,3% случаев были обнаружены споры микроспоридии рода *Nosema*. При этом установлены различия степени поражения медоносных пчел (в процентах от общего числа проб/от количества положительных проб). В среднем по региону слабая степень поражения обнаружена в 6 пробах (1,5/6,5%), средняя – в 55 пробах (14,0/59,8%) и сильная – в 31 пробе (7,9/33,7%). Таким образом, пораженность пчелосемей в разных районах Восточного Казахстана варьировала от слабой (1 балл) до сильной (3 балла) степени, крайне тяжелая степень поражения (4 балла) пчел отсутствовала.

Согласно полученным данным, в Катон-Карагайском районе слабая степень поражения пчелиных семей не обнаружена. Высокая степень поражения (3 балла) зарегистрирована в Катон-Карагайском (60% от положительных проб) и Бородулихинском (52,2%) районах. В Урджарском и Шемонаихинском районах преобладает средняя степень поражения (70,0 и 73,7% от числа положительных проб, соответственно).

Статистически значимые различия выявлены в зависимости от степени поражения пчел и продолжительности вегетационного периода в районе ($p>0,05$). Было установлено, что при сокращении вегетационного периода степень пораженности пчелосемей нозематозом возрастает. Коэффициент корреляции (r) равен - 0,720. Связь между исследуемыми признаками обратная, теснота (сила) связи по шкале Чеддока высокая.

Изучение пораженности возбудителями нозематоза методом ПЦР анализа, позволяющим дифференцировать микроспоридии рода *Nosema*, на территории Восточного Казахстана подтвердило наличие *Nosema apis* и *Nosema ceranae.*

Из полученных данных следует, что при исследовании общего количества проб пчел, взятых на пасеках в четырех районах Восточного Казахстана, ДНК микроспоридий рода *Nosema* обнаружена у 66,7% проб. Из них только 1 образец содержал *Nosema apis*, в 30 пробах пчел выявлена *Nosema ceranae* и в 3-х (8,82%) пчелиных семьях зарегистрирована смешанная инфекция: *Nosema ceranae* и *Nosema apis*.

На основании результатов исследования пчелиных семей установлено, что в Восточном Казахстане доля здоровых пчелиных семей составляет 33%. Количество здоровых пчелосемей в разрезе районов: в Урджарском, Бородулихинском и Шемонаихинском районах – 15, 46 и 43%, соответственно. Доли видового состава рода *Nosema* от общего числа исследованных образцов по Восточному Казахстану распределялись следующим образом: *Nosema apis* – 2%, *Nosema ceranae* – 59%, смешанная инфекция – 6%, из них: по Урджарскому району: *Nosema apis* – 4%, *Nosema ceranae* – 74%, смешанная инфекция – 7%; по Бородулихинскому району: *Nosema ceranae* – 46%, смешанная инфекция – 8%, *Nosema apis* не обнаружена; по Шемонаихинскому району: *Nosema ceranae* – 57%, *Nosema apis* и смешанная инфекция установлены не были.

По полученным данным составлена эпизоотологическая карта по нозематозу пчел Восточно-Казахстанской области.

Заключение комитета по этике. Работа проводилась в лаборатории ветеринарной и пищевой безопасности НАО Университета имени Шакарима города Семей, в Республиканской ветеринарной лаборатории Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения Комитета ветеринарного контроля и надзора МСХ РК (Семей), испытательной лаборатории ТОО «Нутритест» (Алматы), в лаборатории физико-химических методов исследования ТОО «Научно-производственное предприятие «Антиген» (Алматы) и на кафедре зоологии беспозвоночных Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства НИ ТГУ (Томск).

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

Информация о конфликте интересов. У всех авторов статьи нет конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена по решению ассоциации пчеловодства по базовому финансированию научных тем в пчеловодстве Восточно-Казахстанской области.

Список литературы

1. Байгазанов, А. Н., & Тихомирова, Е. Ю. (2020). Исследование пчелиных семей на заражённость микроспоридиями рода *Nosema* на пасеках Восточно-Казахстанской области. *Европейский союз учёных. Ветеринарные науки, 3*(9(78)), 44–48. EDN: https://elibrary.ru/ZSZZEA
2. Байгазанов, А. Н., Тихомирова, Е. Ю., & Пашаян, С. А. (2019). Нозематоз пчёл в Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан. В *Матер. VI межд. науч.-практ. конф. «Наука XXI века: открытия, инновации, технологии»* (с. 4–7). Смоленск.
3. Голубева, Е. П. (2018). *Заражённость медоносных пчёл микроспоридиями рода Nosema в Томской области* (канд. биол. наук, 03.02.04). Томск. EDN: https://elibrary.ru/ICKJTD
4. Домацкая, Т. Ф., Домацкий, А. Н., & Зинатуллина, З. Я. (2020). Распространение болезней медоносных пчёл на пасеках Тюменской области. *Вестник КрасГАУ*, (7(160)), 87–92. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-7-87-92. EDN: https://elibrary.ru/JHETCV
5. Домацкая, Т. Ф., Домацкий, А. Н., & Зинатуллина, З. Я. (2021). Распространение возбудителей инвазий и инфекций медоносных пчёл на пасеках Тюменской области. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (4), 70–72. https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/70-72. EDN: https://elibrary.ru/LOXOLG
6. Домацкая, Т. Ф., Домацкий, А. Н., Дольникова, Т. Ю., Зинатуллина, З. Я., & Столбова, В. В. (2025). Мониторинг эпизоотического состояния пасек Тюменской области и других регионов России. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (1), 74–77. https://doi.org/10.31857/S2500208225010171. EDN: https://elibrary.ru/CRVAVJ
7. Зинатуллина, З. Я., Игнатьева, А. Н., & Жигилёва, О. Н. (2011). Азиатская разновидность пчелиного нозематоза в России. *Пчеловодство*, (10), 24–26. EDN: https://elibrary.ru/OQNRMR
8. Зинатуллина, З. Я. (2011). «Азиатский» нозематоз в России. *Пчеловодство*, (10), 24–26. EDN: https://elibrary.ru/OQNRMR
9. Зинатуллина, З. Я., Жигилёва, О. Н., & Токарев, Ю. С. (2011). Методические наставления по дифференциальной диагностике *Nosema apis* и *Nosema ceranae* у медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.). В *Сб. науч. тр. ВНИИВЭА* (вып. 51, с. 286–300). Тюмень.
10. Информационно-аналитическая система «Талдау». (2022). *Общее количество пчелосемей*. Получено 15 марта 2025 г. с https://taldau.stat.gov.kz/ru/NewIndex/GetIndex/2972846

11. ГУВ МСХ СССР. (1985). *Методические указания по лабораторным исследованиям на нозематоз медоносных пчёл* (утв. 25.04.1985, 3 с.). М.
12. Пашаян, С. А., Сидорова, К. А., & Калашникова, М. В. (2023). Распространение, диагностика и профилактика нозематоза пчёл. *Аграрный вестник Урала, 23*(11), 65–74. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-11-65-74. EDN: https://elibrary.ru/VXKQOJ
13. Пашаян, С. А., Комлацкий, В. И., Калашникова, М. В., & Саттаров, В. Н. (2024). Биологический цикл развития клещей — эктопаразитов пчёл. *Сельскохозяйственный журнал*, (4(17)), 127–135. https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/013.4.17.2024. EDN: https://elibrary.ru/AWSDJC
14. Развитие пчеловодства в Восточном Казахстане (на примере КХ «Пасека»). (2023). Получено 15 марта 2025 г. с https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-agro/press/news/details/607091?lang=ru
15. Суюндукова, Г. Я. (2013). *Ветеринарно-санитарная характеристика пасек при европейском гнильце и его лечение* (канд. биол. наук, 06.02.05, 140 с.). Уфа. EDN: https://elibrary.ru/SUYFRP
16. Тихомирова, Е. Ю., Валитова, Н. В., & Гумарова, Ж. М. (2023). Шығыс Қазақстандағы бал сапасын ветеринарлық-санитарлық бағалау. *Ғылым және білім. Ветеринария ғылымдары, 1*(3(72)), 159–168.
17. Токарев, Ю. С., Игнатьева, А. Н., & Зинатуллина, З. Я. (2010). Молекулярная диагностика нозематоза. *Пчеловодство*, (10), 18–19. EDN: https://elibrary.ru/MYDTLP
18. Туктаров, В. Р. (2017). Современные подходы к оздоровлению пчелиных семей при гнильцовых заболеваниях. В *VII Международный ветеринарный конгресс: круглый стол «Болезни пчёл»* (8 с.). Уфа.
19. Чернышев, А. А. (2012). *Усовершенствование метода диагностики нозематоза медоносных пчёл* (канд. биол. наук, 06.02.05, 106 с.). Москва. EDN: https://elibrary.ru/QFZZGR
20. Anderson, D. L., & Giacon, H. (1992). Reduced pollen collection by honey bee (Hymenoptera, Apidae) colonies infected with *Nosema apis* and sacbrood virus. *Journal of Economic Entomology, 85*(1), 47–51.
21. Chemurot, M., et al. (2017). *Nosema neumanni* n. sp. (Microsporidia, Nosematidae), a new microsporidian parasite of honeybees *Apis mellifera* in Uganda. *European Journal of Protistology, 61A*, 13–19.
22. Fries, I. (1998). Comb replacement and Nosema disease (*Nosema apis* Z.) in honey bee colonies. *Apidologie, 19*(4), 343–354.
23. Giovanni, C., et al. (2018). The first detection of *Nosema ceranae* (Microsporidia) in the small hive beetle, *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae). *Apidologie, 49*(5).

24. Higes, M., et al. (2009). The presence of *Nosema ceranae* (Microsporidia) in North African honey bees (*Apis mellifera intermissa*). *Journal of Apicultural Research, 48*(3), 217–219.
25. Mayack, C., & Naug, D. (2009). Energetic stress in the honey bee *Apis mellifera* from *Nosema ceranae* infection. *Journal of Invertebrate Pathology, 100*(3), 185–188.
26. Houdelet, C., et al. (2022). Molecular histoproteomics by MALDI mass spectrometry imaging to uncover markers of the impact of *Nosema* on *Apis mellifera*. *Proteomics, 22*(9), e2100224. https://doi.org/10.1002/pmic.202100224. EDN: https://elibrary.ru/XFKYAC
27. Jabal-Uriel, C., et al. (2022). Age and season affect the timing of adult worker honeybee infection by *Nosema ceranae*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 11*, 823050. https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.823050. EDN: https://elibrary.ru/RKTVSX
28. Jabal-Uriel, C., et al. (2022). Effect of *Nosema ceranae* infection and season on the gut bacteriome composition of the European honeybee (*Apis mellifera*). *Scientific Reports, 12*(1), 9326. https://doi.org/10.1038/s41598-022-13337-4. EDN: https://elibrary.ru/ZTGKAV
29. Kartal, S., et al. (2021). Microscopic and molecular detection of *Nosema apis* and *Nosema ceranae* in the southwest Aegean region. *Uludağ Arıcılık Dergisi, 21*(1), 8–20. https://doi.org/10.31467/uluaricilik.896045. EDN: https://elibrary.ru/ARLUSS
30. Matheson, A. (1993). World Bee Health Report. *Bee World, 74*(4), 176–212.
31. Rangel, J., et al. (2015). Prevalence of *Nosema* species in a feral honey bee population: a 20-year survey. *Apidologie, 47*(4), 561–571.
32. Salkova, D., et al. (2022). Molecular detection of *Nosema* spp. in honey in Bulgaria. *Veterinary Sciences, 9*(1), 10. https://doi.org/10.3390/vetsci9010010. EDN: https://elibrary.ru/XMPCML
33. Zander, E. (1909). Tierische Parasiten als Krankheitserreger bei der Biene. *Münchener Bienenzeitung, 31*, 196–204.
34. Fries, I., et al. (1996). *Nosema ceranae* sp. (Microspora, Nosematidae): morphological and molecular characterization of a microsporidian parasite of the Asian honey bee *Apis cerana* (Hymenoptera, Apidae). *European Journal of Protistology, 32*(3), 356–365.
35. Zinatullina, Z. Ya., Dolnikova, T. Yu., Domatskaya, T. F., & Domatsky, A. N. (2018). Diseases of bees in apiaries of the Tyumen region, Russia. В *Abstracts of the XXII International Congress of Apislavia-2018* (с. 33–34). ЗАО «Агробиопром»; Союз «Пчеловодство»; ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока; ФГБНУ «ФНЦ НИИ пчеловодства». ISBN: 978-5-900205-67-0. EDN: https://elibrary.ru/YMWMMX

References

1. Baigazanov, A. N., & Tikhomirova, E. Yu. (2020). Study of bee colonies for infection with microsporidia of the genus *Nosema* in apiaries of the East Kazakhstan region. *European Union of Scientists. Veterinary Sciences*, 3(9(78)), 44–48. EDN: https://elibrary.ru/ZSZZEA
2. Baigazanov, A. N., Tikhomirova, E. Yu., & Pashayan, S. A. (2019). Nosemosis in bees in the East Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan. In *Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference "Science of the XXI Century: Discoveries, Innovations, Technologies"* (pp. 4–7). Smolensk.
3. Golubeva, E. P. (2018). *Infestation of honey bees with microsporidia of the genus Nosema in the Tomsk region* (Unpublished doctoral dissertation, 03.02.04). Tomsk. EDN: https://elibrary.ru/ICKJTD
4. Domatskaya, T. F., Domatsky, A. N., & Zinatullina, Z. Ya. (2020). Spread of diseases of honey bees in apiaries of the Tyumen region. *Bulletin of KrasSAU*, (7(160)), 87–92. https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-7-87-92. EDN: https://elibrary.ru/JHETCV
5. Domatskaya, T. F., Domatsky, A. N., & Zinatullina, Z. Ya. (2021). Spread of pathogens of invasions and infections of honey bees in apiaries of the Tyumen region. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*, (4), 70–72. https://doi.org/10.30850/vrsn/2021/4/70-72. EDN: https://elibrary.ru/LOXOLG
6. Domatskaya, T. F., Domatsky, A. N., Dolnikova, T. Yu., Zinatullina, Z. Ya., & Stolbova, V. V. (2025). Monitoring of the epizootic state of apiaries in the Tyumen region and other regions of Russia. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*, (1), 74–77. https://doi.org/10.31857/S2500208225010171. EDN: https://elibrary.ru/CRVAVJ
7. Zinatullina, Z. Ya., Ignatieva, A. N., & Zhigileva, O. N. (2011). Asian variety of bee nosemosis in Russia. *Beekeeping*, (10), 24–26. EDN: https://elibrary.ru/OQNRMR
8. Zinatullina, Z. Ya. (2011). "Asian" nosemosis in Russia. *Beekeeping*, (10), 24–26. EDN: https://elibrary.ru/OQNRMR
9. Zinatullina, Z. Ya., Zhigileva, O. N., & Tokarev, Yu. S. (2011). *Guidelines for differential diagnosis of Nosema apis and Nosema ceranae in the honey bee (Apis mellifera L.)*. In *Collection of Scientific Papers of the All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology* (Issue 51, pp. 286–300). Tyumen.
10. Information and Analytical System "Taldau". (2022). *Total number of bee colonies*. Retrieved March 15, 2025, from https://taldau.stat.gov.kz/ru/NewIndex/GetIndex/2972846

11. Main Directorate of Veterinary Medicine, Ministry of Agriculture of the USSR. (1985). *Guidelines for laboratory testing for nosemosis in honey bees* (Approved on April 25, 1985, 3 p.). Moscow.
12. Pashayan, S. A., Sidorova, K. A., & Kalashnikova, M. V. (2023). Spread, diagnosis, and prevention of bee nosemosis. *Agrarian Bulletin of the Urals*, 23(11), 65–74. https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-23-11-65-74. EDN: https://elibrary.ru/VXKQOJ
13. Pashayan, S. A., Komlatsky, V. I., Kalashnikova, M. V., & Sattarov, V. N. (2024). Biological cycle of development of mites — ectoparasites of bees. *Agricultural Journal*, (4(17)), 127–135. https://doi.org/10.48612/FARC/2687-1254/013.4.17.2024. EDN: https://elibrary.ru/AWSDJC
14. Development of beekeeping in East Kazakhstan (on the example of the Farm "Paseka"). (2023). Retrieved March 15, 2025, from https://www.gov.kz/memleket/entities/vko-agro/press/news/details/607091?lang=ru
15. Suyundukova, G. Ya. (2013). *Veterinary and sanitary characteristics of apiaries with European foulbrood and its treatment* (Unpublished doctoral dissertation, 06.02.05, 140 p.). Ufa. EDN: https://elibrary.ru/SUYFRP
16. Tikhomirova, E. Yu., Valitova, N. V., & Gumarova, Zh. M. (2023). Veterinary and sanitary assessment of honey quality in East Kazakhstan. *Science and Education. Veterinary Sciences*, 1(3(72)), 159–168.
17. Tokarev, Yu. S., Ignatieva, A. N., & Zinatullina, Z. Ya. (2010). Molecular diagnosis of nosemosis. *Beekeeping*, (10), 18–19. EDN: https://elibrary.ru/MYDTLP
18. Tuktarov, V. R. (2017). Modern approaches to improving the health of bee colonies in foulbrood diseases. In *VII International Veterinary Congress: Roundtable "Bee Diseases"* (8 p.). Ufa.
19. Chernyshev, A. A. (2012). *Improvement of the method for diagnosing nosemosis in honey bees* (Unpublished doctoral dissertation, 06.02.05, 106 p.). Moscow. EDN: https://elibrary.ru/QFZZGR
20. Anderson, D. L., & Giacon, H. (1992). Reduced pollen collection by honey bee (Hymenoptera, Apidae) colonies infected with *Nosema apis* and sacbrood virus. *Journal of Economic Entomology*, 85(1), 47–51.
21. Chemurot, M., et al. (2017). *Nosema neumanni* n. sp. (Microsporidia, Nosematidae), a new microsporidian parasite of honeybees *Apis mellifera* in Uganda. *European Journal of Protistology*, 61A, 13–19.
22. Fries, I. (1998). Comb replacement and *Nosema* disease (*Nosema apis Z.*) in honey bee colonies. *Apidologie*, 19(4), 343–354.
23. Giovanni, C., et al. (2018). The first detection of *Nosema ceranae* (Microsporidia) in the small hive beetle, *Aethina tumida* Murray (Coleoptera: Nitidulidae). *Apidologie*, 49(5).

24. Higes, M., et al. (2009). The presence of *Nosema ceranae* (Microsporidia) in North African honey bees (*Apis mellifera intermissa*). *Journal of Apicultural Research*, 48(3), 217–219.
25. Mayack, C., & Naug, D. (2009). Energetic stress in the honey bee *Apis mellifera* from *Nosema ceranae* infection. *Journal of Invertebrate Pathology*, 100(3), 185–188.
26. Houdelet, C., et al. (2022). Molecular histoproteomics by MALDI mass spectrometry imaging to uncover markers of the impact of *Nosema* on *Apis mellifera*. *Proteomics*, 22(9), e2100224. https://doi.org/10.1002/pmic.202100224. EDN: https://elibrary.ru/XFKYAC
27. Jabal Uriel, C., et al. (2022). Age and season affect the timing of adult worker honeybee infection by *Nosema ceranae*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 823050. https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.823050. EDN: https://elibrary.ru/RKTVSX
28. Jabal Uriel, C., et al. (2022). Effect of *Nosema ceranae* infection and season on the gut bacteriome composition of the European honeybee (*Apis mellifera*). *Scientific Reports*, 12(1), 9326. https://doi.org/10.1038/s41598-022-13337-4. EDN: https://elibrary.ru/ZTGKAV
29. Kartal, S., et al. (2021). Microscopic and molecular detection of *Nosema apis* and *Nosema ceranae* in the southwest Aegean region. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 21(1), 8–20. https://doi.org/10.31467/uluaricilik.896045. EDN: https://elibrary.ru/ARLUSS
30. Matheson, A. (1993). World Bee Health Report. *Bee World*, 74(4), 176–212.
31. Rangel, J., et al. (2015). Prevalence of *Nosema* species in a feral honey bee population: a 20-year survey. *Apidologie*, 47(4), 561–571.
32. Salkova, D., et al. (2022). Molecular detection of *Nosema spp.* in honey in Bulgaria. *Veterinary Sciences*, 9(1), 10. https://doi.org/10.3390/vetsci9010010. EDN: https://elibrary.ru/XMPCML
33. Zander, E. (1909). Animal parasites as pathogens in bees. *Münchener Bienenzeitung*, 31, 196–204.
34. Fries, I., et al. (1996). *Nosema ceranae* sp. (Microspora, Nosematidae): morphological and molecular characterization of a microsporidian parasite of the Asian honey bee *Apis cerana* (Hymenoptera, Apidae). *European Journal of Protistology*, 32(3), 356–365.
35. Zinatullina, Z. Ya., Dolnikova, T. Yu., Domatskaya, T. F., & Domatsky, A. N. (2018). Diseases of bees in apiaries of the Tyumen region, Russia. In *Abstracts of the XXII International Congress of Apislavia 2018* (pp. 33–34). Agrobioprom JSC; Union "Beekeeping"; FSBSI FANC of the North-East; FSBSI "FRC Research Institute of Beekeeping". ISBN: 978-5-900205-67-0. EDN: https://elibrary.ru/YMWMMX

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации. С.А. Пашаян, помимо соавторства в статье, координирует переписку с редакцией журнала.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally to the preparation of this article for publication. S.A. Pashayan, in addition to co-authoring the article, coordinates correspondence with the editors of the journal.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тихомирова Елена Ю.
Некоммерческое акционерное общество «Университет Шакарима»
ул. Глинки, 20А, г. Семей, область Абай, 071410, Казахстан
tihomirova.82@mail.ru

Байгазанов Абдрахман Н.
Некоммерческое акционерное общество «Университет Шакарима»
ул. Глинки, 20А, г. Семей, область Абай, 071410, Казахстан
abdrahman_59@mail.ru

Казарян Армине С.
Национальный аграрный университет
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Армения
ghazaryan.armine2018@gmail.com

Пашаян Сусанна А., д.б.н., доцент, профессор
Государственный аграрный университет Северного Зауралья
ул. Республики, 7, Тюмень, 625001, Российская Федерация
pashakirak7@list.ru

Абрамян Виктор В.
Национальный аграрный университет
ул. Теряна, 74, г. Ереван, 0009, Армения
viktorabramyanv@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena Yu. Tikhomirova
Shakarim University

20A, Glinka Str., Semey, Abai region, 071410, Kazakhstan
tihomirova.82@mail.ru

Abdrakhman N. Baigazanov
Shakarim University
20A, Glinka Str., Semey, Abai region, 071410, Kazakhstan
abdrahman_59@mail.ru

Armine S. Ghazaryan
National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Armenia
ghazaryan.armine2018@gmail.com

Susanna A. Pashayan
Zaurvlye State Agrarian University
7, Respubliki Str., 7, Tyumen, 625001, Russian Federation
pashakirak7@list.ru

Victor V. Abrahamyan
National Agrarian University
74, Teryan Str., Yerevan, 0009, Armenia
viktorabramyanv@gmail.com

Поступила 20.05.2025
После рецензирования 28.06.2025
Принята 05.08.2025

Received 20.05.2025
Revised 28.06.2025
Accepted 05.08.2025

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1356 **EDN: ALNKII**
УДК 635.8

CC BY NC ND

Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕРНОВОЙ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИЦЕЛИЯ СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ

А.В. Третьякова, Г.В. Песцов, О.В. Прокудина, А.С. Мягкова

Аннотация

Обоснование. В настоящее время в Российской федерации наблюдается дефицит мицелия съедобных грибов высокого качества отечественного производства. Это связано с недостатками технологии культивирования мицелия и нехваткой качественного и дешевого сырья для его производства. В существующих технологиях выращивания мицелия предлагается использовать зерно различных злаковых культур, что снижает рентабельность производства из-за стоимости сырья и дополнительной обработки зерна. Для решения данной проблемы предлагается использовать зерновую пивную дробину, которая является главным твердым отходом пивоваренной промышленности и содержит все необходимые вещества для выращивания мицелия съедобных грибов.

Цель. Изучить возможность использования зерновой пивной дробины в технологии культивирования мицелия съедобных грибов вида *Pleurotus ostreatus* и вида *Flammulina velutipes.*

Методы. Для изучения влияния зерновой пивной дробины на скорость роста мицелия съедобных грибов использовали методы поверхностного культивирования. Объектом изучения были грибы *Pleurotus ostreatus* штамм 813 и *Flammulina velutipes* штамм 631 из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика.

Результаты. В результате было установлено, что для выращивания мицелия съедобных грибов лучше использовать питательные среды с добавлением зерновой пивной дробины в концентрации для гриба *P. ostreatus* 10-15%, а для вида *F. velutipes* 20-25%. Мицелий изучаемых грибов лучше выращивать в пакетах из полиэтилена низкого давления.

Заключение. Использование зерновой пивной дробины для культивирования мицелия съедобных грибов вида *P. ostreatus* и вида *F. velutipes* позволяет выращивать качественный мицелий отечественного производства с низкой себестоимостью.

Ключевые слова: съедобные грибы; *Pleurotus ostreatu;* вешенка обыкновенная; *Flammulina velutipes*; эноки; зерновая пивная дробина; мицелий

Для цитирования. Третьякова, А. В., Песцов, Г. В., Прокудина, О. В., & Мягкова, А. С. (2025). Использование зерновой пивной дробины для культивирования мицелия съедобных грибов. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 509-526. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1356

Original article

THE USE OF GRAIN BREWER PELLET FOR THE CULTIVATION OF EDIBLE MUSHROOM MYCELIUM

A.V. Tretyakova, G.V. Pestsov, O.V. Prokudina, A.S. Myagkova

Abstract

Background. Currently, there is a shortage of high-quality mycelium of national production in the Russian Federation. This is due to the deficiencies in mycelium cultivation technology and the lack of high-quality and cheap raw materials for the production of substrates. In the existing mycelium cultivation technologies, it is proposed to use grains of various cereal cultivars, which reduces production profitability due to the cost of raw materials and additional grain processing. To solve this problem, it is proposed to use grain brewer pellet, which is the main solid waste of the brewing industry and contains all the necessary substances for growing the mycelium of edible mushrooms.

Purpose. To investigate the possibility of using grain beer pellets in the technology of cultivation of mycelium of edible mushrooms of *Plerotus ostreatus* and *Flammulina velutipes* species.

Methods. Solid-substrate cultivation methods were used to study the effect of brewer grain pellet on the growth rate of edible mushroom mycelium. The object of the study were mushrooms *Pleurotus ostreatus* strain 813 and *Flammulina velutipes* strain 631 from the Russian National Collection of Industrial Microorganisms of the NRC "Kurchatov Institute" – GosNIIgenetika.

Results. With regard to findings of the conducted scientific research, it was established that it is better to use nutrient media with the addition of grain brewer pellet in concentrations of 10-15% for the mushroom *P. ostreatus* and 20-25% for the species *F. velutipes* to grow the mycelium of edible mushrooms. It is more advantageous to cultivate the mycelium of the mushrooms under study in low-density polyethylene bags.

Conclusion. The use of grain brewer pellet for the cultivation of mycelium of edible mushrooma of the species *P. ostreatus* and *F. velutipes* makes it possible to grow high-quality mycelium of national production with low cost-price.

Keywords: edible fungus; *Pleurotus ostreatus*; oyster mushroom; *Flammulina velutipes*; enoki mushrooms; grain brewer pellet; mycelium

For citation. Tretyakova, A. V., Pestsov, G. V., Prokudina, O. V., & Myagkova, A. S. (2025). The use of grain brewer pellet for the cultivation of edible mushroom mycelium. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 509-526. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1356

Введение

Выращивание мицелия съедобных грибов представляет экономическую и экологическую целесообразность, так как его можно культивировать на лигноцеллюлозных субстратах и различных органических отходах агропромышленного комплекса, лесной и пищевой промышленности [8]. Урожай грибов зависит прежде всего от качества посадочного материала (мицелия) [1]. Основные требования к мицелию следующие: высокая жизнеспособность, хорошие наследственные свойства, высокая урожайность, хорошие качества плодовых тел, устойчивость к заболеваниям [11].

Самым распространённым культивируемым грибом в мире является *Agaricus bisporus*, за ним следуют *Lentinus edodes*, *Pleurotus* spp, *Auricul aria auricula*, *Flammulina velutipes* и *Volvariella volvacea* [16]. В настоящее время 35 видов съедобных грибов выращиваются в коммерческих целях, а 20 видов в промышленных масштабах. По данным Минсельхоза РФ, за 2023 год грибоводческие хозяйства вырастили 145,9 тыс. тонн грибов, что является рекордным показателем для нашей страны [6].

Вид *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm (вешенка обыкновенная), занимает второе место в мировом производстве плодовых тел (около 1,5 млн

т) культивируемых грибов после шампиньона (2,8 млн т) [7]. Вешенка обыкновенная является самым доступным для искусственного культивирования видом грибов. Выращивание вешенки не требует значительных капиталовложений, по технологическим особенностям ее производство менее трудозатратно и имеет ряд преимуществ по сравнению с другими видами съедобных грибов, так как она обладает высокой урожайностью и коротким циклом развития [3, 9]. В естественных условиях вешенка обыкновенная поселяется на ослабленной или мертвой древесине и живет, в основном, как сапрофит. Вид встречается в различных географических зонах [4].

Вид *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer (эноки), также известный как зимний гриб, один из самых культивируемых съедобных грибов в мире. Особенно популярен он в Китае, Японии, Корее и некоторых частях Индии. Вид *F. velutipes* обладает приятным вкусом, а также лечебными свойствами. В естественных условиях эноки является биологическим деструктором древесины, он активно растет на мертвых стволах или пнях различных пород деревьев (осины, ивы, вяза, дуба, бука и др.) с конца осени до начала весны. Эноки занимает шестое место по объёму мирового производства съедобных грибов [15; 14].

Развитие производства вешенки обыкновенной и эноки сдерживает недостаточная разработанность технологий приготовления качественных субстратов, а также дефицит отечественного мицелия. Выходом из сложившейся ситуации является разработка элементов технологии приготовления питательных сред и субстратов для культивирования мицелия с использованием доступных питательных компонентов. Одним из таких компонентов является отход пивного производства – зерновая пивная дробина, так как она содержит в своем составе все необходимые для роста и развития грибов элементы и вещества [10].

Пивная дробина – это крупнотоннажный вторичный продукт процесса пивоварения, состоящий из дробленых зернопродуктов и солода. Она характеризуется светло-коричневым цветом со специфическим запахом и вкусом. Твердую часть дробины составляют оболочки и нерастворимая часть зерна. На предприятиях пивная дробина образуется как остаток после отделения пивного сусла в процессе фильтрации затора. Пивная дробина обладает 70-80% влажностью, содержит большое количество белка. Кроме того, дробина является лигноцеллюлозным материалом, содержащим около 17% целлюлозы, 28% нецеллюлозных полисахаридов и 28% лигнина [12; 13; 17].

Таким образом зерновая пивная дробина является ценным продуктом для роста и развития мицелия, так как в ее составе преобладают целлюлоза, гемицеллюлозы, белок, также в ее состав входят углеводы, аминокислоты и минеральные вещества, которые являются основными компонентами для жизнедеятельности грибов [5].

Литературные данные свидетельствуют, что пивная дробина способствует росту грибов не только благодаря значительному содержанию белка, а также физическим свойствам, таким как размер частиц, объемный вес, удельная плотность, пористость и способность удерживать воду [18; 19].

Цель исследования – изучить возможность использования зерновой пивной дробины в технологии культивирования мицелия съедобных грибов вида *Pleurotus ostreatus* и вида *Flammulina velutipes*.

Материалы и методы

Объектом изучения являются грибы *Pleurotus ostreatus* штамм 813 (ВКПМ: F-276) и *Flammulina velutipes* 631 (ВКПМ: F-631) из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» ГосНИИгенетика.

Для изучения влияния зерновой пивной дробины на скорость роста мицелия съедобных грибов использовали методы поверхностного культивирования. Для приготовления маточного раствора, принятого нами за 100%, 1000 г зерновой пивной дробины помещали в 1000 мл дистиллированной воды, нагревали до 100°С и кипятили в течении 10 минут, затем снижали температуру до 40°С и настаивали в течении 60 минут, полученный раствор фильтровали и доводили дистиллированной водой до отметки 1000 мл.

Для приготовления питательных сред использовали 100%-й маточный раствор пивной дробины который разбавляли до нужной концентрации (25%, 50%, 75%) водой с добавлением 1,5% агар-агара. В качестве эталона использовали картофельный агар без добавления сахара (измельчённый картофель - 200 г, вода – 1000 мл, агар-агар - 15 г), а в качестве контроля – голодный агар. Питательные среды автоклавировали при 1,2 атм. в течении 60 минут. После стерилизации питательные среды разливали в чашки Петри и в стерильных условиях ламинарного бокса инокулировали чистыми культурами грибов, помещая в центр чашки фрагменты колоний диаметром 5 мм. Инокулированные чашки Петри помещали в термостат при температуре 25°С. Замеры диаметра и высоты колоний (мм), проводили на 3, 5 и 7 сутки, также оценивали плотность мицелия в баллах. На

основании полученных данных вычисляли ростовой коэффициент (РК). Повторность опытов 8-кратная.

На следующем этапе эксперимента изучали влияние различных субстратов на рост мицелия грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes*. Для приготовления субстратов использовали 4 вида зерна: ячмень, пшеница, рожь, овес, в качестве экспериментального субстрата использовали зерновую пивную дробину. Изучение роста и качества мицелия проводили в чашках Петри. Замеры радиального роста мицелия и высоту колоний проводили на 3, 5, 7 сутки после инокуляции субстрата чистой культурой гриба. На основании полученных данных вычисляли ростовой коэффициент (РК). Повторность опытов 8-кратная.

Маточная культура мицелия грибов должна производиться в значительно больших объемах, так как в дальнейшем ее используют для инокуляции субстратных блоков и получения плодовых тел. Для выращивания маточной культуры использовали стеклянные банки объёмом 1,5 литра и рукава из полиэтилена низкого давления размером 10х30 см, толщиной 20 мкм, которые набивали субстратом и стерилизовали в автоклаве при 1,2 атм. в течении 90 минут.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2007. Ростовой коэффициент вычисляли по формуле:

$$\text{Ростовой коэффициент} = \frac{\text{д} \times \text{в} \times \text{п}}{\text{с}}$$

где д – диаметр колонии, мм; в – высота колонии, мм ; с – возраст колонии, сутки; п – плотность колонии, балл.

Характер роста и развития гриба оценивали в баллах, используя следующую шкалу: 1 – мицелий редкий; 2 – мицелий средней плотности; 3 мицелий плотный [2].

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе эксперимента была проведена работа по подбору питательных сред для выращивания мицелия съедобных грибов *P. ostreatus* (вешенки обыкновенной) и *F. velutipes* (эноки). В опыте использовали питательные среды, содержащие экстракт пивной дробины в концентрациях от 5% до 30%, так как в предварительных опытах было установлено, что при использовании экстракта пивной дробины в концентрации свыше 30% рост мицелия изучаемых грибов значительно замедлялся, в качестве

эталона использовали картофельный агар, так как на данная питательная среда рекомендуется для выращивания мицелия съедобных грибов. Повторность опыта 8-ми кратная (табл. 1).

Таблица 1.

Изучение радиального роста мицелия съедобных грибов на средах с использованием зерновой пивной дробины

№	Питательная среда	Диметр колонии, мм			% к эталону	Балл	РК
		3 сутки	5 сутки	7 сутки			
Pleurotus ostreatus							
1	Картофельный агар (эталон)	11,2 ± 0,90	22,4 ± 1,88	64,2 ± 5,08	100	3	27
2	Пивная дробина 5%	14,2 ± 1,30	37 ± 2,94	51,6 ± 3,48	80	1	29
3	Пивная дробина 10%	23,2 ± 2,06	50,2 ± 3,28	73,0 ± 6,90	114	2	41
4	Пивная дробина 15%	18,8 ± 1,36	40,8 ± 2,9	76,4 ± 5,78	119	3	54
5	Пивная дробина 20%	18,2 ± 1,52	31,4 ± 2,58	69,2 ± 2,98	108	2	29
6	Пивная дробина 25%	15,7± 1,30	29,2±2,65	68,1±5,21	106	2	29
7	Пивная дробина 30%	14,6 ± 0,90	27 ± 2,42	64,8 ± 4,6	101	1	27
Flammulina velutipes							
1	Картофельный агар (эталон)	5,2±0,32	27,1±2,42	64,2±5,69	100	3	51
2	Пивная дробина 5%	2,48±0,24	20,1±1,92	48,2±3,91	81	1	14
3	Пивная дробина 10%	2,71±0,18	25,3±1,77	53,5±4,84	90	1	15
4	Пивная дробина 15%	4,85±0,22	29,6±2,32	59,5±4,52	112	2	57
5	Пивная дробина 20%	12,8±1,13	27,5±2,37	72,2±6,76	121	3	93
6	Пивная дробина 25%	4,4±0,39	27,3±2,58	61,9±5,61	104	3	53
7	Пивная дробина 30%	2,7±0,23	15,2±1,14	53,7±5,06	90	2	31

Результаты исследования показали, что наиболее подходящей концентрацией пивной дробины в питательных средах для культивирования мицелия гриба *P. ostreatus* является 10-15%. Самый большой диаметр колонии на 7-е сутки был при использовании питательной среды с добавлением 15%-й пивной дробины, он составлял 76,4 мм, что превышало этот показатель при культивировании на картофельном агаре (эталон) на 19%. При применении 10%-й пивной дробины диаметр колонии составлял 73,0 мм (114% к эталону). Качество мицелия было высоким и соответствовало качеству при культивировании на картофельном агаре. При повышении концентрации дробины качество мицелия ухудшалось, а рост замедлялся.

У вида *F. velutipes* наилучший рост мицелия наблюдали на питательной среде с добавлением 20% пивной дробины, средний диаметр колоний на 7-е сутки культивирования составлял 72,2 мм, что превышало рост мицелия на картофельном агаре на 21%. Стоит отметить, что мицелий у обоих

видов грибов при этом был равномерно стелющийся, плотный, немного приподнятый над агаром, ярко белого цвета, без желтизны и экссудата, что позволяет использовать его для дальнейшей работы. Кроме того, с экономической точки зрения данная питательная среда была самая дешевая. В вариантах с использованием более высоких концентраций зерновой пивной дробины рост мицелия у эноки был также хуже, мицелий в этих вариантах был воздушным, не плотным. Видимо, это связано с избытком питательных веществ в средах, что существенно влияет на характер роста мицелия. Данный факт показывает, что для нормального развития мицелия изучаемых видов грибов важен не только состав питательных сред, но и его сбалансированность по углеводам, белкам и жирам, поэтому на питательных средах с более высокой концентрацией пивной дробины наблюдали замедление роста и ухудшение качества мицелия.

Таким образом, для поверхностного культивирования мицелия грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes* на твердых питательных средах, можно использовать питательную среду с добавлением 15% и 20% пивной дробины, использование этих концентраций гарантируют активный рост и высокое качество мицелия. Поэтому целесообразно при массовом размножении мицелия изучаемых видов грибов использовать пивную дробину. Такой подход позволит значительно сократить период адаптации гриба при переходе с питательных сред на субстраты для производства маточной культуры (посевного материала) мицелия. Кроме того, применение пивной дробины, которая является отходом пивоваренной промышленности, способно значительно удешевить производство как мицелия, так и плодовых тел грибов.

Для получения маточной культуры мицелия (посевного материала), использовали зерно злаковых культур и зерновую пивную дробину. Для этого был заложен опыт по изучении радиального роста мицелия на субстрате из зерна различных сельскохозяйственных культур и пивной дробины. Повторность опыта 8-ми кратная. Результаты представлены в таблице 2.

Из полученных данных по изучению радиального роста мицелия в чашках Петри видно, что пивная дробина является хорошим субстратом для выращивания мицелия как вида *P. ostreatus*, так и вида *F. velutipes*. Рост мицелия и диаметр колоний обоих видов грибов на субстрате с дробиной был больше, чем на зерновых субстратах, которые используются в стандартных технологиях выращивания маточной культуры мицелия съедобных грибов. Самые высокие показатели ростового коэффициента, характеризующие рост и качество мицелия, у вешенки обыкновенной

(*P. ostreatus)* были на пивной дробине – 265, на зерне пшеницы – 249 и овсе – 206. У эноки (*F. velutipes)* высокие показатели ростового коэффициента были на пивной дробине (65), зерне овса (62) и зерне ржи (61), при этом качество мицелия было также хорошим и составляло 3 балла.

Таблица 2.

Изучение радиального роста мицелия съедобных грибов на различных субстратах

№	субстрат	Диметр колонии, мм			Балл	РК
		3 сутки	5 сутки	7 сутки		
Pleurotus ostreatus						
1	Ячмень	17,2±1,30	40,6±2,70	59,6±3,85	3	153
2	Овес	18,6±1,52	35,0±2,74	60,2±5,63	3	206
3	Пшеница	16,8±1,30	36,2±1,92	58,0±2,35	3	249
4	Рожь	19,0±1,58	36,2±2,68	59,8±5,17	3	179
5	Пивная дробина	19,4±1,52	44,8±2,39	61,8±3,77	3	265
Flammulina velutipes						
1	Ячмень	11,3±0,82	22,3±1,95	49,6±4,45	3	42
2	Овес	11,5±0,85	19,3±1,76	48,3±4,14	3	62
3	Пшеница	11,3±0,82	21,9±1,73	49,1±4,28	3	42
4	Рожь	10,3±0,94	19,3±1,77	47,6±4,28	3	61
5	Пивная дробина	12,4±0,97	24,5±2,12	50,9±4,77	3	65

Анализ сопутствующих факторов при выращивании мицелия грибов на субстрате из пивной дробины и зерне злаковых культур показал, что если сравнивать зерно различных злаковых культур с пивной дробиной, то можно выделить ряд преимуществ и недостатков данных субстратов. К главным преимуществам зерновых субстратов относятся: высокая питательная ценность, которая способствует быстрому росту мицелия; разнообразие зерновых культур, что позволяет подобрать наиболее подходящий вид зерна в зависимости от предпочтений того или иного вида грибов; при правильной подготовке зерна создаётся хорошая текстура для роста мицелия, предотвращающая уплотнение и обеспечивающая хорошую аэрацию. Минусы использования зерновых субстратов заключаются в том, что перед стерилизацией зерно нужно мыть и варить, что требует дополнительных затрат, времени и навыков. Если зерно подготовлено неправильно, оно может быть слишком мягким или слишком твердым, сухим или разваренным, что снижает скорость роста и плотность зарастания мицелия.

Преимуществом субстратов на основе зерновой пивной дробины является то, что дробина содержит большое количество питательных веществ,

необходимых для роста мицелия съедобных грибов. Она фактически является почти готовым субстратом, не требующим значительной обработки. Кроме того, пивная дробина представляет собой рассыпчатую мелкодисперсную массу, что способствует аэрации, предотвращает слипание и уплотнение субстрата. Пивная дробина хорошо удерживает влагу, что помогает поддерживать необходимый уровень влажности для роста мицелия. Использование пивной дробины может снизить затраты на приготовление субстрата, так как она является побочным продуктом пивоваренной промышленности, что делает ее доступной в больших объемах. Недостатком пивной дробины является то, что она быстро портится, являясь потенциальным субстратом для большого числа микроорганизмов, поэтому хранить ее рекомендуется при пониженной температуре.

Маточная культура мицелия грибов производится в значительно больших объемах, чем при поддержании чистых культур. Обычно маточную культуру гриба выращивают в стеклянных банках объемом 1,5 л. Банки заполняют субстратом на ¾ объема, стерилизуют, иннокулируют чистой культурой гриба, затем термостатируют до полной колонизации субстрата мицелием. Во время культивирования, развивающийся мицелий должен получать достаточно кислорода. Альтернативой стеклянным банкам могут служить термостойкие пластиковые пакеты (рукава), в которых легче осуществлять аэрацию и перетряхивание, препятствующее склеиванию (слипанию) мицелия. Кроме того, в автоклав объемом 75 л для стерилизации помещается 24 банки по 1,5 л общим объемом 36 л и полезным объемом около 27 л. Значит, в результате одной заправки автоклава банками можно получить 27 л мицелия на субстрате, но, если стерилизовать в термостойких пакетах (рукавах), то, при тех же затратах, можно получить около 70 л субстрата для производства мицелия. При приготовлении субстратов из злаковых культур зерно варили, поверхностно просушивали, для установления нейтральной pH среды добавляли гипс и мел, в случае с зерновой пивной дробиной регулировали только значение pH среды. Субстраты стерилизовали в автоклаве в течении 90 минут при 1,3 атм.

Полное заращивание различных субстратов в банках и оценку качества мицелия грибов *P. ostreatus* и *F.velutipes* проводили в опыте с использованием зерна ячменя, овса, пшеницы, ржи и пивной дробины. Повторность опыта 8-ми кратная. Результаты представлены в таблице 3.

В результате изучения роста мицелия съедобных грибов на субстратах в банках, установлено, гриб *P. ostreatus* быстрее всего колонизировал субстрат из зерновой пивной дробины. На 18 сутки был заращен весь объем

субстрата, мицелий был средней плотности, легко перемешивался, что делает дальнейшую работу с таким субстратом наиболее простой и удобной. На зерновых субстратах заращивание быстрее всего наступало на ржи (21 сутки) и на овсе (23 сутки).

Таблица 3.

Изучение роста мицелия грибов *P. ostreatus* и *F.velutipes* на субстратах в банках

№	Субстрат	Структурно-морфологические свойства	Ростовой коэффициент	Время заращивания субстрата, сутки	Качество мицелия, балл
Pleurotus ostreatus					
1	ячмень	сыпучий	15	24	3
2	овес	сыпучий	16	23	3
3	пшеница	сыпучий	15	24	3
4	рожь	плотный	17	21	3
5	дробина	средней плотности	20	18	3
Flammulina velutipes					
1	ячмень	плотный	11	34	3
2	овес	плотный	11	32	3
3	пшеница	сыпучий	10	35	3
4	рожь	средней плотности	12	30	3
5	дробина	средней плотности	13	28	3

На ржи мицелий был плотный и практически не перемешивался, на овсе субстрат был сыпучий. На зерне ячменя и пшеницы полную колонизацию субстрата отмечали на 24 сутки, субстрат был сыпучий. Известно, что для выращивания посадочного материала важна не только скорость колонизации субстрата, но и структура субстрата после заращивания. Сыпучие субстраты более просты для дальнейшей инокуляции субстратных блоков и получения плодовых тел грибов. Использование стеклянных банок для выращивания мицелия съедобных грибов имеет свои преимущества и недостатки. Преимуществом является то, что в стеклянных банках можно наблюдать за ростом мицелия и состоянием субстрата, банки можно использовать многократно. К недостаткам следует отнести значительный вес и хрупкость банок, что неудобно при транспортировке и хранении, для соблюдения стерильности субстрата необходимо подбирать крышки, подходящие по размеру, в них необходимо делать отверстия для обеспечения аэрации субстрата и ставить фильтры, либо использовать специальные

крышки с фильтрами. Для ускорения процесса заращивания субстрата и улучшения газообмена, банки с субстратом необходимо перетряхивать. Перетряхивание является дополнительным элементом технологии, что усложняет получение качественного посевного материала и создает дополнительный риск инфицирования субстрата. Альтернативой стеклянной таре могут быть термостойкие пластиковые пакеты (рукава). Для изучения роста мицелия в пакетах (рукавах) из полиэтилена низкого давления был заложен опыт в 8-ми кратной повторности. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Изучение роста мицелия грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes* на субстратах в пакетах (рукавах)

№	Субстрат	Структурно-морфологические свойства	Ростовой коэффициент	Время заращивания субстрата, сутки	Качество мицелия, балл
Pleurotus ostreatus					
1	ячмень	Сыпучий, при нарезании крошится на мелкие кусочки	46	13	3
2	овес	Сыпучий, при нарезании крошится на зерновки	46	13	3
3	пшеница	Плотный, легко нарезается, крошится при посеве	55	11	3
4	рожь	Средней плотности, нарезается и разламывается на крупные куски	50	12	3
5	дробина	Плотный, легко нарезается, не крошится	60	10	3
Flammulina velutipes					
1	ячмень	Плотный, легко нарезается, крошится при посеве	40	15	3
2	овес	Плотный, легко нарезается, крошится при посеве	33	18	3
3	пшеница	Сыпучий, при нарезании крошится на зерновки	35	17	3
4	рожь	Средней плотности, нарезается и разламывается на крупные куски	40	15	3
5	дробина	Плотный, легко нарезается, не крошится	43	14	3

Анализируя данные, представленные в таблице 4, можно сделать вывод, что оба вида изучаемых съедобных грибов быстрее развивались на субстрате из зерновой пивной дробины. Гриб *P. ostreatus* полностью колонизировал субстрат в пакетах (рукавах) за 10 суток, на зерновых субстратах данный показатель варьировал от 11 до 13 суток, что в 1,5-2 раза быстрее, чем при выращивании мицелия в банках. Это связано с лучшей аэрацией и равномерным распределением влаги в субстрате, инокуляцией мицелием с обоих сторон рукава. Анализ качества заросшего субстрата показал, качество мицелия было очень хорошим, особенно при выращивании на пивной дробине. Колонизированный мицелием субстрат был плотным, легко нарезался и практически не крошился, что делало его пригодным для дальнейшей инокуляции субстратных блоков. На зерновых субстратах мицелий крошился при нарезании, что вызывало определенное неудобство при посеве в субстратные блоки. Использование пакетов (рукавов) для выращивания мицелия съедобных грибов имеет следующие преимущества: такая тара легче стеклянных банок, что упрощает их транспортировку и хранение, пакеты дешевле, чем стеклянные банки, пакеты могут быть разных размеров и форм; что позволяет адаптировать их под конкретные условия и объемы производства, в пакетах проще обеспечивать необходимую аэрацию, что способствует быстрому росту мицелия; пакеты легко заполнять субстратом, что упрощает процесс подготовки и инокуляции, так мицелий можно вносить с двух сторон, процесс заращивания субстрата сокращается в 1,5-2 раза; в пакетах субстрат не нужно перетряхивать, что упрощает технологию получения посевного материала. При использовании пластиковой тары также есть и ряд недостатков, например, пакеты (рукава) могут порваться; прозрачность пакетов может быть ограниченной, что затрудняет визуальный контроль за состоянием мицелия и субстрата; пакеты предназначены для одноразового использования.

Заключение

Посевной материал (мицелий) должен обладать высокой жизнеспособностью, для того, чтобы в дальнейшем формировались плодовые тела высокого качества. Поэтому культивированию мицелия придается большое значение во всех существующих технологиях производства грибов.

Для культивирования мицелия съедобных грибов рекомендуется использовать питательные среды с добавлением зерновой пивной дробины для гриба *P. ostreatus* в концентрации 10-15%, а для гриба *F. velutipes* – 20-25%. Для выращивания посевного мицелия предлагается использовать

пакеты (рукава) из термостойкого полиэтилена низкого давления, заполненные субстратом из зерновой пивной дробины, что может повысить рентабельность производства мицелия съедобных грибов.

Информация о спонсорстве. Исследование проводилось в рамках внутреннего гранта ФГБОУ ВО «Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого» 2024 года «Разработка элементов технологии выращивания мицелия и плодовых тел гриба Flammulina velutipes (эноки)» по договору № 5 НИР/24/07 от 11.06.2024 г.

Список литературы

1. Бисько, Н. А., Билай, В. Т., & Митропольская, Н. Ю. (2000). *Выращивание съедобных грибов (рекомендации по выращиванию шампиньонов, вешенки)*. Киев: Знание, 42 с.
2. Бисько, Н. А., Бухало, А. С., & Вассер, С. П. (1983). *Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубинной культуре* / под общ. ред. И. А. Дудки. Киев: Наукова думка, 312 с.
3. Богданов, В. Д., & Волотка, Ф. Б. (2012). Использование отходов гидробионтов в качестве основы субстрата для выращивания грибов вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*). *Научные труды Дальрыбвтуза*, *25*, 91–96. EDN: https://elibrary.ru/NDLYXB
4. Вишневский, М. В. (2014). *Лекарственные грибы. Большая энциклопедия*. Москва: Эксмо, 400 с.
5. Глазунова, А. В., Песцов, Г. В., & Сидоров, Р. А. (2020). Культивирование посевного мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* (вешенки обыкновенной) с использованием сырой пивной дробины — отхода пивоваренной промышленности. *Патент России* № 2732832C1, Бюл. № 27.
6. Сысуев, В. А., Широких, И. Г., Широких, А. А., & Ли, Ю. (2018). Грибы как культура сельскохозяйственного производства. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, *62*(1), 4–10. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.04-10. EDN: https://elibrary.ru/YSACTN
7. Девочкина, Н. Л., Нурметов, Р. Д., & Разин, О. А. (2017). Технология выращивания вешенки в условиях замкнутого цикла производства. *Овощи России*, (5), 47–50. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-5-47-50. EDN: https://elibrary.ru/XNBMTJ
8. Уланова, Р. В., Гольдштейн, В. Г., Колпакова, В. В., Носовская, Л. П., & Адикаева, Л. В. (2018). Изучение культивирования штамма *Pleurotus ostreatus* в глубинной культуре на среде зернового экстракта. *Достиже-*

ния науки и техники АПК, (8), 82–87. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10822. EDN: https://elibrary.ru/YAHKNN

9. Девочкина, Н. Л., Мукиенко, С. В., Селиванов, В. Г., & Рубцов, А. А. (2021). *Инновационные технологии и технические средства для промышленного производства культивируемых грибов*. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 80 с. ISBN: 978-5-7367-1634-0. EDN: https://elibrary.ru/COKQWO
10. Лазаревич, А. Н., Леснов, А. П., & Иванова, О. В. (2015). *Технология производства и применения кормового продукта и концентрата на основе пивной дробины: Рекомендации*. Красноярск: ФГБНУ Красноярский НИИЖ, 59 с.
11. Морозов, А. И. (2001). *Выращивание вешенки*. Донецк: Сталкер, 48 с.
12. Назаров, В. И., & Бичев, М. А. (2011). Разработка процессов утилизации отходов пивоварения с получением гранулированного продукта. *Пиво и напитки*, (3), 32–35. EDN: https://elibrary.ru/NYECDN
13. Толоконин, П. С., & Баурин, Д. В. (2017). Пивная дробина: кислотный гидролиз и потенциал для биоконверсии. *Успехи в химии и химической технологии*, *31*(9), 26–28. EDN: https://elibrary.ru/ZTMGIJ
14. Abhishek, S. (2019). Cultivation of winter mushroom (*Flammulina velutipes*). *Indian Farmers' Digest*, *52*(11), 7–11.
15. G., Wenshuo, S., Weidong, W., Mingyou, W., Jiaoling, & Z., Dehuan (2021). Design and experiment of dual-manipulator cooperation and implementing for robotic harvesting bottled *Flammulina velutipes*. *Solid State Technology*, *64*(2), 7624–7639.
16. Aida, F. M. N. A., Shuhaimi, M., Yazid, M., & Maaruf, A. G. (2009). Mushroom as a potential source of prebiotics: A review. *Trends in Food Science and Technology*, *20*, 567–575. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.007. EDN: https://elibrary.ru/YCJQXF
17. Mussatto, S., Dragone, G., & Roberto, I. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, (43), 1–14. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001
18. Gregori, A., Svagelj, M., Pahor, B., & Berovic, M. (2008). The use of spent brewery grains for *Pleurotus ostreatus* cultivation and enzyme production. *New Biotechnology*, (25), 157–161. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003. EDN: https://elibrary.ru/YASCGT
19. Townsley, P. M. (1979). Preparation of commercial products from brewer's spent grain and trub. *MBAA Technical Quarterly*, *16*(4), 130–134.

References

1. Bisko, N. A., Bilai, V. T., & Mitropolskaya, N. Yu. (2000). *Cultivation of edible mushrooms (recommendations for growing champignons and oyster mushrooms)*. Kyiv: Znanie, 42 p.

2. Bisko, N. A., Bukhalo, A. S., & Vasser, S. P. (1983). *Higher edible basidiomycetes in surface and submerged culture* / ed. by I. A. Dudka. Kyiv: Naukova Dumka, 312 p.
3. Bogdanov, V. D., & Volotka, F. B. (2012). Use of aquatic organism waste as a substrate base for cultivating common oyster mushroom (Pleurotus ostreatus). *Scientific Works of Dalrybvtuz*, *(25)*, 91–96. EDN: https://elibrary.ru/NDLYXB
4. Vishnevsky, M. V. (2014). *Medicinal mushrooms. A large encyclopedia*. Moscow: Eksmo, 400 p.
5. Glazunova, A. V., Pestsov, G. V., & Sidorov, R. A. (2020). Cultivation of inoculum mycelium of the fungus Pleurotus ostreatus (common oyster mushroom) using raw brewer's spent grain – a by-product of the brewing industry. *Russian Patent № 2732832C1*, Bulletin № 27
6. Sysuev, V. A., Shirokikh, I. G., Shirokikh, A. A., & Li, Yu. (2018). Mushrooms as an agricultural crop. *Agricultural Science of the Euro-North-East*, *62*(1), 4–10. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.62.1.04-10. EDN: https://elibrary.ru/YSACTN
7. Devochkina, N. L., Nurmetov, R. D., & Razin, O. A. (2017). Technology for cultivating oyster mushrooms in a closed-cycle production environment. *Vegetables of Russia*, *(5)*, 47–50. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2017-5-47-50. EDN: https://elibrary.ru/XNBMTJ
8. Ulanova, R. V., Goldstein, V. G., Kolpakova, V. V., Nosovskaya, L. P., & Adikaeva, L. V. (2018). Study of cultivation of the Pleurotus ostreatus strain in submerged culture on a cereal extract medium. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*, *(8)*, 82–87. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10822. EDN: https://elibrary.ru/YAHKNN
9. Devochkina, N. L., Mukienko, S. V., Selivanov, V. G., & Rubtsov, A. A. (2021). *Innovative technologies and technical means for industrial production of cultivated mushrooms*. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh", 80 p. ISBN: 978-5-7367-1634-0. EDN: https://elibrary.ru/COKQWO
10. Lazarevich, A. N., Lesnov, A. P., & Ivanova, O. V. (2015). *Technology for production and use of feed product and concentrate based on brewer's spent grain: Recommendations*. Krasnoyarsk: FGBNU Krasnoyarsk Research Institute of Animal Husbandry, 59 p.
11. Morozov, A. I. (2001). *Cultivating oyster mushrooms*. Donetsk: Stalker, 48 p.
12. Nazarov, V. I., & Bichev, M. A. (2011). Development of processes for recycling brewing waste to produce a granulated product. *Beer and Beverages*, *(3)*, 32–35. EDN: https://elibrary.ru/NYECDN
13. Tolokonin, P. S., & Baurin, D. V. (2017). Brewer's spent grain: Acid hydrolysis and potential for bioconversion. *Advances in Chemistry and Chemical Technology*, *31*(9), 26–28. EDN: https://elibrary.ru/ZTMGIJ

14. Abhishek, S. (2019). Cultivation of winter mushroom (Flammulina velutipes). *Indian Farmers' Digest*, *52*(11), 7–11
15. Wenshuo, G., Weidong, W., Mingyou, W., Jiaoling, Z., & Dehuan, S. (2021). Design and experiment of dual manipulator cooperation and implementing for robotic harvesting bottled Flammulina velutipes. *Solid State Technology*, *64*(2), 7624–7639
16. Aida, F. M. N. A., Shuhaimi, M., Yazid, M., & Maaruf, A. G. (2009). Mushroom as a potential source of prebiotics: A review. *Trends in Food Science and Technology*, *(20)*, 567–575. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.007. EDN: https://elibrary.ru/YCJQXF
17. Mussatto, S., Dragone, G., & Roberto, I. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, *(43)*, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001
18. Gregori, A., Svagelj, M., Pahor, B., & Berovic, M. (2008). The use of spent brewery grains for Pleurotus ostreatus cultivation and enzyme production. *New Biotechnology*, *(25)*, 157–161. https://doi.org/10.1016/j.nbt.2008.08.003. EDN: https://elibrary.ru/YASCGT
19. Townsley, P. M. (1979). Preparation of commercial products from brewer's spent grain and trub. *MBAA Technical Quarterly*, *16*(4), 130–134

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Третьякова Анастасия Валерьевна, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
glazynovaanastasiya@gmail.com

Песцов Георгий Вячеславович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий микробиологической лабораторией центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
georgypestsov@gmail.com

Прокудина Ольга Владимировна, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
prokudinaolga11@gmail.com

Мягкова Анастасия Сергеевна, младший научный сотрудник центра технологического превосходства «Передовые химические и биотехнологии»
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина 125, г. Тула, 300026, Российская Федерация
myagkovanastasia@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anastasia V. Tretyakova, Research Assistant Center of Technological Excellence "Advanced Chemical and Biotechnology"
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
glazynovaanastasiya@gmail.com

Georgiy V. Pestsov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Microbiological Laboratory of the Center for Technological Excellence "Advanced Chemical and Biotechnology"
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
georgypestsov@gmail.com

Olga V. Prokudina, Research Assistant Center of Technological Excellence "Advanced Chemical and Biotechnology"
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
prokudinaolga11@gmail.com

Anastasia S. Myagkova, Research Assistant Center of Technological Excellence "Advanced Chemical and Biotechnology"
Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University
125, Lenin Ave., Tula, 300026, Russian Federation
myagkovanastasia@gmail.com

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1339 **EDN: YSZQBA**
УДК 338.43

Научная статья

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ПРЕДЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А.Ю. Анисимов, А.Н. Алексахин, А.Г. Зайцев, П.Н. Машегов, И.В. Андросова

Аннотация

Обоснование. На современном этапе основной причиной отсталости сельского хозяйства является низкий уровень использования инновационных цифровых технологий, что препятствует повышению эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий, приводит к нерациональной структуре сельскохозяйственного производства и обусловливает актуальность оценки воздействия цифровых технологий на эффективность деятельности сельскохозяйственных предприятий

Цель исследования. Определить взаимосвязь между цифровыми инновациями и эффективностью деятельности сельскохозяйственных предприятий.

Материалы и методы. Для оценки влияния внедрения цифровых инновационных технологий на показатели эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий проведен регрессионный анализ с использованием пороговой модели, позволяющей учитывать возможные изменения в воздействии инновационных затрат на экономические показатели.

Результаты. Проведённый анализ взаимосвязи между цифровыми инновациями и показателями эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий позволил определить, что до определённого порогового значения увеличение затрат на инновации приводит к значительному улучшению таких показателей, как объем произведённой продукции, прибыль, фондоотдача и производительность труда. Однако, после достижения порогового уровня, эффект от дополнительных инвестиций начинает ослабевать, что указывает на наличие точки насыщения, после которого дальнейшие вложения могут не приводить к пропорциональному росту экономических показателей. По-

роговые значения для различных переменных отличаются, так, для продукция сельского хозяйства пороговое значение составляет 32 624,93 млн. руб., прибыли 27 759,80 млн. руб., фондоотдачи 23 655,91 млн. руб. Эти различия указывают на наличие критической точки, после которой дополнительные инвестиции на внедрение инновационных цифровых технологий не приносят ожидаемого эффекта, и свидетельствуют о необходимости системной реструктуризации сельскохозяйственного производства и перехода к новому этапу развития, основанному на более высокой технологической зрелости и комплексных преобразованиях в производственных, организационных и управленческих процессах.

Ключевые слова: инновации; затраты на технологические инновации; сельскохозяйственные организации; эффективность; прибыль; фондоотдача; производительность труда; цифровые технологии

Для цитирования. Анисимов, А. Ю., Алексахин, А. Н., Зайцев, А. Г., Машегов, П. Н., & Андросова, И. В. (2025). Оценка эффекта предельного воздействия цифровых технологических инноваций на деятельность сельскохозяйственных предприятий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 527-547. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1339

Original article

THE EFFECT OF THE MARGINAL IMPACT OF DIGITAL TECHNOLOGICAL INNOVATIONS ON THE ACTIVITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES

A.Yu. Anisimov, A.N. Aleksakhin, A.G. Zaitsev, P.N. Mashegov, I.V. Androsova

Abstract

Background. At the present stage, the main reason for the backwardness of agriculture is the low level of use of innovative digital technologies, which hinders the increase in the efficiency of agricultural enterprises, and leads to an irrational structure of agricultural production and determines the relevance of assessing the impact of digital technologies on the efficiency of agricultural enterprises.

Purpose. To determine the relationship between digital innovation and agricultural performance.

Materials and methods. To assess the impact of the introduction of digital innovative technologies on the performance indicators of agricultural enterprises, a regression analysis was carried out using a threshold model that allows taking into account possible changes in the impact of innovation costs on economic indicators.

Results. The conducted analysis of the relationship between digital innovations and the performance indicators of agricultural enterprises made it possible to determine that, up to a certain threshold, an increase in innovation costs leads to a significant improvement in such indicators as the volume of produced goods, profit, return on assets and labor productivity. However, after reaching the threshold level, the effect of additional investment begins to weaken, indicating a saturation point after which further investment may not lead to a proportional increase in economic indicators. The threshold values for different variables are different, for example, for agricultural output, the threshold value is 32,624.93 million rubles, profit 27,759.80 million rubles, return on assets 23,655.91 million rubles. These differences indicate a critical point after which additional investment in the implementation of innovative digital technologies does not bring the expected effect, and indicate the need for a systemic restructuring of agricultural production and a transition to a new stage of development based on higher technological maturity and comprehensive transformations in production, organizational and management processes.

Keywords: innovation; costs of technological innovation; agricultural organizations; efficiency; profit; return on assets; labor productivity; digital technologies

For citation. Anisimov, A. Yu., Aleksakhin, A. N., Zaitsev, A. G., Mashegov, P. N., & Androsova, I. V. (2025). The effect of the marginal impact of digital technological innovations on the activities of agricultural enterprises. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 527-547. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1339

Введение

Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей экономики [24]. Продукция сельского хозяйства выступает как товаром потребительского спроса, так и источником сырья для других производственных секторов. Традиционно руководство предприятий сельского хозяйства сталкивается в процессе осуществления хозяйственной деятельности с рядом проблем, обусловленных сезонностью производства, зависимостью от природно-климатических условий, недостатком квалифицированных кадров, ограниченными финансовыми ресурсами, а также высокой трудоемкостью при низком уровне инноваций и используемых цифровых технологий [21]. Все перечисленные проблемы приводят не только к низкой

производительности, но и возникновению риска сокращения производственных мощностей. Отсутствие инноваций, в том числе с использованием цифровых решений, в сельскохозяйственном секторе препятствует снижению издержек, улучшению качества продукции и повышению конкурентоспособности предприятий. В связи с чем важным направлением развития сельского хозяйства является внедрение инновационных цифровых технологий, которые оказывают значительное влияние на повышение эффективности деятельности предприятий отрасли [13; 31].

В последние годы сельскохозяйственная отрасль получила существенные преимущества благодаря инициативам в области внедрения цифровых технологий и открытых инноваций, направленных преимущественно на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур и урожайности [28], снижение потерь на всех этапах цепочки создания стоимости [25; 17], решение проблем устойчивого развития [8; 12], а также на совершенствование технологий производства [4; 6] и оптимизацию логистических процессов [1; 10]. Несмотря на сохраняющуюся зависимость отрасли от ряда традиционных производственных процессов, современные исследования выявляют значительный потенциал для повышения эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий [9].

Эффективность сельскохозяйственного производства обеспечивается при рациональном использовании ресурсов. В свою очередь, основным критерием эффективности является показатель выпуска продукции в натуральном и стоимостном выражении. Поэтому снижение себестоимости в сочетании с увеличением объема производства является основной задачей, стоящей на повестке дня у руководителей сельскохозяйственных предприятий и критерием оценки эффективности хозяйственной деятельности. В реальных условиях эффективность сельскохозяйственного производства может зависеть от целого комплекса факторов. Эти факторы могут быть управляемыми (внутренними), в том числе использование материально-технических ресурсов, специализация, отраслевая направленность, переход к системам замкнутого цикла, и неконтролируемыми (внешними), такими, как природные условия, изменение климата, потребности потребителей в более экологичных продуктах [15; 26] и т. д. Важность внедрения цифровых инновационных технологий на современном этапе также закреплена ведомственным проектом Министерства сельского хозяйства РФ «Цифровое сельское хозяйство», основными задачами которого выступают внедрение цифровых технологий и платформенных решений для достижения технологического прорыва на сельскохозяйственных предпри-

ятиях [2]. Необходимость адаптироваться к факторам внутренней и внешней среды стимулирует руководство сельскохозяйственные предприятия к внедрению новых технологий, в том числе цифровых. Соответственно, можно отметить, что внедрение инновационных цифровых технологий становится важным направлением исследования сложных механизмов, формирующих основу повышения эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий. В связи с этим возрастает потребность в научно-обоснованных методических разработках с учетом инновационных, организационных и экономических факторов сельскохозяйственного производства и возможных резервов для их рационального использования [13; 30; 31].

Сельскохозяйственные инновации и технологии могут быть выражены в форме цифровых решений, таких как системы точного земледелия, автоматизированный мониторинг урожайности, цифровые платформы управления производством, а также технологии селекции и обработки почвы с применением искусственного интеллекта и больших данных [11; 16; 23; 27]. При этом важно отметить, что по мнению авторов [5; 19; 20] прямой связи между цифровыми инновациями и эффективностью сельскохозяйственных предприятий в современной академической литературе уделяется недостаточное внимание.

Целью исследования является определение взаимосвязи между инновациями и эффективностью деятельности сельскохозяйственных предприятий. В качестве задач выступают: определение направлений влияния инноваций на эффективность сельскохозяйственных предприятий, а также оценка степени влияния инноваций на показатели эффективности деятельности. Объектом исследования выступают цифровые инновационные технологии сельскохозяйственных предприятий. Предметом исследования является влияние инновационных технологий на производственные результаты и экономические показатели.

Материалы и методы

Для оценки влияния внедрения инновационных технологий на показатели эффективности сельскохозяйственных предприятий использовались вторичные статистические данные за период с 2016 г. по 2023 г. В качестве зависимых переменных определены: продукция сельского хозяйства, млн. руб. (Y_1), прибыль (убыток) от продажи продукции сельскохозяйственных организаций, млн. руб. (Y_2), производительность труда, млн. руб. (Y_3), фондоотдача, млн. руб. (Y_4), потребление топливно-энергетических ре-

сурсов на одного занятого, тонн условного топлива (т.у.т) (Y_5). В качестве независимой переменной выступают затраты на технологические инновации в сельском хозяйстве, млн. руб. (x).

Для оценки влияния цифровых технологических инноваций на показатели эффективности деятельности сельскохозяйственных предприятий была использована модель порогового эффекта, позволяющая оценить, как изменения в одной переменной (затраты на инновации) начинают оказывать влияние на зависимую переменную после достижения определенного порогового значения. Для анализа зависимостей использована программа для статистической обработки Microsoft Excel.

Результаты и обсуждения

На современном этапе в условиях развития инновационной экономики затраты на инновации рассматриваются в качестве фундаментального фактора повышения эффективности деятельности предприятий. Они позволяют предприятиям расширять свои технологические возможности и совершенствовать бизнес-процессы. Проводимые эмпирические исследования [18; 19; 21; 22] обосновывают, что затраты на инновации выступают ключевым фактором повышения эффективности и производительности бизнеса, оказывая благоприятное влияние как на сами предприятия, так и на национальную экономику. Однако, вопросам экономической оценки влияния инновационных затрат на результаты деятельности как на уровне отдельных предприятий, так и на отраслевом уровне не уделяется значительного внимания [22].

По мнению [3; 18; 32], сельскохозяйственный сектор требует активного использования индустриальных и цифровых технологий, развитие которых во многом обеспечивается инициативами в области открытых инноваций. В связи с этим как частные предприятия, так и государственные структуры инициируют и поддерживают технологические преобразования, направленные на повышение эффективности сельскохозяйственного производства путем ускоренной индустриализации и внедрении передовых инновационных решений в агропромышленный комплекс. В течение длительного времени ограниченный уровень доходов, получаемых от сельскохозяйственной деятельности, оказывал значительное негативное влияние на мотивацию предпринимателей. Несмотря на предоставление государственных субсидий и других форм государственной поддержки [12; 29], данные механизмы, с одной стороны, способствовали обеспечению стабильности доходов сельхозпроизводителей, но, с другой стороны, привели к возникновению структурных дисбалансов. В частности,

они усугубили проблемы инверсии цен на продовольствие на внутреннем и международном рынках, а также ослабили конкурентоспособность национальной сельскохозяйственной продукции в глобальном масштабе. Так, например, чистая прибыль от продажи зерна за последние 10 лет изменилась с положительной на отрицательную, а операционный доход в сельском хозяйстве постоянно сокращался, в основном потому, что темпы роста затрат на сельскохозяйственное производство были намного выше, чем темпы роста стоимости продукции [23]. Соответственно, в качестве первого направления повышения эффективности за счет внедрения инноваций можно выделить прибыль от продажи продукции.

В работе [23] показано, что инновационные цифровые технологии оказывают существенное положительное влияние на коэффициент использования факторов сельскохозяйственного производства, позволяя повышать урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Так, интенсификация факторов производства за счет внедрения инновационных технологий позволяет эффективно повысить производительность труда и эффективность использования капитала [23]. Получение большего количества сельскохозяйственной продукции приведет к распределению затрат на больший объем выпуска, что повысит коэффициент использования факторов сельскохозяйственного производства и увеличит прибыль. Соответственно, вторым направлением для оценки влияния инноваций на эффективность определены показатели эффективности использования факторов производства, выраженные в повышении фондоотдачи, производительности труда и объеме потребления топливно-энергетических ресурсов (рисунок 1).

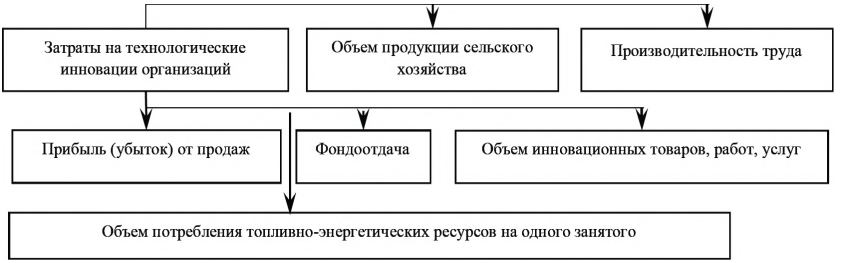


Рис. 1. Направления влияния затрат на технологические инновации сельскохозяйственных предприятий
Источник: составлено авторами на основе [1-7, 19-22]

Взаимосвязь между показателями, представленными на рисунке 1, и динамикой затрат на инновационные технологии можно проследить на

рисунках 2 и 3. Так, как показано на рисунке 2, можно отметить равнонаправленную тенденцию между динамикой темпов роста затрат на технологические инновации, объемом производства сельского хозяйства и выпуском инновационных товаров.

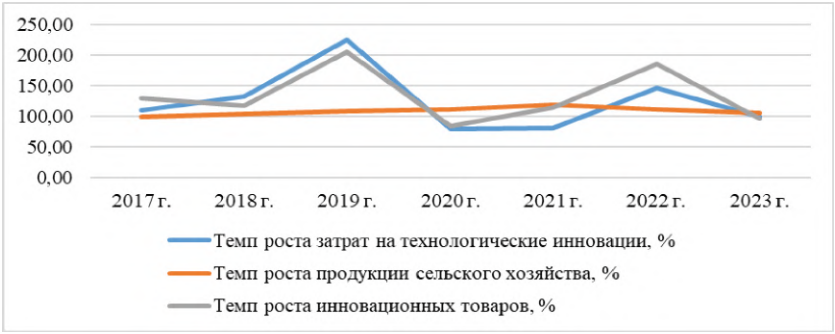


Рис. 2. Сопоставление темпов роста затрат на технологические инновации, продукции сельского хозяйства и инновационных товаров, %
Источник: составлено авторами на основе https://www.fedstat.ru/indicator/43337, https://rosstat.gov.ru/statistics/science

Анализ данных за 2017-2023 гг. свидетельствует о волатильности темпов роста затрат на технологические инновации и выпуска инновационных товаров. В 2019 г. наблюдается резкий рост затрат на технологические инновации (224,92%) и выпуска инновационной продукции (205,62%), что может свидетельствовать о значительных инвестициях в новые технологии и активном внедрении инновационных решений. В 2022 г. также можно отметить резкий рост затрат на технологические инновации (145,76%) и выпуска инновационных товаров (185,51%), что может указывать на восстановление экономики после кризисного периода. Однако в 2023 г. вновь наблюдается замедление этих показателей (99,58% и 95,79% соответственно), что может свидетельствовать либо о завершении активной фазы инвестирования, либо о внешних ограничениях, влияющих на технологическое развитие.

Взаимосвязь между динамикой затрат на технологические инновации, производительностью труда, фондоотдачей и потреблением топливно-энергетических ресурсов свидетельствует о наличии системных закономерностей. Так, динамика производительности труда в рассматриваемом периоде характеризуется поступательным ростом, начиная с 98,18% в 2017 г. и достигая максимального значения в 2021 г. (123,39%), после чего наблюдается некоторое замедление (107,67% в 2023 г.).

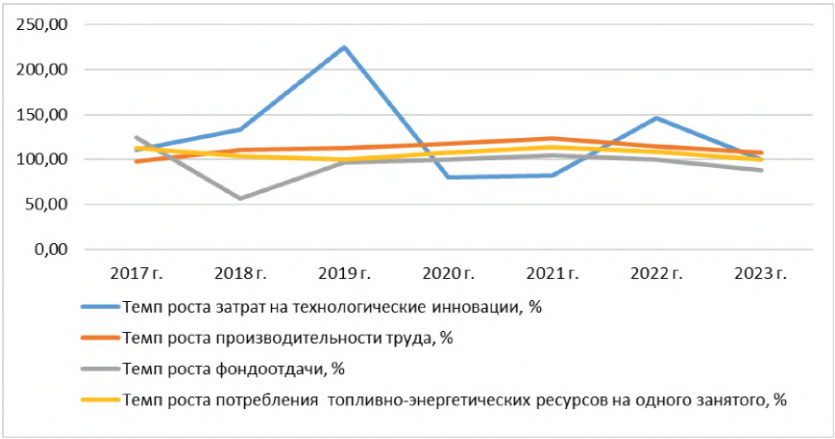


Рис. 3. Сопоставление темпов роста затрат на технологические инновации, производительности труда, фондоотдачи, потребления топливно-энергетических ресурсов на одного занятого, %
Источник: Составлено авторами на основе https://rosstat.gov.ru/statistics/science

При этом темп роста затрат на технологические инновации демонстрирует резкие колебания от 110,54% в 2017 г. до 224,92% в 2019 г., последующего снижения до 79,97% в 2020 г. и нового подъема до 145,76% в 2022 г. Наиболее выраженная положительная динамика затрат на инновации в 2019 г. не сопровождалась немедленным ростом производительности труда, что свидетельствует о наличии временного лага между инвестициями в технологии и их влиянием на экономические показатели. Потребление топливно-энергетических ресурсов на одного занятого в сельском хозяйстве демонстрирует стабильную вариативность показателей, при этом в 2019 г. данный показатель не изменился (100%) на фоне резкого роста затрат на инновации. В 2020–2021 гг. наблюдается увеличение потребления энергоресурсов (107,14% и 113,33% соответственно), что может свидетельствовать о повышении энергоемкости производства, несмотря на значительное сокращение инновационных вложений в этот период. В 2023 г. потребление энергоресурсов стабилизируется (100%), что может быть связано как с завершением модернизационных процессов, так и с более консервативным подходом к инвестициям в технологическое развитие.

Анализ динамики затрат на технологические инновации и показателей, представленных на рисунках 2 и 3, указывает на наличие нелинейных взаимосвязей, а также лаговых эффектов. Кроме того, колебания фондоот-

дачи на фоне резких изменений в динамике затрат на инновации указывает на вероятность существовании критических уровней инновационных вложений, преодоление которых приводит к существенным изменениям в экономической эффективности сельскохозяйственных предприятий. Применение пороговой регрессии позволит выявить границы таких критических уровней, определить возможные фазы технологического развития, а также оценить точки убывающей отдачи от инновационных инвестиций.

Результаты регрессионного анализа с использованием модели порогового эффекта представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты регрессионного анализа влияния инноваций на показатели эффективности сельскохозяйственных организаций

Переменные	Пороговое значение (млн. руб.)	Регрессия	R^2
Продукция сельского хозяйства (Y_1)	32624,93	$Y_1 = e^{2,8736} * x^{1,7034}$	0,5442
Прибыль (Y_2)	27759, 80	$Y_2 = e^{1029,97} * x^{0,5299}$	0,649
Производительность труда (Y_3)	32498,24	$Y_3 = e^{-6,2078} * x^{0,7619}$	0,5662
Фондоотдача (Y_4)	23655,91	$Y_4 = e^{5,5986} * x^{-1,1457}$	0,7593
Потреблено топливно-энергетических ресурсов на одного занятого (Y5)	32220,55	$Y_5 = e^{-2,7062} * x^{0,3757}$	0,5752

Источник: рассчитано авторами

Модель порогового эффекта показывает, что до достижения затратами на инновации уровня 27759,81 млн. руб. их увеличение оказывает существенное положительное влияние на прибыль. Однако при превышении этого порога дальнейший рост затрат не приводит к значительному увеличению прибыли, что может свидетельствовать о снижении отдачи от вложений. Аналогично, результаты модели подтверждают существование порогового эффекта, при котором до определенного уровня вложения в инновации способствуют росту сельскохозяйственного производства и производительности труда. Однако после достижения порогового значения, дополнительное увеличение затрат на инновации уже оказывает

меньшее влияние на рост объёмов производства, потребление ресурсов, фондоотдачу, что может свидетельствовать о эффекте насыщения и необходимости дальнейшей реструктуризации всей системы сельскохозяйственного производства, то есть её выходу на качественно более высокий уровень. Новый виток развития, основанный на предыдущих достижениях, будет характеризоваться более высокой степенью технологической зрелости и эффективности. Подобная волновая модель развития подчёркивает необходимость не просто количественного наращивания инвестиций в цифровые инновационные технологии, но и системного преобразования производственных, организационных и управленческих механизмов развития сельского хозяйства.

Заключение

В результате проведенного анализа влияния инноваций на эффективность сельскохозяйственных предприятий с использованием модели порогового эффекта можно сделать ряд выводов.

Во-первых, внедрение инновационных технологий оказывает существенное положительное влияние на прибыль, так, при увеличении затрат на инновации на 1% прибыль будет увеличиваться примерно на 0,53%, но с эффектом насыщения после достижения порогового уровня затрат на инновации.

Во-вторых, при увеличении затрат на инновации на 1% продукция сельского хозяйства будет увеличиваться на 1,7%, однако после достижения порогового уровня в размере 32624,93 млн. руб. это влияние будет стабилизироваться, а дальнейшее увеличение затрат будет приводить к меньшему увеличению объема продукции. В-третьих, фондоотдача имеет обратную зависимость от затрат на инновации, так, коэффициент −1,1457 показывает, что при увеличении затрат на инновации на 1%, фондоотдача будет уменьшаться, отрицательная зависимость становится особенно заметной после достижения порогового значения. Пороговое значение представляет собой критический уровень затрат на инновационную деятельность, при превышении которого характер влияния этих затрат на фондоотдачу существенно изменяется. После преодоления порогового уровня дополнительные вложения в цифровые инновации утрачивают эффективность и начинают оказывать обратное влияние на фондоотдачу. Такая ситуация может быть обусловлена несколькими факторами, в том числе невоспроизводимостью экономического эффекта, связанного с высоким уровнем расходов, а также неспособностью предприятий к органи-

зационному и технологическому освоению высоких объемов инвестиций в цифровые инновации. Данные обстоятельства находят своё отражение в значении коэффициента наклона в пороговой регрессионной модели, т.е. отрицательное значение коэффициента (−1,1457) указывает на то, что после превышения порогового уровня каждый дополнительный прирост затрат на цифровые инновации на 1% приводит к снижению фондоотдачи примерно на 1,1457%.

В-четвертых, при увеличении затрат на инновации на 1%, потребление ресурсов на одного занятого в сельском хозяйстве будет снижаться примерно на 2,7%, что подтверждает положительное влияние на энергоэффективность и потребление ресурсов.

В-пятых, проведенный регрессионный анализ позволил обосновать предположение, что инновационные затраты оказывают значительное влияние на показатели эффективности сельскохозяйственных предприятий, однако наличие порогового эффекта указывает на то, что при достижении определённого уровня затрат на инновации их влияние снижается.

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

Список литературы

1. Аралкин, Н. А., & Шох, М. А. (2022). Инновации в сельском хозяйстве как фактор его развития. *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования*, (1(59)), 15–20. https://doi.org/10.47581/2022/IE.1.59.02. EDN: https://elibrary.ru/YVCSUD
2. ФГБНУ «Росинформагротех». (2019). *Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: официальное издание* (48 с.). М.
3. Дорогов, И. Ф., & Пилова, Ф. И. (2021). Цифровизация сельского хозяйства и внедрение цифровых технологий в АПК. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*, (1(31)), 118–122. EDN: https://elibrary.ru/GPGGYJ
4. Жалнин, Э. В. (2017). Технические инновации в сельскохозяйственном производстве и ресурсосберегающий эффект. *АгроСнабФорум*, (3), 14. EDN: https://elibrary.ru/YMDHKX
5. Ившин, С. В., & Анисимов, А. Ю. (2024). Компаративный анализ российской и зарубежной практики цифровизации предприятий АПК. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, (112), 40–47. https://doi.org/10.21515/1999-1703-112-40-47. EDN: https://elibrary.ru/VPDOXT

6. Индюков, А. И. (2014). Приоритетные инновации по формированию материально-технической базы сельскохозяйственного производства. *Аграрный вестник Северного Кавказа*, (3(15)), 236–242.
7. Корепанова, В. С., Трубин, А. Е., Нечаев, А. М., & Анисимов, А. Ю. (2024). Модификация архитектуры свёрточной нейронной сети для определения категории земельного участка со спутниковых снимков. *Прикладная информатика, 19*(6(114)), 32–43. https://doi.org/10.37791/2687-0649-2024-19-6-32-43. EDN: https://elibrary.ru/LSIYUM
8. Алексахин, А. Н., Анисимов, А. Ю., Батищев, А. В., и др. (2024). *Открытые инновации в Российской Федерации: современное состояние и перспективы развития: монография* (160 с.). Москва: ООО «Русайнс». ISBN: 978-5-466-07442-0. EDN: https://elibrary.ru/LEDACU
9. Попков, Н. И. (2024). Научный потенциал как фактор роста сельского хозяйства. *International Agricultural Journal, 65*(6). https://doi.org/10.55186/25880209_2024_8_6_7. EDN: https://elibrary.ru/DIYFGV
10. Попова, Л. В., Горшкова, Н. В., & Шалдохина, С. Ю. (2019). Внедрение технологий сельского хозяйства 4.0: условия и прогнозы. *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика*, (1(235)), 83–89. EDN: https://elibrary.ru/MKCCMA
11. Варламов, А. А., Гальченко, С. А., Гвоздева, О. В., & Чуксин, И. В. (2020). Процесс цифровизации сельского хозяйства на базе концептуально новой системы умного землепользования. *Международный сельскохозяйственный журнал*, (5(377)), 69–72. https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-15097. EDN: https://elibrary.ru/GCPYFK
12. Сеитов, С. К. (2024). Распределение объёмов поддержки среди субъектов агропромышленного комплекса в Красноярском крае. *Наука Красноярья, 13*(3), 65–86. https://doi.org/10.12731/2070-7568-2024-13-3-258. EDN: https://elibrary.ru/PHPXAM
13. 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: https://elibrary.ru/UUMMYD
14. Терновых, К. С., Куренная, В. В., & Агибалов, А. В. (2020). Развитие инноваций в сельском хозяйстве: тенденции, перспективы. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 13*(2), 96–103. https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96. EDN: https://elibrary.ru/GMMURR
15. Бахарев, В. В., Капустина, И. В., Митяшин, Г. Ю., & Катрашова, Ю. В. (2020). Анализ стратегий. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture,*

12(5), 79–96. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96. EDN: https://elibrary.ru/OJCXCO

16. Якушев, В. П. (2019). Цифровые технологии точного земледелия в реализации приоритета «умное сельское хозяйство» России. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (2), 11–15. https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15. EDN: https://elibrary.ru/ZBFLJJ
17. Bakharev, V. V., Mityashin, G. Yu., & Stepanova, T. V. (2023). Food security, food waste and food sharing: the conceptual analysis. *Food Systems, 6*(3), 390–396. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396. EDN: https://elibrary.ru/SNGHJJ
18. Carolan, M. (2018). The politics of Big Data: corporate agri-food governance meets «weak» resistance. В *Agri-environmental Governance as an Assemblage* (pp. 195–212). Routledge.
19. He, W., Li, E., & Cui, Z. (2021). Evaluation and influence factor of green efficiency of China's agricultural innovation from the perspective of technical transformation. *Chinese Geographical Science, 31*, 313–328. https://doi.org/10.1007/s11769-021-1192-x. EDN: https://elibrary.ru/CCMLQE
20. Khudoynazarovich, K. S. (2021). Economic issues of ensuring economic efficiency in agricultural production and the use of innovative agricultural technologies. *SAARJ Journal on Banking & Insurance Research, 10*(2), 16–22. https://doi.org/10.5958/2319-1422.2021.00011.4. EDN: https://elibrary.ru/QCUECA
21. Lampach, N., Skoien, J. O., Ramos, H., Gaffuri, J., Koeble, R., See, L., & Van der Velde, M. (2025). Statistical atlas of European agriculture: gridded data from the agricultural census 2020 and the spatial distribution of CAP contextual indicators. *Earth System Science Data Discussions*, 1–35. In review. https://doi.org/10.5194/essd-2025-59. EDN: https://elibrary.ru/ACBSHF
22. Le, T. L., Lee, P. P., & Peng, K. C. (2019). Evaluation of total factor productivity and environmental efficiency of agriculture in nine East Asian countries. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika), 65*(6). https://doi.org/10.17221/50/2018-AGRICECON
23. Li, W., Wang, D., Li, M., Gao, Y., Wu, J., & Yang, X. (2021). Field detection of tiny pests from sticky trap images using deep learning in agricultural greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture, 183*, 106048. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106048. EDN: https://elibrary.ru/OFLCYG
24. 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. EDN: https://elibrary.ru/FFRHYZ

25. Petrunina, I. V., Gorbunova, N. A., & Zakharov, A. N. (2023). Assessment of causes and consequences of food and agricultural raw material loss and opportunities for its reduction. *Theory and Practice of Meat Processing, 8*(1), 51–61. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-51-61. EDN: https://elibrary.ru/BGTBTE
26. Sokolov, O. V., Castornov, N. P., & Zhilyakov, D. I. (2021). Current state and problems of development of organic gardening in Russia. B *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (c. 012048). Michurinsk. https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012048. EDN: https://elibrary.ru/RUOOJQ
27. Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture, 22*, 818–833. https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9. EDN: https://elibrary.ru/ZJXSZH
28. Dudkin, I. V., Dolgopolova, N. V., Zhilyakov, D. I., et al. (2023). System when placing grain production in microzones of the Central Chernozem region. B *E3S Web of Conferences: VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)* (c. 02011). Krasnoyarsk. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002011. EDN: https://elibrary.ru/UXLTRV
29. Zhilyakov, D. I., Ryakhovsky, D. I., & Bondarenko, N. G., et al. (2022). The importance of state support and regulation in the agro-industrial complex. *Res Militaris, 12*(2), 2549–2560. EDN: https://elibrary.ru/BGCRRS
30. Fedotova, G. V., Gontar, A. A., Kulikova, N. N., & Kurbanov, A. K. (2018). Threats to food security of the Russia's population in the conditions of transition to digital economy. B *The Impact of Information on Modern Humans* (Vol. 622, pp. 542–548). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68. EDN: https://elibrary.ru/XXMNED
31. 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. EDN: https://elibrary.ru/KBWSDA
32. Zhang, S., Li, B., & Yang, Y. (2021). Efficiency analysis of scientific and technological innovation in grain production based on improved grey incidence analysis. *Agriculture, 11*(12), 1241. https://doi.org/10.3390/agriculture11121241. EDN: https://elibrary.ru/CWUAWO

References

1. Aralkin, N. A., & Shokh, M. A. (2022). Innovations in agriculture as a factor of its development. *Innovative Economy: Prospects for Development and Improve-*

ment, (1(59)), 15–20. https://doi.org/10.47581/2022/IE.1.59.02. EDN: https://elibrary.ru/YVCSUD

2. FSBSI "Rosinformagrotekh". (2019). *Departmental project "Digital Agriculture": Official publication* (48 p.). Moscow.
3. Dorogov, I. F., & Pilova, F. I. (2021). Digitalization of agriculture and implementation of digital technologies in the agro-industrial complex. *Proceedings of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*, (1(31)), 118–122. EDN: https://elibrary.ru/GPGGYJ
4. Zhalnin, E. V. (2017). Technical innovations in agricultural production and resource-saving effect. *AgroSnabForum*, (3), 14. EDN: https://elibrary.ru/YMDHKX
5. Ivshin, S. V., & Anisimov, A. Yu. (2024). Comparative analysis of Russian and foreign practices of digitalization of agro-industrial enterprises. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, (112), 40–47. https://doi.org/10.21515/1999-1703-112-40-47. EDN: https://elibrary.ru/VPDOXT
6. Indyukov, A. I. (2014). Priority innovations in the formation of the material and technical base of agricultural production. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*, (3(15)), 236–242.
7. Korepanova, V. S., Trubin, A. E., Nechaev, A. M., & Anisimov, A. Yu. (2024). Modification of the architecture of a convolutional neural network for determining the category of a land plot from satellite images. *Applied Informatics*, 19(6(114)), 32–43. https://doi.org/10.37791/2687-0649-2024-19-6-32-43. EDN: https://elibrary.ru/LSIYUM
8. Aleksakhin, A. N., Anisimov, A. Yu., Batishchev, A. V., et al. (2024). *Open innovations in the Russian Federation: Current state and development prospects: Monograph* (160 p.). Moscow: LLC "Rusains". ISBN: 978-5-466-07442-0. EDN: https://elibrary.ru/LEDACU
9. Popkov, N. I. (2024). Scientific potential as a factor of agricultural growth. *International Agricultural Journal*, 65(6). https://doi.org/10.55186/25880209_2024_8_6_7. EDN: https://elibrary.ru/DIYFGV
10. Popova, L. V., Gorshkova, N. V., & Shaldokhina, S. Yu. (2019). Implementation of Agriculture 4.0 technologies: Conditions and forecasts. *Bulletin of the Adygea State University. Series 5: Economics*, (1(235)), 83–89. EDN: https://elibrary.ru/MKCCMA
11. Varlamov, A. A., Galchenko, S. A., Gvozdeva, O. V., & Chuksin, I. V. (2020). The process of digitalization of agriculture based on a conceptually new smart land management system. *International Agricultural Journal*, (5(377)), 69–72. https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-15097. EDN: https://elibrary.ru/GCPYFK

12. Seitov, S. K. (2024). Distribution of support volumes among subjects of the agro-industrial complex in the Krasnoyarsk region. *Science of Krasnoyarsk*, 13(3), 65–86. https://doi.org/10.12731/2070-7568-2024-13-3-258. EDN: https://elibrary.ru/PHPXAM
13. 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. EDN: https://elibrary.ru/UUMMYD
14. Ternovykh, K. S., Kurennaya, V. V., & Agibalov, A. V. (2020). Development of innovations in agriculture: Trends and prospects. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 13(2), 96–103. https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.2.96. EDN: https://elibrary.ru/GMMURR
15. Bakharev, V. V., Kapustina, I. V., Mityashin, G. Yu., & Katrashova, Yu. V. (2020). Analysis of strategies. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 12(5), 79–96. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-5-79-96. EDN: https://elibrary.ru/OJCXCO
16. Yakushev, V. P. (2019). Digital technologies of precision farming in the implementation of the "Smart Agriculture" priority in Russia. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*, (2), 11–15. https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/11-15. EDN: https://elibrary.ru/ZBFLJJ
17. Bakharev, V. V., Mityashin, G. Yu., & Stepanova, T. V. (2023). Food security, food waste and food sharing: the conceptual analysis. *Food Systems, 6*(3), 390–396. https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396. EDN: https://elibrary.ru/SNGHJJ
18. Carolan, M. (2018). The politics of Big Data: corporate agri-food governance meets «weak» resistance. В *Agri-environmental Governance as an Assemblage* (pp. 195–212). Routledge.
19. He, W., Li, E., & Cui, Z. (2021). Evaluation and influence factor of green efficiency of China's agricultural innovation from the perspective of technical transformation. *Chinese Geographical Science, 31*, 313–328. https://doi.org/10.1007/s11769-021-1192-x. EDN: https://elibrary.ru/CCMLQE
20. Khudoynazarovich, K. S. (2021). Economic issues of ensuring economic efficiency in agricultural production and the use of innovative agricultural technologies. *SAARJ Journal on Banking & Insurance Research, 10*(2), 16–22. https://doi.org/10.5958/2319-1422.2021.00011.4. EDN: https://elibrary.ru/QCUECA
21. Lampach, N., Skoien, J. O., Ramos, H., Gaffuri, J., Koeble, R., See, L., & Van der Velde, M. (2025). Statistical atlas of European agriculture: gridded data from the agricultural census 2020 and the spatial distribution of CAP contextual in-

dicators. *Earth System Science Data Discussions*, 1–35. In review. https://doi.org/10.5194/essd-2025-59. EDN: https://elibrary.ru/ACBSHF

22. Le, T. L., Lee, P. P., & Peng, K. C. (2019). Evaluation of total factor productivity and environmental efficiency of agriculture in nine East Asian countries. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika), 65*(6). https://doi.org/10.17221/50/2018-AGRICECON
23. Li, W., Wang, D., Li, M., Gao, Y., Wu, J., & Yang, X. (2021). Field detection of tiny pests from sticky trap images using deep learning in agricultural greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture, 183*, 106048. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106048. EDN: https://elibrary.ru/OFLCYG
24. 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. EDN: https://elibrary.ru/FFRHYZ
25. Petrunina, I. V., Gorbunova, N. A., & Zakharov, A. N. (2023). Assessment of causes and consequences of food and agricultural raw material loss and opportunities for its reduction. *Theory and Practice of Meat Processing, 8*(1), 51–61. https://doi.org/10.21323/2414-438X-2023-8-1-51-61. EDN: https://elibrary.ru/BGTBTE
26. Sokolov, O. V., Castornov, N. P., & Zhilyakov, D. I. (2021). Current state and problems of development of organic gardening in Russia. B *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (c. 012048). Michurinsk. https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012048. EDN: https://elibrary.ru/RUOOJQ
27. Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture, 22*, 818–833. https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9. EDN: https://elibrary.ru/ZJXSZH
28. Dudkin, I. V., Dolgopolova, N. V., Zhilyakov, D. I., et al. (2023). System when placing grain production in microzones of the Central Chernozem region. B *E3S Web of Conferences: VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)* (c. 02011). Krasnoyarsk. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339002011. EDN: https://elibrary.ru/UXLTRV
29. Zhilyakov, D. I., Ryakhovsky, D. I., & Bondarenko, N. G., et al. (2022). The importance of state support and regulation in the agro-industrial complex. *Res Militaris, 12*(2), 2549–2560. EDN: https://elibrary.ru/BGCRRS
30. Fedotova, G. V., Gontar, A. A., Kulikova, N. N., & Kurbanov, A. K. (2018). Threats to food security of the Russia's population in the conditions of transition to digital economy. B *The Impact of Information on Modern Humans* (Vol. 622,

pp. 542–548). Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75383-6_68. EDN: https://elibrary.ru/XXMNED
31. 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. EDN: https://elibrary.ru/KBWSDA
32. Zhang, S., Li, B., & Yang, Y. (2021). Efficiency analysis of scientific and technological innovation in grain production based on improved grey incidence analysis. *Agriculture, 11*(12), 1241. https://doi.org/10.3390/agriculture11121241. EDN: https://elibrary.ru/CWUAWO

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Анисимов Александр Юрьевич, канд. экон. наук, доцент, заместитель директора по учебно-методической работе факультета информационных технологий, доцент кафедры информационного менеджмента им. профессора В.В. Дика
Университет «Синергия»
пр-т Ленинградский, 80, г. Москва, 125190, Российская Федерация
anisimov_au@mail.ru

Алексахин Александр Николаевич, канд. пед. наук, доцент, зав. кафедрой информационного менеджмента им. профессора В.В. Дика
Университет «Синергия»
пр-т Ленинградский, 80, г. Москва, 125190, Российская Федерация
aleksahinalex555@gmail.com

Зайцев Алексей Геннадьевич, д-р экон. наук, доцент, профессор кафедры информационного менеджмента им. профессора В.В. Дика
Университет «Синергия»
пр-т Ленинградский, 80, г. Москва, 125190, Российская Федерация
cbap@bk.ru

Машегов Петр Николаевич, д-р экон. наук, профессор, профессор кафедры информационного менеджмента им. профессора В.В. Дика; профессор кафедры информатики
Университет «Синергия»; Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова
пр-т Ленинградский, 80, г. Москва, 125190, Российская Федерация; Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Российская Федерация
yand-man@yandex.ru

Андросова Ирина Владимировна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры экономики, управления и аудита
ФГБОУ ВО Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация
irinka-rusik@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander Yu. Anisimov, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Deputy Director for Educational and Methodological Work of the Faculty of Information Technologies, Associate Professor of the Department of Information Management named after Professor V.V. Dick
Synergy University
80, Leningradsky Prospekt, 125190, Moscow, Russian Federation
anisimov_au@mail.ru
SPIN-code: 9732-9601
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8113-4523
Researcher ID: Q-3824-2017
Scopus Author ID: 57194047333

Alexander N. Aleksakhin, Cand. Sci. (Ped.), Associate Professor, Department Chair of Information Management named after Professor V.V. Dick
Synergy University
80, Leningradsky Prospekt, 125190, Moscow, Russian Federation
aleksahinalex555@gmail.com
SPIN-code: 8110-8098
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0692-2391
Researcher ID: AEX-7675-2022

Alexey G. Zaitsev, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Professor of the Department of Information Management named after Professor V.V. Dick

Synergy University
80, Leningradsky Prospekt, 125190, Moscow, Russian Federation
cbap@bk.ru
SPIN-code: 4092-6973
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7578-3543
Researcher ID: AAG-2096-2020
Scopus Author ID: 57195717866

Petr N. Mashegov, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor of the Department of Information Management named after Professor V.V. Dick; Professor of the Department of Computer Science
Synergy University; Plekhanov Russian University of Economics
80, Leningradsky Prospekt, 125190, Moscow, Russian Federation; 36, Stremyanny Lane, Moscow, 115054, Russian Federation
yand-man@yandex.ru
SPIN-code: 3407-7189
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6984-010X
Researcher ID: Q-3907-2017
Scopus Author ID: 57195719163

Irina V. Androsova, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor of Economics, Management and Audit Department
Southwest State University
94, 50 let Oktyabrya Str., Kursk, 305040, Russian Federation
irinka-rusik@mail.ru
SPIN-code: 5052-3538
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4019-6875
Researcher ID: N-9606-2016
Scopus Author ID: 58796884800

Поступила 20.04.2025 Received 20.04.2025
После рецензирования 29.05.2025 Revised 29.05.2025
Принята 08.07.2025 Accepted 08.07.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1675 **EDN: YTLBIF**
УДК 614.256

CC BY NC ND

Научная статья

ТЕМА БОЛЕЗНИ В ТЕКСТОВЫХ РАССУЖДЕНИЯХ ГРАЖДАН РОССИИ, ПРИКРЕПЛЕННЫХ ДЛЯ ОКАЗАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ МЕДИКО-САНИТАРНОЙ ПОМОЩИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

О.В. Митрофанова, С.В. Пискунова, Л.В. Фролова

Аннотация

Обоснование. Современная научная рациональность при изучении понимания и отношения личности к болезни характеризуется взаимодействием различных подходов к изучению языковых образований. Использование антропоцентрического подхода позволяет непосредственно обратиться к говорящему человеку, к мыслящей личности. Одним из междисциплинарных направлений лингвоперсонологии стало исследование диалектной языковой личности с систематизацией корпуса текстов, записанных со слов отдельных информантов, с описанием речевых портретов носителей говоров. В XXI веке активно изучается регионально-диалектная картина мира, а в ней – в том числе народные представления о здоровье и нездоровье человека. Болезнь в работах языковедов познается как представление и семантическое поле, как концепт и концептосфера. Перспективным видится текстовый анализ диалектного дискурса по данной теме.

Цель. Целью исследования авторами выбрано раскрытие темы болезни в текстовых рассуждениях граждан России, прикрепленных для оказания первичной медико-санитарной помощи в сельской местности.

Материалы и методы. Реализация цели работы достигалась с использованием теоретических методов – изучения, анализа, синтеза, обобщения и концептуализации теоретических и прикладных исследований в области теории языковой и диалектной языковой личности, лингвоперсонологии, диалектологии, теории текста; с использованием экспериментальных методов – эмпирического анализа, наблюдения, сравнения, описания, опроса, беседы;

а также лингвистических методов – лингвистического анализа текста, лексикографического метода, метода полевого анкетирования, антропоцентристского метода; и общелогических методов и приемов – анализа и синтеза, обобщения, индукции и дедукции, системного подхода, структурно-функционального подхода.

Результаты. Тексты о болезни граждан России, проживающих в Тамбовской области и прикрепленных для оказания первичной медико-санитарной помощи в сельской местности, изображают картины заболеваний, показывают причины их возникновения, передают переживания родных об ослабевшем от недуга человеке, подчеркивают ценность того, кого недуг может привести к смерти. Понятие болезни в этих диалектных разговорных текстах либо художественно иллюстрируется, либо корректируется в связи с описанием именно пациента, а не заболевания; значение слов «болеть» и «болезнь» ярко и убедительно наполняется контекстным компонентом семантики, выполняющим функцию уточнения; объем концепта «болезнь (болеть, боль)» прирастает новыми смыслами, расширяя его концептосферу.

Ключевые слова: медицинская помощь; первичная медико-санитарная помощь; диалектная языковая личность; текст; болезнь; значение слова; понятие; концепт

Для цитирования. Митрофанова, О. В., Пискунова, С. В., & Фролова, Л. В. (2025). Тема болезни в текстовых рассуждениях граждан России, прикрепленных для оказания первичной медико-санитарной помощи в сельской местности. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 548-577. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1675

Original article

THE TOPIC OF DISEASE IN THE TEXT DISCUSSIONS OF RUSSIAN CITIZENS ASSIGNED TO PROVIDE PRIMARY HEALTH CARE IN RURAL AREAS

O.V. Mitrofanova, S.V. Piskunova, L.V. Frolova

Abstract

Background. Modern scientific rationality in studying the understanding and attitude of the individual to illness is characterized by the interaction of various approaches to the study of linguistic formations. The use of the anthropocentric approach allows us to directly address the speaking person, the thinking person. One of the in-

terdisciplinary areas of linguapersonology has become the study of dialectal linguistic personality with the systematization of the corpus of texts recorded from the words of individual informants, with a description of the speech portraits of native speakers. In the 21st century, the regional-dialect picture of the world is actively studied, and in it - including folk ideas about human health and ill health. In the works of linguists, illness is cognized as a representation and a semantic field, as a concept and a conceptual sphere. Textual analysis of dialect discourse on this topic seems promising.

Purpose. The aim of the study by the authors was to reveal the topic of the disease in the textual discussions of Russian citizens assigned to provide primary health care in rural areas.

Materials and methods. The implementation of the goal of the work was achieved using theoretical methods - study, analysis, synthesis, generalization and conceptualization of theoretical and applied research in the field of the theory of linguistic and dialectal linguistic personality, linguapersonology, dialectology, text theory; using experimental methods - empirical analysis, observation, comparison, description, survey, conversation; as well as linguistic methods - linguistic analysis of the text, lexicographic method, field survey method, anthropocentric method; and general logical methods and techniques - analysis and synthesis, generalization, induction and deduction, systems approach, structural-functional approach.

Results. Texts about the illness of Russian citizens living in the Tambov region and assigned to provide primary health care in rural areas depict pictures of illnesses, show the reasons for their occurrence, convey the experiences of relatives about a person weakened by illness, emphasize the value of someone whose illness can lead to death. The concept of illness in these dialectal colloquial texts is either artistically illustrated or adjusted in connection with the description of the patient, not the illness; the meaning of the words “to be sick” and “illness” is vividly and convincingly filled with a contextual component of semantics, performing the function of clarification; the volume of the concept “illness (to be sick, pain)” grows with new meanings, expanding its conceptual sphere.

Keywords: medical care; primary health care; dialectal linguistic personality; text; disease; meaning of the word; notion; concept

For citation. Mitrofanova, O. V., Piskunova, S. V., & Frolova, L. V. (2025). The topic of disease in the text discussions of Russian citizens assigned to provide primary health care in rural areas. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 548-577. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1675

Введение

Современное социально-гуманитарное познание характеризуется взаимодействием различных подходов к изучению семиотических объектов,

междисциплинарному изучению языка, ведущие из которых − системоцентрический и антропоцентрический; последние десятилетия отмечены также становлением системного подхода к исследованию языковых образований и речевой деятельности, что позволяет переосмыслить сложившиеся представления об этих объектах и их свойствах [2; 35].

Е.С. Кубрякова характеристиками новой социально-гуманитарной парадигмы в познании форм, выражающихся в языке считает: 1) экспансионизм как соединение языкознания с другими науками; 2) антропоцентризм как понимание человека основной мировоззренческой категорией, исходя из которой можно выстроить представления о языке, мышлении и языковой картине мира; 3) функционализм как осознание языковых явлений с точки зрения прежде всего их функций, а не формы; 4) экспланаторность как стремление объяснить сущность языковых фактов, а не только описать их [17].

Тематика исследования отношения к болезни, проведению медицинских процедур, последствий лечения, проведения обследования и освидетельствования в рамках осуществления медицинских экспертиз – популярное направление научного поиска, отраженное в современных научных работах [9; 22-26; 29]. Исторически первичным был антропоцентрический принцип, учитывающий в социально-гуманитарном познании человеческий фактор и непосредственно направленный на исследование говорящего человека, мыслящей личности.

Формирование представлений о языковой личности складывалось в современной научной парадигме благодаря фундаментальным научным трудам В. Гумбольдта, Ф. де Соссюра, Э. Сепира, а затем И.А. Бодуэна де Куртене, А.М. Пешковского, В.В. Виноградова, Р.А. Будагова и др.; отечественная теория языковой личности разрабатывалась Ю.Н. Карауловым, Г.И. Богиным, В.И. Карасиком, С.А. Сухих, В.В. Зеленской, В.В. Красных, В.П. Нерознаком, Л.Н. Чурилиной, В.А. Масловой и др.

Среди многообразных дефиниций языковой личности самой точной является, на наш взгляд, формулировка Ю.Н. Караулова: «… любой носитель того или иного языка, охарактеризованный на основе анализа произведенных им текстов с точки зрения использования в этих текстах системных средств данного языка для отражения видения им окружающей действительности (картины мира) и для достижения определенных целей в этом мире» [14].

Методы исследования и обзор литературы

Реализация цели работы достигалась с использованием теоретических методов – изучения, анализа, синтеза, обобщения и концептуализации те-

оретических и прикладных исследований в области теории языковой и диалектной языковой личности, лингвоперсонологии, диалектологии, теории текста; с использованием экспериментальных методов – эмпирического анализа, наблюдения, сравнения, описания, опроса, беседы; а также лингвистических методов – лингвистического анализа текста, лексикографического метода, метода полевого анкетирования, антропоцентристского метода; и общелогических методов и приемов – анализа и синтеза, обобщения, индукции и дедукции, системного подхода, структурно-функционального подхода.

Современная научная рациональность, продолжая изучать тексты писателей как произведения наиболее ярких языковых индивидуальностей, интенсивно также исследует языковую личность представителей различных регионов, разных социальных слоев, разнообразных профессий.

Одним из направлений антропологических исследований стало изучение диалектной языковой личности. Монография В.Д. Лютиковой 1999 года [19] «Языковая личность и идиолект» стали первой крупной обобщающей работой по языку конкретной языковой личности диалектоносителя − В.М. Петуховой из Курганской области. Работы Е.В. Иванцовой по теме «Феномен диалектной языковой личности» 2002 года [11] были посвящены исследованию речи носителя сибирских старожильческих говоров В.П. Вершининой. Е.В. Прокофьева в своих статьях и диссертации 2012 года описывает как диалектную языковую личность на Алтае А.В. Медведеву [34]. В отличие от многих исследований языковой личности и даже диалектной языковой личности, носящих типовой характер, данные работы уникальны тем, что представляют конкретного рядового носителя русского языка и русского говора. Синтез диалектной речи, просторечия и форм литературного языка в XXI в. представляет особое коммуникативное информационное значение также для системы межличностных отношений, сохранения и развития знаний о состоянии социума.

Е.В. Иванцова определяет диалектную языковую личность как представителя говора и индивидуальность, которая творчески преобразует его [11]. В.Д. Лютикова конкретизирует понятие бóльшим количеством признаков: усвоение родного диалекта, сохранение фольклорной традиции, долговременная и оперативная память, осознание языка и выработка личностных смыслов и ценностных ориентиров, стремление к преодолению автоматизированного характера употребления языковых единиц [19, с. 136−137].

Е.Н. Ильина в статье «Диалектная языковая личность в фокусе лингвистических проблем» [12] обращает внимание на спектр проблем диалект-

ной лингвоперсонологии, решение которых демонстрируется автором на основе исследований локальных особенностей речи жителей Вологодского края: а) формирование лексической картотеки и на ее основе «Словаря вологодских говоров», б) систематизация корпуса текстов, записанных со слов отдельных информантов и на ее основе описание речевых портретов носителей вологодских и белозерско-бежецких говоров; в) публикация книг проекта «Народная речь Вологодского края», выход в свет монографии «Народная речь Вологодского края: говоры Кирилловского района» (мемуарная проза, фольклорные записи, примеры бытовой речи с лингвистическими комментариями).

С.А. Ганичева указывает, что при изучении диалектной языковой личности в основном упор делается на описание речи человека, всю жизнь прожившего в данной местности и не получившего профессионального образования; но есть необходимость исследования языковых личностей людей, родившихся и выросших в селе, но потом уехавших в город, для установления сохранности диалектных черт и последствий влияния городской культурной среды [3].

В данной статье рассмотрены тексты диалектной языковой личности Тамбовской области, описывающие болезни, собранные путем опроса, прикрепленного для оказания первичной медицинской помощи, контингента.

К сожалению, те или иные болезни познают на себе практически все люди, то есть каждый имеет собственное представление об этом состоянии. Кроме собственного опыта, по мере взросления приобретается понимание самых разных недугов из реальной жизни наших родных, близких и знакомых, а также из бытовых рассказов о болезнях, школьных учебников, медицинских научных и популярных источников, художественных произведений литературы и кинематографа. В сельской среде представление о болезни складывается в рамках регионально-диалектной картины мира, которая по своим характеристикам является наивной, индивидуальной, поэтической, метафорической, динамической и противопоставляется научно-медицинской картине мира [31].

Болезни изучаются биологией, физикой, химией, медициной, деонтологией, биоэтикой, биопсихологией; лингвисты изучают болезнь как семантическое поле, представление, концепт и концептосферу.

З.А. Дубинец в статье «Концепт «болезнь» в русской языковой картине мира» [8] указывает, что содержательное наполнение этого концепта менялось с развитием науки, отличаясь в официальной и народной медицине. Репрезентантами концепта автор видит слова «болезнь», «врач», «болеть»

и «больной», семантико-когнитивными его признаками – болезнь как физиологический процесс, отклонение от нормы, состояние беспокойства, переживания, заботы о больном. Медицинский дискурс, пишет З.А. Дубинец, сосредоточен на причинах болезни и ее симптомах, а художественный дискурс показывает больше процесс течения болезни.

Культурологический аспект концепта «болезнь» исследует Н.Е. Некора, рассматривая лексико-семантическую его репрезентацию в русском языке [27]. Автор связывает концепт «болезнь» и с универсальной моделью естественного жизненного цикла и с важнейшими ментальными и мировоззренческими категориями, делает вывод о значительной роли мифологической традиции в формировании и развитии этого концепта, определившей неповторимое сплетение языческих и христианских представлений; раскрывая актуальное содержание концепта «болезнь», отмечает сосуществование в сознании носителей русской лингвокультуры знаний рационалистического и иррационалистического характера.

Т.В. Маркелова и М.Л. Новикова анализируют понятийные, образные и ценностные характеристики концептосферы «здоровье – болезнь» в силу возрастающей их значимости в условиях эпидемий, техногенных катастроф и экологической неравновесности, в связи с чем исследование данной концептосферы рассматривается как стратегия изменения ментальности человека в отношении к здоровью как норме жизни и ценности, а в отношении к болезни – как отклонению от нормальной жизни [21]. Авторы также делают вывод о том, что понятийная характеристика концептов «здоровье» и «болезнь» обуславливает разную широту их культурного функционала. Тезаурус лексической единицы «болезнь» представлен Т.В. Маркеловой и М.Л. Новиковой следующим: болезнь, заболевание → проблема, боль, инфекция → состояние, нарушение, кризис, травма, расстройство, поражение, депрессия → патология, страх, явление, рак, стресс, недуг, проявление → синдром, потеря, беда, реакция, язва, воспаление, приступ → изменение, желание, чувство, смерть → повреждение, недостаток, вирус, конфликт, симптом, беда, диабет, страдание, голод, порок, туберкулез, аллергия, грипп, простуда, слабость, последствие, лихорадка.

Представлена указанная тема и в исследованиях диалектного дискурса.

Е.А. Ковригина выявляет лексический состав единиц семантического поля «болезнь», в которое включены как общерусские, так и диалектные слова разных частей речи; структуру данного семантического поля исследователь видит в формировании совокупности субполей с общими смысловыми признаками ‘болезненное состояние’, ‘чувство боли’, ‘пло-

хое самочувствие', 'неотвязное желание' [15; 16]. Е.А. Ковригина считает, что архаические представления о болезни отражены в вере в возможность наслать ее на человека колдовскими силами или непроизвольно, а также в существовании в народном сознании агрессивного антропоморфного или зооморфного образа болезни, который передвигается и по земле и по воздуху и старается полностью завладеть живым существом.

Н.Г. Архипова изучает концепт «болезнь» на материале семантического поля «Болезни и болезненные состояния» в русских говорах Приамурья [1]. Автор полагает: поскольку в сознании носителя диалекта закрепились представления о болезни, возникшие до периода образования национальных восточнославянских культур, то можно говорить о наличии в структуре концепта «болезнь» языческих архетипов. В наивной языковой картине мира, по мнению Н.Г. Архиповой, болезнь − живое существо, связанное не только с реальным, но и с потусторонним миром, почему в заговорах его изгоняют и в объективное пространство (река, болото, лес), и в абстрактное пространство (царство тьмы).

Е.Н. Ильина в сознании сельских жителей Русского Севера [13] фиксирует, с одной стороны, устойчивые представления о здоровье и болезни, а с другой стороны, − значительные изменения в области средств и способов вербализации ментальной оппозиции «здоровье − болезнь», в результате чего на смену лексике и фразеологии народной медицины приходит «околомедицинская» лексика, адаптированная обыденным сознанием.

Основная часть

Субъектом данного исследования являются граждане России, проживающие в Тамбовской области и прикрепленные для оказания первичной медико-санитарной помощи в сельской местности. В этических целях имена и фамилии опрашиваемых изменены или не приводятся, названия населенных пунктов не сообщаются. Средний возраст опрашиваемых – более 50 лет, связан с необходимостью наличия жизненного опыта, опыта перенесенных заболеваний, обследования и лечения, а также лечения своих родных и близких.

Объектом данного исследования являются психолого-социальные и медицинские представления о болезнях в индивидуально-понятийном контексте; предмет исследования − тексты о болезни, проводится анализ современного варианта традиционного описания одной из сложнейших и актуальных тем при изучении диалектной подсистемы русского языка в XXI веке.

Повествуя о своей жизни, исследуемые рассказывают и о своих родных; одни из самых ярких и значительных тем этого дискурса – темы женитьбы/замужества, рождения детей, а также болезни и смерти: «*У мя свякровь, у ней асма, она всяўда по зимам болела. Вот. Как же трудно было! Ой, даже вот идёшь с работе, домой – хоть не ходи! Вот как у ней, она на коленочках даж бедная сидела. Вот так, няльзя ляжать – задвыхалась. Я уж ей энўалятор у мя был, я всю Москву объехала, купила ей, штоб самой заправить. Он вот кончица [и-ы]нўалятор – и всё. И с ней плохо делается. Ну она только такая-то она вот суятная, ой-ой! Такая всё помоўать эт она любить. «Ну зачем ты в холодной воде? – ўовришь. – Да ты поўрей! Кип[‘а]тильником вода-то вон, битончик. И в тёплой воде». – «Да я вам обед приўотовила!» – «Я ўоворю: «А, поди, в холодной воде чистила?» – на неё. Молчить. Я ўоворю: «Чё же, в холодной?» Ну… так.*» – говорит один из опрашиваемых.

Текст, по выражению М.А.К. Хэллидея, есть язык в действии [39]. Приступая к анализу полученных рассказов о болезнях, отметим, что данные фрагменты интервью также являются текстами – записями устного диалектного дискурса. Эти речевые образования обладают всеми признаками текста: коммуникативной обусловленностью, объективированной формой изложения, завершенностью, структурной выраженностью и целостностью; воедино сливаются в них целенаправленные и прагматичные типы логических, лексических, грамматических и стилистических связей [32]. И в то же время это диалектные тексты, содержащие лексические, фонетические, словообразовательные, морфологические и синтаксические признаки восточной группы южнорусского наречия, основные из которых – аканье и яканье, фрикативное ў [28; 33]. Очевидно, в силу устности и непринужденности общения, что это тексты разговорной речи, свойствами которых являются спонтанность, непосредственность речевого акта, неструктурированность, эмоциональность, линейный характер, проявляющийся и в экономии речевых средств, и в их избыточности [10]. Кроме того, диалектные слова по отношению к литературному языку порой обладают функцией целостного текста. Особенно это проявляется в речи современных коммуникантов, так как для адекватного восприятия информации необходимо восстановление информационного объема диалектизма из системы знаний.

Для записи диалектной речи в данной статье используется упрощенная запись, недиссимилятивный тип аканья отдельно не обозначается в силу большей распространенности этого фонетического явления в русской речи.

В полученных и исследуемых тексте о болезни свекрови реализуется понятие болезни: бронхиальная астма полностью изменяет жизнь женщины, ее возможности.

Значение слова «болезнь», зафиксированное в словаре С.И. Ожегова, – «расстройство здоровья, нарушение правильной деятельности организма» [37]; в словаре В.И. Даля – «по объясненію врачей: нарушеніе равновѣсія въ жизненныхъ отправленіяхъ» (болесть, боля, боль, хворь, хиль, немочь, недугъ. нездоровье)» [6, с. 112].

Лингвисты спорят об определении понятия и слова «болезнь» и могут позволить себе разные формулировки, а вот юристы принуждены быть более конкретными, четко вымеряя каждое слово дефиниции, что ощутимо даже в названиях их статей: «К вопросу о понятии «болезнь»» (в журнале «Профилактическая медицина» [4], «Некоторые проблемы определения понятия «болезнь»» (в журнале «Закон и право») [20], «Болезнь как юридический факт – состояние, вызывающее правовые последствия» (в журнале «Медицинское право») [36]. Медицинские же работники используют в основном слово «заболевание»; люди, далекие от лечебного дела, этот научный медицинский термин применяют реже, чем слово «болезнь». В словаре русского языка, кроме толкования «болезнь» для слова «заболевание» приведено также значение «возникновение болезни» [37, с. 170]; в медицинских энциклопедиях, справочниках и учебных пособиях заболевание – это объективированное научное понятие о строго конкретном состоянии нездоровья человека (или животного), внесенное в реестр Всемирной Организации Здравоохранения и национальных медицинских организаций, когда рассматриваются особые и местные причины, свойства болезни, характеристические ее признаки и симптомы, подразделяющиеся на исследования систем организма.

В приведенном тексте реализация семантики слова «болела» добавляет к прямому словарному значению ‘переносить болезнь’ и даже к переносному значению ‘сильно беспокоиться, скорбеть’ контекстный вариативный, потенциальный компонент семантики: здесь болеть – это:

1) испытывать трудности и самой свекрови, и родным, находящимся рядом (снохе, об этом рассказывающей), то есть, с одной стороны, – «*асма», «на коленочках даж бедная сидела», «ня́льзя ля́жать – задвыхалась», «он вот кончица [и-ы]нгалятор – и всё. И с ней плохо делается»,* а с другой стороны – *«Как же трудно было! Ой, даже вот идёшь с работе, домой – хоть не ходи!»;*

2) пользоваться для облегчения тяжелого болезненного состояния прибором, купленным теми людьми, которым страдающий человек небезразличен;

3) отдавать чувства и заботу больному, а больному их получать.

Попутно необходимо указать, что связность как одно из основных свойств текста формируется в данном речевом образовании за счет последовательного движения трех переплетающихся линий: свекровь с ее чувствами и действиями ← болезнь → сноха с ее ответными чувствами и делами.

В описанных выше исследованиях о концепте «болезнь» названы самые разные слои и субполя его структуры, но значение как составная часть концепта, попав в новый текст, всегда проявляет потенциальный контекстный компонент семантики (вариативную сему): а) уточняя значение слова, затем и постепенно развивая, а с течением времени даже изменяя; б) корректируя со временем содержание понятия, выражаемого данным словом; в) в итоге расширяя объем концептосферы или семантического поля.

Известен гиппократовский принцип о том, что надо лечить больного, а не болезнь, так же надо в разных описаниях болезни человека в художественном, диалектном, разговорном дискурсе видеть не только словарные формулировки, а каждый раз те новые нюансы значения слова, понятия и концепта, которые формирует изменяющаяся жизнь.

Наивно-просто, но точно переданы в тексте элементы клинической картины астмы: женщина не может лежать, сидит, болезнь с особой силой проявляется зимой, приступы возникают в конце дня. Вот как об этом пишет врач: а) «Приступы иногда появляются после полуночи или при отходе ко сну», б) «Во время приступа больной чувствует себя гораздо хуже в лежачем положении и потому садится… делает всевозможные усилия, чтобы расширить и опорожнить свои легкие. Больной мечется…» [18, с. 234].

Переданная обыденным языком симптоматика бронхиальной астмы составляет первую часть текста; вторая его часть повествует о поиске лечебного средства, который тоже представляет трудности (*«я всю Москву объехала, купила ей»);* третья часть – о том, какими качествами обладает свекровь (*Ну она только такая-то она вот суятная, ой-ой! Такая всё помоүать эт она любить»).* Эти качества болезнь высвечивает еще ярче, когда человек заботится о других, готовит еду, несмотря на свой недуг. И получается, что сноха еще больше ценит того, кто, находясь в тяжелом состоянии, готов думать о других и готов облегчать другим жизнь своим вниманием. Сноха только старается уговорить свекровь не остужать руки при чистке картошки, чтобы не осложнять болезненного состояния.

Признаки говора в тексте 1: а) [ү] – *всяүда, энүалятор, [и-ы]нүалятор, помоүать, үовришь, поүрей, приүотовила, үоворю;* б) яканье – *(у) мя, свякровь, всяүда, ньяльзя, ляжать, суятная, кипятильником;* в) диалектное

произношение – *у мя, асма, задвыхалась, энуалятор, [и-ы]нуалятор;* г) диалектные морфологические особенности – *идёшь с работе*, (*она) любить, молчить [она], по зимам;* д) диалектно-разговорная синтаксическая особенность – конструкция фразы, соединяющая несколько типов построения высказывания «У ней…», «У меня…», «Она…», когда предложение «*У мя свякровь, у ней асма, она всяуда по зимам болела»* в книжном оформленном варианте выглядело бы как «Моя свекровь болела астмой, особенно тяжело ей было зимой»: «*У ней… а сына простудила* [бабушка опрашиваемой]*… Она яво… У них сени были. Такие это…*

– *Плетеные иль какие?*

– *Ну нет, они кирпишные. Ну не топились сени-ты. Она с нём вышла и стоить. В этой чёй-то он в пялёночке. Она заходит, бабка-то, и уоворит: «Марья, да ты простудила мальчишку. Да ты чё в сянях стоишь-то?» Вот и она тут вот поэтому она тут с этого кой это испугалась мальчишка простудила. Это ей вылечила яво был это матушка тут жила в Соловьянке тут у нас.*

– *Попова?*

– *Да, попова жана. Она яво подвылечила. Он стал. Ну работать надо. Кормить-то. Он на Филатовский стал ходить мальчишком. Они яво в сарай, в сарай отурябать. А пыльно тода была чё на земле зярно-то. Он нахватался этой пыли. И опять лехкие заболели. И вот он всяуда был больной. И в Ленинурад ездил там лячился. И этой он. Отец двадцать три умер, а он тридцать три.*

– *Молодые какие были все!*

– *А он рукодельный был. Они вообще, наши все рукодельные. Он и тапочки и туфли шил, и сапоуи шил, и валенки валял – ну всё может. Ну всё вот чё хошь. И на уармошке сыурает и на балалайке. Вот он на все аллюры. А здоровья нету.*

– *Марьи Никитичны сын?*

– *Он да. Он даже вот крыл. Нам уоворить: «Дуньчка, пока я живой, сдавай тялка, возите солому – я т[ʲи^{э}]бе покрою. Хто тогда те покроеть! Избу путём покрою». Ну и мы отвяли т[Э^{и}]лка и с ней на тачке с Филатовских возили на крышу солому… Возили, возили эт солому. Навозили. Потом из колодеца всё поливали. А он покрыл, всё хорошо покрыл. А то чё же, к нам залезли. Кк… этой… за ветчиной. Мамка, мы выкърмили поросёночка.*

– *Воровали?*

– *Да.*

В данном тексте опрашиваемая рассказывает о своем дяде, раскрывая причины болезненного его состояния здоровья из-за заболевания легких, которые привели мужчину к ранней смерти в 33 года. Тему болезни человека организуют в тексте значимые повторы, обеспечивающие дифференциальный признак связности:

а) *сына простудила, простудила мальчишку, мальчишка простудила;*

б) *вылечила… матушка, яво подвылечила, и в Ленинӯрад ездил, там лячилси;*

в) *они яво в сарай, в сарай отӯрябать (зерно), на земле зярно-то;*

г) *опять лёхкие заболели, всяӯда был больной;*

д) *он рукодельный был, наши все рукодельные;*

е) *и тапочки и туфли шил, и сапоӯи шил;*

ж) *и валенки валял;*

з) *он даже вот крыл, я тебе покрою, кто тода т[иᵊ]бе покроет, избу путем покрою, а он покрыл, всё хорошо покрыл.».*

Отметим, что вопросы интервьюера имеют сопроводительный, уточняющий характер для самого спрашивающего, а не для развития темы.

В тексте нет картины болезни, а упор рассказчиком делается на ее причины: в раннем детстве мальчика остудила мать (переживавшая смерть мужа, оставшаяся с тремя маленькими детьми), а в юности окончательно ослабила здоровье работа с пыльным зерном.

Больной − это человек, пораженный какой-нибудь болезнью, имеющий расстроенное здоровье; в медицинской практике используется слово-термин «пациент» (с латинского языка − «терпящий», «страдающий») с конкретным значением лица, которому оказывают медицинскую помощь, или который находится под медицинским наблюдением [30, с. 613]. Слово «больной» употребляется шире и является многозначным, в приведенном тексте используется в прямом значении. Опрашиваемая подробно описывает: ребенка вынесли в холодные сени, держали его там долго, как обеспокоилась увиденным бабушка, испугалась последствий своего непродуманного действия мать. Переживания бабушки лексически выражены рассказчиком, а вот для описания страха матери используются только два полнозначных слова «*испугалась»* и «*простудила»*, а другие слова просто передают чувство материнского смятения: «*Вот и она тут вот поэтому она тут с этого кой это испугалась мальчишка простудила».*

Вынужденный работать, чтобы кормить себя и помогать семье, дядя идет работать, но работа – «*отӯрябать зярно».* Раньше в колхозах зерно ссыпали на землю, асфальт на току и в сараях не клали, и там было очень пыльно от сухого зерна и сыпучей земли: «*Он нахватался этой пыли.».*

Так что концепт «болеть (больной, боль)» наполняется в этом тексте смыслом «заболевающий», «начинающий болеть по определенной причине».

По сравнению с первым текстом, усиливается представление о больном, слабом человеке как о работнике, имеющем неоспоримые достоинства. Эта характеристика − эмоциональная, объемная с определением «рукодельный»: мужчина владел очень трудоемкими и редчайшими даже для села ремеслами − сапожным, валяльным делом и кровельным искусством (прежде на Тамбовщине глиняные из природного камня избы крыли ржаной соломой). Отдельно рассказывается о том, как дядя покрыл соломой дом сестры: уговорил сначала, чувствуя свою скорую смерть, потом сестра с дочерью сдали в колхоз своего телка за возможность взять колхозную солому, потом издалека возили солому, помещали ее в раствор глины, закладывали сырой для крепости, прочности и долговечности крыши. Концепт «болеть (больной)» в этом тексте, таким образом, наполняется еще и смыслом «человек, имеющий особую ценность», «недуг одолевает наиболее достойных».

Удивительной языковой художественностью обладает фрагмент «*А он рукодельный был…*» Здесь наблюдаем: а) и расширение объема информации высказывания от единичного до обобщения (*он рукодельный → наши все рукодельные*), б) и ряды однородных сказуемых и шире − однородных конструкций «действие и предмет, на который направлено действие» *Он и тапочки и туфли шил, и сапоүи шил, и валенки валял*, сопровождающиеся обобщением *ну всё может, ну всё вот чё хошь, вот он на все аллюры*, в) а также горькое противопоставление удивительных умений и недужности *А здоровья нету*.

Выражение *на все аллюры,* употребленное как метафора, является находкой рассказчика. «Алюръ» в словаре В. Даля − «образъ хода или бѣга лошади, бѣжъ, побѣжка» [6, с. 13]. В тексте опрашиваемых в индивидуальном фразеологизме *на все аллюры* осуществлен перенос с разных видов хода лошади на разнообразные виды мастерства, которыми владел дядя.

Слово-характеристика *рукодельный* означает «искусно занимающийся», в словаре В. Даля «рукодѣльная хозяйка, рукодѣльник, - ница, знающая работы эти, охочая до них и прилежная» [7, с. 112].

Диалектные особенности текста 2: а) яканье (сильное, с элементами остаточного ассимилятивного) − *яво, (в) пялёночке, (в) сянях, отүрябать, зярно-то, всяүда, лячилси, отвяли*; б) [ү] − *үоворит, отүрябать, всяүда, Ленинүрад, сапоүи, (на) үармошке сыүрает*; в) словообразовательная особенность − *подвылечила*; г) морфологические диалектные особенности

текста – *с нём, (она) стоить, был жила, нахваталси, лячилси, путём (избу покрою), из колодеца, отец умер двацать три, (он) ӯоворить, (кто) покроеть.*

В диалогах опрашиваемые также сообщают следующую информацию: «*… Я када пое… пош… он* ***сделалось с нём ноӯи*** *– месяц он* ***ничё не ел****,* ***болеть ноӯи****. Ой, я чем токо яму не* ***натирала****! Ну всем, всем! <…> Всётки* ***зажили****.* ***Ноӯи зажили****. Вот,* ***задыхается ночью****. Выйдем с нём, по улице ходим. Я ӯоворю: «Ой, чёй-то ня так. Поедем* ***в больницу****!» Поехали. Прияжжяем – Лидия была. Лидия эта эта проверила, дала там какие-то эт* ***таблетки****, эта. Не услыхала, что чёй-т* ***шум в лёхких****. Никак* ***не лекшить****. Прям делается, задыхается – и всё. Привожу к этой, к Николавне, к Марине попали. Она* ***слухала****, ӯоворит: «У него* ***чёй-то с лёхкими****. Ехайте на* ***рентгент****». Поехали на* ***рентгент****. Сделали* ***рентгент****. Ну приехали. Потом я поехала за документами. Всех вызывають, дають, а мяня – нет. Сижу: «Да что же это такое? Мя уж всё». Ӯоворю: «****Чёй-то ня так****!» Ӯл[‘а]жу,* ***врач*** *мяня вызываеть. Вызываеть и ӯоворить: «Вот у няво* ***болезня****, придётся на Тамбов!» А-а-а! Всё! Я к Юрке [сыну] пришла (плачет). Даже эту сумку оставила там эт, с этим с… он мне отдал эти* ***фотӯрафии, какие****… Э-э-э! «Ой, Юрка, Юрка! Отец-то,* ***рак****, наверно». Я ӯоворю: «Чё ж нам делать?» Ну чё же! Поедем. Заехала в Макеевку, в Макеевке кричу. Она ӯоворит: «Да што ты так кричишь? Мошт, ш ничаво, как…» Я ӯоворю: «Нет!* ***Обои лёхкие-то*** *их, обои!» Ну они нам* ***назначили эту лечению-ту****,* ***пролячились****. Я потом поехала. А одна там* ***чудок зажила****, а эта* ***идёть выше****. Ну, если бы одна бы. Мошт, отняли бы! Ну поехали с нём. Поехали. А яму надоть эт брать. А я туда привяла яво. Думаю: он ня может сам-то, я сама с нём тама всё. Я ӯоворю: «Я тоже зайду». Он ӯоворит: «Нет, Вы не заходите. Он раздяваться ня будеть». Я таку ноӯу подставила, шоб дверь не закрылась. И слухаю, подӯлёдываю. А он яму и ӯоворит: «Да ты, наверно, ня выдержишь». Он* ***очен ослаб, с ноӯами, с болью****, он* ***плохо ел****. А он: «Конечно, ня выдержу». И выходить оттуда. А-а-а! Чё ж делать, надо Светке [дочери] звонить. А, мошт, она будеть мя руӯать? «Светк!» – «Ну как же, раз* ***велять – надо****». Я ӯоворю: «Он* ***уже ушёл****. Шо теперь* ***Ӯосподь дасть****!» Мы едем назад. А туда надо опять к этому* ***к врачу****. Приходим, он ӯоворит: «Ну* ***пишите отказныя****». А он же не умееть, я ӯоворю: «Давай я». Бумажку написала: «Отказываемся от этой…*

– От операции или от чего?

– М-м. Прияжжяем, а Лидия и ӯоворить: «Всем маленьким делають –

они, большие, взрослые, ***не сделали****». Я ўоворю: «А чё же, брат мой сделал, ну и чаво, я ўоворю, у няво* ***кровь пошла как в рот****». Она и говорит: «Ну* ***перястала****!» Я ўоворю: «У вятёлков».*

– Помер!

– Да. Ну он он ***всё-тки шесть лет прожил****. А то б слазили – он* ***сразу бы умер****.»*[1].

Данный текст раскрывает картину болезни, трудности ее диагностирования, отношения пациента, его родных с лечебными учреждениями и врачами, вопросы выбора принимать или не принимать предлагаемые медиками методы обследования.

Тема «болезнь» реализуется в следующих словах и выражениях: *сделалось с нём ноўи, ничё не ел, болеть ноўи, ноўи зажили, задыхается, поедем в больницу, таблетки, лехкие, шум в лехких, не лекшить, рентгент, рак, врач, назначили лечению-ту, пролячились, ня выдержишь, очен ослаб с ноўами с болью, он плохо ел, отказнуя, отказываемся, кровь пошла в рот, всё-тки шесть лет прожил, а то б слазили – он сразу бы умер.* Этот набор свидетельствует о серьезности описываемого заболевания: осмотр больного, анамнез, разнообразные обследования с анализами, постановка диагноза и назначение лечения, для жителя села (в котором, в лучшем случае, есть медсестра) всегда поездки сначала в сельскую больницу, затем в больницу районного центра, а при тяжелой болезни или неясной ее симптоматике – поездка в лечебные учреждения областного центра, а также всегда приходы к родным, чтобы поделиться бедой. В приведенном тексте эта подчиненная основной теме тематическая линия проходит через всё повествование:

а) *поедем в больницу, поехали, прияжжяем, привожу, ехайте, поехали, сделали рентгент, ну приехали, потом поехала за документами, придется на Тамбов, к Юрке* [к сыну] *пришла, поедем, заехала в Макеевку* [в сельскую больницу]*, я потом поехала;*

б) в центре этой лексической группы оказывается информация о лечении и его результатах*: Ну они нам назначили эту лечению-ту, пролячились… А одна там чудок зажила, а эта идеть выше,* то есть лечебное воздействие дало временное улучшение, но болезнь не остановило, и она стала развиваться;

в) *поехали с нём, поехали, туда привяла яво; мы едем назад, надо опять к этому врачу, приходили, прияжжяем.*

[1] Имена врачей, а также название села, в котором находилась сельская больница, изменены по этическим и правовым соображениям.

Данные смысловые потоки, помещенные в фразы, формируют связность текста, структурно его оформляют как завершенный и целостный; высказывания с диалектными словами, формами слов, особенностями произношения, многочисленными лексическими и синтаксическими повторами рисуют образ сельчанина, озабоченного нездоровьем близкого человека, поглощенного горем, но стремящегося вырваться из него; разговорная эмоциональная непосредственность окрашивает рассказ в тревожную тональность, выражая не только переживания, но и борьбу врачей и близких людей за сохранение жизни мужчины.

Картина болезни в тексте короткая: *сделалось с нём ноӯи, месяц он ничё не ел, болеть ноӯи*; когда ноги зажили – *задыхается ночью, выйдем с нём, по улице ходим*; после приема таблеток – *никак не лекшить, прям делается задыхается – и всё.*

По словам дочери опрашиваемой, отцу ставили предположительный диагноз «рак легких», для более точного определения болезни предлагали делать биопсию, но он от нее отказался. При этом, следует иметь ввиду, что к первым симптомам рака легкого относят одышку и кашель; рентгенологические методы диагностики бронхолегочной онкологии занимают ведущее место; трудность определения заболевания в описанном случае состояла в том, что пациент не кашлял и никогда не курил [5; 38].

Рассказчик представляет нам четырех врачей. Два из них – без имен, под названиями «врач» и «он». О рентгенологе сказано мало: *Ӯл[ʻа]жу, врач мяня вызываеть. Вызываеть и ӯоворить: «Вот у няво болезня, придётся на Тамбов!* Этот врач определяет недуг и указывает на его тяжесть, почему и направляет пациента в областную больницу. Диалектная форма *на Тамбов* наполняется для женщины зловещим смыслом.

Второй врач разговаривает с мужем Александры Андреевны о процедуре биопсии. Женщину врач призывает к порядку, не разрешая входить в кабинет: *Нет, Вы не заходите. Он раздяваться ня будет (*то есть помощь больному не нужна). Но разговор врача с мужем А.А. Жмырёва передает, она его слышала, потому что подставила ногу под дверь: *Да ты, наверно, ня выдержишь. – Конечно, ня выдержу.* Жена понимает опасения врача в отношении мужа: *Он очен ослаб, с ноӯами, с болью, он плохо ел.* И в то же время ее пугает согласие супруга с доводом врача. Фактически женщина одновременно боится и процедуры биопсии, и последствий отказа от нее.

Самыми яркими образами медицинских работников в тексте стали врачи сельской больницы. Лидия предстает в рассказе опрашиваемой в негативном ключе, поэтому и не удостаивается отчества:

а) *Лидия эта, эта проверила, дала там какие-то эт таблетки, эта. Не услыхала, что чёй-т шум в лёхких. Никак не лекшить;*

б) *Прияжжяем, а Лидия и ɣоворить: «Всем маленьким делають – они, большие, взрослые, не сделали». Я ɣоворю: «А чё же, брат мой сделал, ну и чаво, я ɣоворю, у няво кровь пошла как в рот». Она и говорит: «Ну перястала!» Я ɣоворю: «У вятёлков».*

Доктор недостаточно тщательно прослушала легкие больного фонендоскопом, не направила на дальнейшее обследование, а отказ от биопсии насмешливо осудила. Врач, с точки зрения рассказчика, ошибается дважды: в определении тяжести болезни и в однозначном понимании процедуры биопсии как рядовой и абсолютно безопасной.

Совсем другой образ профессионального доктора, опрашиваемая видит в Марине Николаевне:

а) *Привожу к этой, к Николавне, к Марине попали. Она слухала, ɣоворит: «У него чёй-то с лёхкими. Ехайте на рентгент;*

б) *Заехала в Макеевку, в Макеевке кричу. Она ɣоворит: «Да што ты так кричишь? Мошт, ш ничаво, как…*

Этот медицинский работник при аускультации легких услышала шум, направила на рентгенологическое обследование, а потом еще и пожалела жену пациента, успокаивая неокончательной постановкой диагноза. Этот врач, по мнению опрашиваемой, – достойный уважения специалист, душевный человек, способный в трудную минуту поддержать родных своего пациента. Александра Андреевна называет доктора по имени и отчеству, причем отчество говорит первым.

Особо в тексте переданы переживания рассказчицы. С одной стороны, она предстает сильным и властным человеком, который заботится, как о ребенке, об ослабевшем муже, видя себя с ним одним целым: это показывают а) глаголы множественного числа совместного действия – *выйдем (с нём), ходим (по улице), попали (к Николавне Марине), поехали, сделали (рентгент), приехали, нам назначили эту лечению-ту, пролячились, поехали, (мы) едем (назад), приходим, отказываемся, прияжжяем;* б) а также глаголы 1-го лица единственного числа настоящего времени и единственного числа женского рода прошедшего времени – *привожу, (я) поехала (за документами), (я туда) привяла (яво), (бумажку) написала.*

С другой стороны, рассказчица очень сильно переживает тяжелую болезнь мужа:

а) лечит ему ноги *(Ой, я чем токо яму не натирала! Ну всем, всем!);*

б) выводит на улицу ночью, когда он задыхается;

в) беспокоится, когда домашние средства не помогают (*Ой, чёй-то ня так. Поедем в больницу!)* и когда не помогает назначенное лечение одного врача (*Прям делается, задыхается – и всё. Привожу к этой, к Владимровне, к Тамаре попали);*

г) предчувствует и понимает беду со здоровьем мужа в ожидании чтения снимков рентгенологом (*Всех вызывають, дають, а мяня – нет. Сижу: «Да что же это такое? Мя уж всё». Ӯоворю: «Чёй-то ня так!);*

д) услышав диагноз, забывает рентгеновские снимки (*Даже эту сумку оставила там эт, с этим с… он мне отдал эти фотӯрафии, какие…);*

е) плачет, обращаясь к сыну (*… Э-э-э! «Ой, Юрка, Юрка! Отец-то, рак, наверно». Я ӯоворю: «Чё ж нам делать?);*

ж) не перестает плакать и при следующем посещении сельской больницы *(… в Макеевке кричу…);*

з) не просто всегда ездит в больницы с мужем, но готова заходить вместе с ним во все медицинские кабинеты, и даже, когда врач ее не пускает, подслушивает и подглядывает;

и) звонит дочери, уведомляя ее об отказе отца от диагностической процедуры (*А, мошт, она будеть мя руӯать?).*

В итоге верующая женщина уповает на Бога: *Шо теперь Ӯосподь дасть!*

Понятие рака легких в данном тексте иллюстрируется нетипичным его случаем: только 15 % этих больных некурящие и некашляющие [5; 38]. А вот значение слова «болезнь» обогащается в этом контексте вариативной семой ‘труднодиагностируемое заболевание’. Самое показательное приращение данный текст дает объему концепта «болезнь (болеть)»: это – выбор, проблема выбора, перед которым встает и врач, и пациент, и его родные. Для врача – это выбор в определении болезни, в интерпретации анализов и обследований, в назначении того или иного лечения. Для пациента и его родных – это обращение или необращение к врачу, согласие с его профессиональной позицией или отвержение ее. Здесь однозначное решение по предложенной диагностической процедуре, по словам опрашиваемых, принимают супруг (супруга), отказывающиеся от биопсии (*Конечно, ня выдержу*), и дочь, соглашающаяся с изначальным советом врача в Тамбове (*Ну как же, раз велять – надо*). Рассказывая о себе, опрашиваемая передает свои метания: она ведет супруга к разным врачам, она советуется и с сыном и с дочерью (*Чё ж нам делать?*), она принимает отказ мужа и одновременно боится, что дочь будет ее ругать, она спорит с врачом об опасности диагностической процедуры, а сама постоянно сомневается, но в итоге и по прошествии многих лет радуется, что муж «отвоеван у смерти на 6 лет».

Диалектная лексика текста: *не лекшить, рентгент, болезня, фотоyрафии* (о рентгеновских снимках)*, кричать* (в значении «плакать»)*, чудок, надоть, шоб* (чтобы)*, шо* (что).

Скорбной точностью обладает удивительная метонимия *у вятёлков*, которая употреблена вместо слов «умер и теперь лежит на кладбище под деревьями, вётлами».

Диалектные особенности приведенного текста достаточно полно характеризуют особенности говора: а) морфология текста – *с нём, слухала, слухаю, ехайте, (эта) идеть, (Лидия) говорить, (врач) вызываеть, (он) ня будеть, (всем) делають, (придется) на Тамбов, подyлёдываю, (пиши-те) отказнуя, кровь пошла в рот, мя уж всё, обои лехкие, (у) вятелков, (Yосподь) дасть*; *б) [ɣ]* – *ноyи, с ноyами, ɣоворю, ɣоворит(ь), ɣляжу, фотоyрафии, подɣлёдываю, руɣать, Yосподь*; *в) я*канье – *яму* (ему)*, ня так, прияжжяем, мяня, ничаво, пролячились, яво, у няво, ня может, раздяваться, ɣл[‘а]жу, ня будеть, ня выдержишь, ня выдержу, перястала, (у) вятёлков*; *г)* синтаксис теста – *сделалось с нём ноyи, болеть ноyи; ехайте на рентгент, поехали на рентгент, сделали рентгент*.

Заключение

Теоретические разработки и эмпирические методы показывают, что тексты о болезни граждан России, проживающих в Тамбовской области и прикрепленных для оказания первичной медико-санитарной помощи в сельской местности, изображают картины заболеваний, показывают причины их возникновения, передают переживания родных об ослабевшем от недуга человеке, подчеркивают ценность того, кого недуг может привести к смерти. Понятие болезни в этих диалектных текстах либо художественно иллюстрируется, либо корректируется в связи с описанием именно пациента, а не заболевания; значение слов «болеть» и «болезнь» ярко и убедительно наполняется контекстным компонентом семантики, выполняющим функцию уточнения; объем концепта «болезнь (болеть, боль)» прирастает новыми смыслами, расширяя его концептосферу, смыслосферу, деятельную сферу.

Волнения, вызванные воспоминаниями, создали условия для проявления диалектных особенностей в речи информанта (яканье, сохранение морфологических признаков южнорусских говоров), особенно в синтаксической структуре текста.

Своеобразие диалектного текста в том, что на небольшом информационном пространстве переданы события и их оценка из жизни опрашиваемых, получено развитие следующих социально значимых семантических

полей: жизнь и смерть, мать и ребенок, семья и труд, труд и болезнь, жизнь и труд, семья и условия жизни, порядок и труд, традиции и индивид, порядочность и трудолюбие, ответственность и легкомыслие, вера и судьба/личность, закономерность и случайность, терпение и слабость человека, испытание и наказание и т.д. Данное содержание имеет взаимосвязанные в типологии информационных признаков черты философских, психологических, педагогических, морально-этических характеристик, которые часто присутствуют в традиционных диалектных текстах, ключевой лексике. Совпадения текстовых информационных моделей, известных в системе литературной формы русского языка и приобретенных при общении с диалектоносителем, свидетельствует о современном состоянии языковой культуры в XXI веке, что порождает определенные актуальные проблемы в сохранении исторических знаний при сокращении семантического объема слова и обеднении системы языка. Поэтому перед исследователями вновь возникла задача и получен социальный заказ: профессиональное изучение, накопление и сохранение диалектных данных по их состоянию в XXI веке.

Проведенное исследование ориентирует организацию здравоохранения в первичном звене на представления населения о болезнях и их последствиях, ценностное отношение к обследованию, лечению, освидетельствованию и профилактике заболеваний. Эта информация теоретически и практически полезна исследователям первичной медико-санитарной помощи, проведению медицинских экспертиз и диагностических процедур в отношении разных групп прикрепленного контингента.

Список литературы

1. Архипова, Н. Г. (2002). Концепт «болезнь» в наивной языковой картине мира носителя диалекта. *Вестник Амурского государственного университета. Серия: Гуманитарные науки*, (16), 78–81.
2. Барбазюк, В. Ю. (2010). Возникновение синергетической парадигмы в языкознании. *Lingua mobilis*, (6), 12–19. EDN: https://elibrary.ru/MUIOTV
3. Ганичева, С. А. (2016). Материалы к словарю языковой личности уроженца Кирилловского района Вологодской области: проект. В *Актуальные вопросы филологических наук: материалы IV Международной научной конференции (г. Казань, октябрь 2016 г.)* (с. 31–34). Казань: Бук.
4. Волкова, Н. И., & Волков, А. В. (2022). К вопросу о понятии «болезнь». *Профилактическая медицина*, (25), 81–85. https://doi.org/10.17116/profmed20222502181. EDN: https://elibrary.ru/NTGADA
5. Давыдов, М. И., & Полоцкий, Б. Е. (1994). *Рак лёгкого* (206 с.). М.: Радикс.

6. Даль, В. (1956). *Толковый словарь живого великорусского языка: в 4-х томах. Т. I: А–З* (600 с.). М.: Государственное издательство иностранных и национальных словарей.
7. Даль, В. (1956). *Толковый словарь живого великорусского языка: в 4-х томах. Т. IV: Р–V* (684 с.). М.: Государственное издательство иностранных и национальных словарей.
8. Дубинец, З. А. (2018). Концепт «болезнь» в русской языковой картине мира. *Филология и человек*, (3), 39–49. https://doi.org/10.14258/filichel(2018)3-03. EDN: https://elibrary.ru/XWQGGD
9. Землин, А. И., Наумов, П. Ю., & Шепель, Р. Н. (2024). Ценности здравоохранения на языке права: критические размышления об этических и правовых основах стандартов медицинской сортировки в российской военно-медицинской службе. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика, 23*(4), 115–120. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4023. EDN: https://elibrary.ru/KSLWJM
10. Земская, Е. А. (1987). *Русская разговорная речь: лингвистический анализ и проблемы обучения* (237 с.). М.: Русский язык.
11. Иванцова, Е. В. (2002). *Феномен диалектной языковой личности* (312 с.). Томск: Издательство Томского университета.
12. Ильина, Е. Н. (2015). Диалектная языковая личность в фокусе лингвистических проблем. *Вестник Череповецкого государственного университета*, (2), 75–79. EDN: https://elibrary.ru/TTHBBH
13. Ильина, Е. Н. (2015). Представления о здоровье и болезни в речи жителей Вологодского края. В *Севернорусские говоры* (с. 250–266). СПб.: Нестор-История. EDN: https://elibrary.ru/VCYFGV
14. Караулов, Ю. Н. (2019). *Русский язык и языковая личность: изд. стереотип* (264 с.). М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ».
15. Ковригина, Е. А. (2022). Общерусский глагол *болеть* в архангельских говорах: семантика и сочетаемость. *Вестник Московского университета. Серия 9: Филология*, (1), 98–107. EDN: https://elibrary.ru/LHPBPT
16. Ковригина, Е. А. (2015). *Болеть*, *болезнь* и *болесть* в диалектном пространстве. В *Современная русская лексикология, лексикография и лингвогеография* (с. 118–131). СПб.: Нестор-История.
17. Кубрякова, Е. С. (1995). Эволюция лингвистических идей во второй половине XX века (опыт парадигмального анализа). В *Язык и наука конца XX века: сборник статей* (с. 144–238). М.: Институт языкознания РАН.
18. Лори, Дж. (2003). *Гомеопатия: классическая энциклопедия домашней медицины* (688 с.). М.: РИПОЛ КЛАССИК.

19. Лютикова, В. Д. (1999). *Языковая личность и идиолект* (188 с.). Тюмень: Издательство Тюменского университета.
20. Малеина, М. Н. (2016). Болезнь как юридический факт — состояние, вызывающее правовые последствия. *Медицинское право*, (3), 9–10. EDN: https://elibrary.ru/WAHQKJ
21. Маркелова, Т. В., & Новикова, М. Л. (2021). Концептосфера «здоровье – болезнь»: культурный код. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Теория языка. Семиотика. Семантика*, (3), 848–874. https://doi.org/10.22363/2313-2299-2021-12-3-848-874. EDN: https://elibrary.ru/UQYQWO
22. Наумов, П. Ю., Большакова, В. М., Землин, А. И., & Холиков, И. В. (2021). Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 13*(6), 283–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306. EDN: https://elibrary.ru/JYSZQR
23. 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. EDN: https://elibrary.ru/LQLOAC
24. Наумов, П. Ю., & Холиков, И. В. (2023). Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 15*(1), 474–493. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493. EDN: https://elibrary.ru/QIGLAF
25. Наумов, П. Ю., Холиков, И. В., & Солдатов, С. К. (2024). Концептуализация понятия «военно-врачебная экспертиза» в междисциплинарном контексте. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 16*(1), 422–445. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071. EDN: https://elibrary.ru/DOFVTM
26. 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*(9S), 46–56. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885. EDN: https://elibrary.ru/DSONXG
27. Некора, Н. Е. (2007). Культурно-исторические предпосылки формирования концепта «болезнь» в контексте лингвокультурологических исследований. В *Коммуникативные исследования* (с. 191–194). Воронеж: Истоки.

28. Непрокина, Ю. А., & Пискунова, С. В. (2009). Концепт ЛЕТО и его воплощение в языковой культуре Тамбовского края. *Вопросы когнитивной лингвистики*, (4), 123–128. EDN: https://elibrary.ru/KYSIYZ
29. Николаев, К. Н., Чевычелов, С. В., Ивченко, Д. Р., Акимов, А. В., Голубов, Е. А., Анищенко, В. В., Ковалёв, А. С., Николаева, Г. К., Арефьева, Т. А., Кукушкина, Е. А., Жеребцов, А. И., Федосов, М. В., Зубрицкий, В. Ф., & Варданян, А. В. (2023). Венозные тромбоэмболические осложнения у раненых с боевой огнестрельной травмой в современном вооружённом конфликте. *Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал им. академика А. В. Покровского, 29*(4), 40–48. https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-4-40-48
30. *Новейший словарь иностранных слов и выражений* (976 с.). (2001). Минск: Харвест; Москва: ООО «Издательство АСТ».
31. Пискунова, С. В., & Хохлова, Г. А. (2012). Диалектная картина мира и тексты-рецепты народной медицины. *Социально-экономические явления и процессы*, (12), 410–414. EDN: https://elibrary.ru/PZUYFP
32. Пискунова, С. В. (2002). *Тайны поэтической речи (грамматическая форма и семантика текста): монография* (408 с.). Тамбов: Издательство ТГУ имени Г. Р. Державина.
33. Пискунова, С. В. (2012). Семантика аргументации в информационном поле художественного текста. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Русский и иностранные языки и методика их преподавания*, (4), 71–76. EDN: https://elibrary.ru/PFGYWR
34. Прокофьева, Е. В. (2011). Региональная культура и её отражение в языковой системе Быстроистокского района. *Мир науки, культуры, образования*, (4), 303–306.
35. Пятаева, Н. В. (2018). *Антропоцентрический и синергетический принципы лингвистики в динамическом исследовании лексических гнёзд: монография* (209 с.). М.: Флинта. ISBN: 978-5-9765-3909-9. EDN: https://elibrary.ru/PJPCMR
36. Сайфуллина, Н. А., & Савчук, А. В. (2019). Некоторые проблемы определения понятия «болезнь». *Закон и право*, (4), 40–43. https://doi.org/10.24411/2073-3313-2019-10143. EDN: https://elibrary.ru/HUHQVR
37. Ожегов, С. И. (сост.), & Обнорский, С. П. (ред.). (1953). *Словарь русского языка* (848 с.). М.: Государственное издательство иностранных и национальных словарей.
38. Трахтенберг, А. Х., & Колбанов, К. И. (2014). *Рак лёгкого* (158 с.). Под ред. В. И. Чиссова. М.: ГЭОТАР-Медиа.

39. Хэллидей, М. А. К. (1980). Лингвистическая функция и литературный стиль. В *Новое в лингвистике. Вып. IX* (с. 116–147). М.

References

1. Arkhipova, N. G. (2002). The concept of "disease" in the naive linguistic worldview of a dialect speaker. *Bulletin of Amur State University. Series: Humanities*, (16), 78–81.
2. Barbazyuk, V. Yu. (2010). The emergence of the synergetic paradigm in linguistics. *Lingua mobilis*, (6), 12–19. EDN: https://elibrary.ru/MUIOTV
3. Ganicheva, S. A. (2016). Materials for a dictionary of the linguistic personality of a native of the Kirillovsky district of the Vologda region: A project. In *Current Issues of Philological Sciences: Proceedings of the IV International Scientific Conference (Kazan, October 2016)* (pp. 31–34). Kazan: Buk.
4. Volkova, N. I., & Volkov, A. V. (2022). On the concept of "disease". *Preventive Medicine*, (25), 81–85. https://doi.org/10.17116/profmed20222502181. EDN: https://elibrary.ru/NTGADA
5. Davydov, M. I., & Polotsky, B. E. (1994). *Lung cancer* (206 p.). Moscow: Radix.
6. Dal, V. (1956). *Explanatory Dictionary of the Living Great Russian Language: In 4 volumes. Vol. I: A–Z* (600 p.). Moscow: State Publishing House of Foreign and National Dictionaries.
7. Dal, V. (1956). *Explanatory Dictionary of the Living Great Russian Language: In 4 volumes. Vol. IV: R–V* (684 p.). Moscow: State Publishing House of Foreign and National Dictionaries.
8. Dubinets, Z. A. (2018). The concept of "disease" in the Russian linguistic worldview. *Philology and Man*, (3), 39–49. https://doi.org/10.14258/filichel(2018)3-03. EDN: https://elibrary.ru/XWQGGD
9. Zemlin, A. I., Naumov, P. Yu., & Shepel, R. N. (2024). Health care values in the language of law: Critical reflections on the ethical and legal foundations of triage standards in the Russian military medical service. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 23(4), 115–120. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2024-4023. EDN: https://elibrary.ru/KSLWJM
10. Zemskaya, E. A. (1987). *Russian colloquial speech: Linguistic analysis and problems of teaching* (237 p.). Moscow: Russian Language.
11. Ivantsova, E. V. (2002). *The phenomenon of the dialectal linguistic personality* (312 p.). Tomsk: Tomsk University Press.
12. Ilyina, E. N. (2015). Dialectal linguistic personality in the focus of linguistic problems. *Bulletin of Cherepovets State University*, (2), 75–79. EDN: https://elibrary.ru/TTHBBH

13. Ilyina, E. N. (2015). Perceptions of health and disease in the speech of residents of the Vologda region. In *Northern Russian Dialects* (pp. 250–266). St. Petersburg: Nestor Istoriya. EDN: https://elibrary.ru/VCYFGV
14. Karaulov, Yu. N. (2019). *The Russian language and linguistic personality: Stereotyped edition* (264 p.). Moscow: Book House "LIBROKOM".
15. Kovrigina, E. A. (2022). The all-Russian verb *bolety* ("to be ill") in Arkhangelsk dialects: Semantics and collocability. *Bulletin of Moscow University. Series 9: Philology*, (1), 98–107. EDN: https://elibrary.ru/LHPBPT
16. Kovrigina, E. A. (2015). *Bolety* ("to be ill"), *bolezn* ("disease"), and *boles* in the dialectal space. In *Modern Russian Lexicology, Lexicography, and Linguogeography* (pp. 118–131). St. Petersburg: Nestor Istoriya.
17. Kubryakova, E. S. (1995). Evolution of linguistic ideas in the second half of the 20th century (an experience of paradigmatic analysis). In *Language and Science at the End of the 20th Century: Collection of Articles* (pp. 144–238). Moscow: Institute of Linguistics, Russian Academy of Sciences.
18. Lowry, J. (2003). *Homeopathy: A classical encyclopedia of home medicine* (688 p.). Moscow: RIPOL KLASSIK.
19. Lyutikova, V. D. (1999). *Linguistic personality and idiolect* (188 p.). Tyumen: Tyumen University Press.
20. Maleina, M. N. (2016). Disease as a legal fact – a condition that triggers legal consequences. *Medical Law*, (3), 9–10. EDN: https://elibrary.ru/WAHQKJ
21. Markelova, T. V., & Novikova, M. L. (2021). The conceptual sphere "health — disease": A cultural code. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Language Theory. Semiotics. Semantics*, (3), 848–874. https://doi.org/10.22363/2313-2299-2021-12-3-848-874. EDN: https://elibrary.ru/UQYQWO
22. Naumov, P. Yu., Bolshakova, V. M., Zemlin, A. I., & Kholikov, I. V. (2021). Conceptual aspects of conducting medical examinations when appealing military medical examination conclusions in court. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(6), 283–306. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306. EDN: https://elibrary.ru/JYSZQR
23. Naumov, P. Yu., Baranova, N. N., Kholikov, I. V., & Kuptsov, S. A. (2023). Comprehensive study of the legal foundations and problematic issues of providing first aid to (by) military personnel. *Disaster Medicine*, (3), 57–64. https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64. EDN: https://elibrary.ru/LQLOAC
24. Naumov, P. Yu., & Kholikov, I. V. (2023). Characteristics of the legal foundations for conducting military medical examinations in the troops of the National Guard of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agricul-*

ture, 15(1), 474–493. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493. EDN: https://elibrary.ru/QIGLAF

25. Naumov, P. Yu., Kholikov, I. V., & Soldatov, S. K. (2024). Conceptualization of the term "military medical examination" in an interdisciplinary context. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(1), 422–445. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071. EDN: https://elibrary.ru/DOFVTM
26. Naumov, P. Yu., Shepel, R. N., & Kholikov, I. V. (2023). Provision of primary medical care to military personnel: Legal regulation and problematic aspects. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 22(9S), 46–56. https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885. EDN: https://elibrary.ru/DSONXG
27. Nekora, N. E. (2007). Cultural and historical prerequisites for the formation of the concept "disease" in the context of linguocultural studies. In *Communicative Research* (pp. 191–194). Voronezh: Istoki.
28. Neprokina, Yu. A., & Piskunova, S. V. (2009). The concept of *LETO* and its embodiment in the linguistic culture of the Tambov region. *Issues of Cognitive Linguistics*, (4), 123–128. EDN: https://elibrary.ru/KYSIYZ
29. Nikolaev, K. N., Chevychelov, S. V., Ivchenko, D. R., Akimov, A. V., Golubov, E. A., Anishchenko, V. V., Kovalev, A. S., Nikolaeva, G. K., Arefieva, T. A., Kukushkina, E. A., Zherebtsov, A. I., Fedosov, M. V., Zubritsky, V. F., & Vardanyan, A. V. (2023). Venous thromboembolic complications in wounded patients with combat firearm injuries in modern armed conflict. *Angiology and Vascular Surgery. Journal named after Academician A. V. Pokrovsky*, 29(4), 40–48. https://doi.org/10.33029/1027-6661-2023-29-4-40-48
30. *Newest Dictionary of Foreign Words and Expressions* (976 p.). (2001). Minsk: Harvest; Moscow: LLC "AST Publishing House".
31. Piskunova, S. V., & Khokhlova, G. A. (2012). Dialectal worldview and texts of folk medicine recipes. *Socio-Economic Phenomena and Processes*, (12), 410–414. EDN: https://elibrary.ru/PZUYFP
32. Piskunova, S. V. (2002). *Secrets of poetic speech (grammatical form and semantics of text): Monograph* (408 p.). Tambov: TSU named after G. R. Derzhavin Press.
33. Piskunova, S. V. (2012). Semantics of argumentation in the information field of a literary text. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Russian and Foreign Languages and Their Teaching Methodology*, (4), 71–76. EDN: https://elibrary.ru/PFGYWR
34. Prokofieva, E. V. (2011). Regional culture and its reflection in the linguistic system of the Bystrostoksky district. *World of Science, Culture, Education*, (4), 303–306.
35. Pyataeva, N. V. (2018). *Anthropocentric and synergetic principles of linguistics in the dynamic study of lexical nests: Monograph* (209 p.). Moscow: Flinta. ISBN: 978-5-9765-3909-9. EDN: https://elibrary.ru/PJPCMR

36. Saifullina, N. A., & Savchuk, A. V. (2019). Some problems of defining the concept "disease". *Law and Legislation*, (4), 40–43. https://doi.org/10.24411/2073-3313-2019-10143. EDN: https://elibrary.ru/HUHQVR
37. Ozhegov, S. I. (Comp.), & Obnorsky, S. P. (Ed.). (1953). *Dictionary of the Russian Language* (848 p.). Moscow: State Publishing House of Foreign and National Dictionaries.
38. Trakhtenberg, A. Kh., & Kolbanov, K. I. (2014). *Lung cancer* (158 p.). V. I. Chissov (Ed.). Moscow: GEOTAR Media.
39. Halliday, M. A. K. (1980). Linguistic function and literary style. In *New Developments in Linguistics. Issue IX* (pp. 116–147). Moscow.

ВКЛАД АВТОРОВ

Митрофанова О.В.: построение структуры и концепции работы, анализ литературных данных, обоснование и формулирование основных научных результатов исследования (60%).

Пискунова С.В.: критический анализ текста, научная редакция исследования, обоснование актуальности и участие в формулировании выводов статьи (20%).

Фролова Л.В.: участие в обосновании полученных эмпирических данных, подбор методологии исследования и участие в обобщении основных научных результатов статьи (20%).

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Olga V. Mitrofanova: construction of the concept of work, analysis of literature data, substantiation and formulation of the main scientific research results (60 %);

Svetlana V. Piskunova: critical analysis of the text, scientific edition of the study, justification of the relevance and participation in the formulation of the conclusions of the article (20%);

Larisa V. Frolova: participation in the substantiation of the empirical data obtained, the selection of research methodology and participation in the generalization of the main scientific results of the article (20 %).

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Митрофанова Ольга Викторовна, кандидат филологических наук, научный сотрудник лаборатории «Современные говоры в системе русской языковой культуры»
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»

ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Российская Федерация
olgamitrofanova01@mail.ru

Пискунова Светлана Владимировна, доктор филологических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, заведующий лабораторией «Современные говоры в системе русской языковой культуры», профессор кафедры русского языка факультета филологии и журналистики
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
ул. Интернациональная, 33, г. Тамбов, 392036, Российская Федерация
filology@tsutmb.ru

Фролова Лариса Валерьевна, доцент кафедры философских и социально-экономических дисциплин
ФГКВОУ ВО «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации»
ул. Летчика Пилютова, 1, г. Санкт-Петербург, 198206, Российская Федерация
FrolovaLora1@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Mitrofanova, PhD in Philology, Research Fellow, Laboratory of Modern Dialects in the System of Russian Language Culture
G.R. Derzhavin Tambov State University
33, Internatsionalnaya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
olgamitrofanova01@mail.ru

Svetlana V. Piskunova, Doctor of Philology, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Head of the Laboratory «Modern dialects in the system of Russian language culture», Professor of the Russian Language Department of the Faculty of Philology and Journalism
G.R. Derzhavin Tambov State University
33, Internatsionalnaya Str., Tambov, 392036, Russian Federation
filology@tsutmb.ru

Larisa V. Frolova, Associate Professor of the Department of Philosophical and Socio-Economic Disciplines
Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education «Military Order of Zhukov Academy of the National Guard Troops of the Russian Federation»
1, Pilot Pilyutov Str., St. Petersburg, 198206, Russian Federation
FrolovaLora1@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0814-5808
SPIN-code: 4333-2221

Поступила 10.04.2025 Received 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025 Revised 20.05.2025
Принята 25.05.2025 Accepted 25.05.2025

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1318 **EDN: ZKZVLN**
UDC 691.32, 628.3

CC BY NC ND

Original article

PROPERTIES OF CONCRETE MODIFIED BY PRODUCTS OF A NEW TECHNOLOGY FOR TREATING WASTEWATER FROM CONCRETE PRODUCTION USING A PHASE SEPARATION PLANT FOR CONTAMINANTS

A.A. Chernilnik, A.S. Smolyanichenko, D.M. El'shaeva, E.V. Yakovleva

Abstract

Currently, the algorithm for the production of concrete mix remains almost unchanged due to the optimality and efficiency of its constituent processes. It is inextricably linked to the process of flushing equipment for the production of concrete mix, which uses large volumes of water. Polluted waters formed during flushing of equipment and concrete pipelines contain a large amount of mechanical impurities, which makes it impossible to discharge them properly, this causes the urgency of the problem and requires its immediate solution. The purpose of the study was to evaluate the effectiveness of the Pyramid N phase separator in the treatment of wastewater generated during the washing of concrete mixing equipment, as well as the possibility of reuse of purified wastewater for the manufacture of concrete mixtures and concretes. The study was carried out in two main stages: the first stage was to evaluate the effectiveness of the Pyramid N phase separator for wastewater treatment obtained after washing concrete mixing equipment and checking the quality of the treated water. The second stage is an assessment of the possibility of reuse of treated wastewater for the manufacture of concrete mixes and concretes. The research results have confirmed that the use of the Pyramid N phase separator for wastewater treatment is effective and justified. Wastewater treated with this device does not exceed the permissible standards in terms of harmful components. Concretes made with purified wastewater have strength characteristics comparable to those of concrete made with tap water. The difference between the strength characteristics ranged from 1.3% to 4.3%, and between the characteristics of fresh concrete – from 2.4% to 9.7%. The practical significance of the study was a signif-

icant reduction in water costs and a more efficient use of natural resources, which corresponds to the concept of sustainable development.

Keywords: wastewater treatment technology; installation of phase separation of phase; separation of contaminants; concrete mix; concrete

For citation. Chernilnik, A. A., Smolyanichenko, A. S., El'shaeva, D. M., & Yakovleva, E. V. (2025). Properties of concrete modified by products of a new technology for treating wastewater from concrete production using a phase separation plant for contaminants. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 578-614. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1318

Научная статья

СВОЙСТВА БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТАМИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД БЕТОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ ФАЗОВОЙ СЕПАРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

А.А. Чернильник, А.С. Смоляниченко, Д.М. Ельшаева, Е.В. Яковлева

Аннотация

В настоящее время практически неизменным остается алгоритм производства бетонной смеси вследствие оптимальности и эффективности составляющих его процессов. С ним неразрывно связан процесс промывки оборудования для производства бетонной смеси, который использует большие объемы воды. Загрязненные воды, образующиеся при промывке оборудования и бетонопроводов, содержат большое количество механических примесей, что делает невозможным их правомерный сброс, это обуславливает актуальность проблемы и требует неотлагательного ее решения. Целью исследования являлась оценка эффективности фазового сепаратора «Пирамида N» при очистке сточных вод, образующихся в процессе промывки бетоносмесительного оборудования, а также возможность повторного применения очищенной сточной воды для изготовления бетонных смесей и бетонов. Исследование осуществлялось в два основных этапа: первый этап – оценка эффективности фазового сепаратора «Пирамида N» для очистки сточных вод, полученных после мойки

бетоносмесительного оборудования с проверкой качества очищенной воды; второй этап – оценка возможности повторного применения очищенной сточной воды для изготовления бетонных смесей и бетонов. Результаты исследований подтвердили, что применение фазового сепаратора «Пирамида N» для очистки сточных вод является эффективным и оправданным. Сточные воды, прошедшие очистку на данном аппарате, по содержанию вредных компонентов не превышают допустимых норм. Бетоны, изготовленные на очищенной сточной воде, имеют прочностные характеристики, сопоставимые с характеристиками бетона, изготовленного на водопроводной воде. Разница между прочностными характеристиками варьировалась от 1,3% до 4,3%, а между характеристиками свежего бетона – от 2,4% до 9,7%. Практическая значимость исследования заключалась в значительном сокращении затрат воды и более эффективном использовании природных ресурсов, что соответствует концепции устойчивого развития.

Ключевые слова: технология очистки сточных вод; установка фазовой сепарации загрязнений; бетонная смесь; бетон

Для цитирования. Чернильник, А. А., Смоляниченко, А. С., Ельшаева, Д. М., & Яковлева, Е. В. (2025). Свойства бетонов, модифицированных продуктами новой технологии очистки сточных вод бетонных производств с использованием установки фазовой сепарации загрязнений. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, *17*(6-1), 578-614. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1318

Introduction

The constant growth in the volume of modern construction is inevitably associated with an increase in the volume of manufacture and use of building structures, which directly leads to an increase in the volume of building materials used [1-3]. Today, it is quite popular to use various types of waste in concrete [4; 5], as well as various methods of activating the components of the concrete mixture [6-8] or the concrete mixture itself [9] to create so-called green concretes with improved characteristics. Despite the large number of new materials, the most popular solutions remain classic, proven by many years of practice. Thus, one of the main pillars of the construction industry are concrete and reinforced concrete structures, which, despite their resource intensity, are in demand due to their high performance characteristics with relative simplicity and speed of manufacture [10; 11].

The production process of a concrete or mortar mixture can be conditionally divided into the main stages: acceptance and storage of raw materials, prepara-

tion of the components of the mixture for use, precise dosing of each component in accordance with the composition of the mixture, loading of raw components into a concrete mixer, mixing, unloading of the concrete mixture, transportation of the concrete mixture to the construction site [1]. However, when mixing and unloading the concrete mixture, as well as during transportation and direct application of concrete for the manufacture of structures, all equipment in contact with the concrete mixture is covered with a layer of concrete, which must be removed after the manufacture and transportation of each batch [12]. To wash the equipment after the production and transportation of the concrete mixture, a large volume of water is used, which after use contains a significant amount of mechanical and other contaminants [13]. Thus, 0.5 – 1.0 m^3 of water is consumed for the production of 1 m^3 of concrete mortar. In addition, during the washing of concrete aggregates, water is used at the rate of 0.5 – 1.0 m^3 per 1 m^3 of crushed stone or gravel and 1.25 – 1.5 m^3 per 1 m3 of sand. 0.1 – 0.15 m^3 of water per 1 m^3 of produced concrete mix is consumed for washing the equipment. For example, up to 1.2 m^3 of water is used to clean the inner part of the drum of one concrete truck, which on average corresponds to 11.5-20.0 m^3 per day for one plant for the production of ready mixes [14].

Wastewater generated during the washing of equipment for the production of concrete mixtures can be conditionally divided into polluted, formed during the washing of raw materials and equipment, and conditionally clean. Conditionally pure water is fed into the water recycling system, and polluted, due to the high content of suspended solids (3-15 g/l), silicates, aluminates and ferrites of calcium, sodium and potassium, as well as their alkalis, heavy metals, are fed to treatment facilities [15]. Such structures, as a rule, include settling tanks, filtration and recycling plants. For example, in Turkey, 97% of plants for the production of ready-made mixtures use settling ponds for wastewater treatment [16]. In addition to standard cleaning schemes, alternative methods of cleaning the raw material component of the concrete mixture for subsequent supply to the water recycling system have been used in practice. In the materials of the article [17], the results on the use of the vortex layer apparatus for washing sand are presented, and surfactants were simultaneously supplied to the washing water. After the washing process, the water was used a second time already to seal the concrete. According to the presented results, the average compressive strength of concrete samples increased by 64%. In [18], the following technological solution is proposed: a cleaning system consisting of a concrete flush regenerator, a wedge-shaped sludge sump, a slow sand filtration unit and a neutralization unit. The results of experimental studies confirm that

the purified waste of washing water with a degree of dilution up to 75% can be used for the production of ready-mixed concrete.

As a rule, phase separators of dispersions are used for simultaneous isolation of contaminants in different groups according to the phase-dispersed state. The use of separators is important not only in the field of wastewater treatment, but also for a number of industries [19; 20]. For example, in gravity-based separators (gravity separators), the separation efficiency depends on the difference in the specific weights of the phases, and the design of the gravity separator directly affects its performance [21-25]. The main component of the separator is called the segment section, which provides sufficient residence time for the less dense phase to merge and separate from the denser phase. The structure of the internal components of the gravity separator directly affects its performance by changing the residence time of the mixture [21; 22]. In [22], the influence of internal components, a system of filter materials on the separation process with an oil density from 11 to 70 API was studied. The study showed that the filter design affects the distribution of oil droplets by size, thereby affecting the separation process. The authors in [23] proposed a deposition-oriented model for better deposition of oil droplets between parallel plates, which allowed the smallest oil droplets to combine faster in a gravity separator. In [9], the separation behavior of a horizontal gravity separator with three different inner plates was investigated. Their research mainly focused on the relationship between the inflow to the plates, the plate material, the distance between the plates and the separation length. Based on the results obtained, it is proposed that a separator with internal components, such as plates, may be a suitable addition to the separator design. In [25], an inclined gravity borehole oil and water separator was investigated. This type of separator has a number of advantages, including the potential for a long service life due to the simplicity of its components and its robust construction. The productivity of the separator installation depth, installation slope, tube size and tube configuration was investigated. The simulation results showed that with a volume fraction of water from 81% to 87%, the inclined separator is able to produce oil, the efficiency of water separation reached 82%. The disadvantages of gravity separators are the large occupied areas of structures due to their horizontal location, and their design does not provide for the removal of contaminants of a dispersion degree of 10-2-10-3 microns: molecular dissolved gases and volatile impurities. However, for simultaneous purification of water pollutants in various phase-dispersed states, it is necessary to determine the maximum removal time of a particular type of contamination, which will be decisive for the whole process. With three-phase

pollution systems, according to hydrodynamic parameters, the removal of gases must be carried out at the first stage of purification.

Work [26] is devoted to the issue of wastewater treatment of ferrous metallurgy using a membrane for ultrafiltration under pressure from polyvinylidene fluoride (PVDF) with a low packing density obtained by thermally induced phase separation. It has been established that the ultrafiltration membrane has a good trapping ability and high characteristics of protection against contamination. In the study [27], the authors considered the use of liquid membrane separators, namely, methods of three-phase extraction carried out in a cascade of stages of volumetric liquid membrane separation, each of which consists of two interconnected (extraction and steam) chambers, and multiphase extraction, which provides that each stage of separation includes a scrubber chamber located between the extraction and steam chambers. The prospects of using three-phase extractors for wastewater treatment from phenol are shown. An increase in the efficiency of three-phase extraction can be achieved by carrying out the process in a cascade of three-phase devices. The authors [28] investigated the issue of separation of oily wastewater. The study was devoted to the membrane-forming effect of electroforming with a different ratio of polydimethylsiloxane (PDMS) and PVDF. With the help of electric spinning technology, the authors produced membranes for oil-water separation from PDMS/PVDF with the developed microstructure. The results showed that microspheres will improve the hydrophobicity of the membrane. Microspheres allow the membrane to achieve macroscopic uniformity and microscopic phase separation, so that the membranes have both good elongation and tensile strength. The study [29] considered the issue of industrial wastewater treatment using iron oxide nanoparticles developed by the authors, which acted as an effective nanocatalyst for the adsorption of heavy metals by chemical means. The authors considered the adsorption ability of iron oxide to remove bulk metal elements taking into account cadmium (Cd), lead (Pb), zinc (Zn), chromium (Cr), copper (Cu) and nickel (Ni) present in industrial wastewater. It was found that iron oxide nanoparticles make it possible to obtain the percentage of removal of the above elements equal to Cr (61.2%), Cd (98%), Cu (66%), Ni (64%), Zn (97%) and Pb (98%). The authors [30] considered the use of a solid residue of sulfuric acid, which is a waste during repeated processing of ash from Egyptian boilers together with kaolin as a base component for obtaining cheap zeolite and industrial wastewater treatment from heavy metal ions. Using synthesized zeolite, the quality of wastewater samples obtained from the Egyptian General Petroleum Corporation (Eastern Desert, Egypt) was significantly improved, and the content of heavy metal ions was significantly reduced.

The possibility of reuse of waste water for the manufacture of concrete mixtures and concretes was investigated in [31-35]. In [31], treated wastewater was used as an alternative to tap water in the manufacture of concrete. Concretes made with purified wastewater gained 85-94% of the final strength of reference samples made with tap water. The use of washing water of a ready-mixed concrete production plant for the manufacture of self-compacting concretes is considered in [32]. It is established that the use of waste water negatively affects the workability of self-compacting concrete and its strength characteristics. In [33], concretes made with well water and purified domestic wastewater were studied. It has been established that purified household water can be used as a viable alternative to fresh water in the production of concrete. Studies [34-36] are also devoted to the use of treated wastewater in the production of concrete mixtures and concretes, and the test results showed good characteristics of the properties of concrete.

The technology of wastewater treatment in concrete production considered in this study using a phase separation of impurities differs from the known methods primarily in its compact design, ease of operation and high efficiency in removing mechanical impurities. The installation includes, in terms of functionality, three capacitive structures at the same time – a mixer, a settling tank with a dedicated thin-layer settling zone and a clarifier. The scientific novelty of the work is determined by the following main provisions:

– development of theoretical principles of preliminary separation of contaminants in various aggregate state before post-treatment plants, which formed the basis of technological solutions (phase dispersion separator);

– obtaining new computational dependencies based on a computer model of fluid flow in the Pyramid N phase separation unit with an acceptable statistical error, which describe experimental data on the disaggregation of pollutants in the practice of industrial wastewater treatment.

The main purpose of the study is to evaluate the effectiveness of the Pyramid N phase separator in the treatment of wastewater generated during the washing of concrete mixing equipment, as well as the possibility of reuse of purified wastewater for the manufacture of concrete mixtures and concretes. The objectives of the study are to assess the quality of water purified at the Pyramid N phase separator and to assess the possibility of using purified wastewater in the manufacture of concrete mixtures and concretes.

Materials and Methods

Materials

Portland cement CEM I 42.5N (CEMROSS, Stary Oskol, Russia), which does not contain additives, was used as a binder for the manufacture of proto-

types. The chemical composition and composition of the clinker of Portland cement is presented in Table 1.

Table 1.

Chemical composition and composition of portland cement clinker

Characteristic	Actual value
Chemical composition	
Losses during calcination of the IFR (%)	1.6
Silicon Oxide SiO_2 (%)	21
Aluminum Oxide Al_2O_3 (%)	4.8
Iron Oxide Fe_2O_3 (%)	3.9
CaO Calcium Oxide (%)	62
Magnesium Oxide MgO (%)	2.8
Alkaline oxides in terms of Na_2O (%)	0.7
Insoluble residue (%)	0.4
Sulfur Oxide SO_3 (%)	2.8
Chlorine ion Cl (%)	0
Clinker composition	
Tricalcium silicate C_3S (%)	63.2
Bicalcium silicate C_2S (%)	15
Four-calcium aluminoferrite C_4AF (%)	13.5
Tricalcium aluminate C_3A (%)	5.6
Magnesium Oxide MgO (%)	2.7

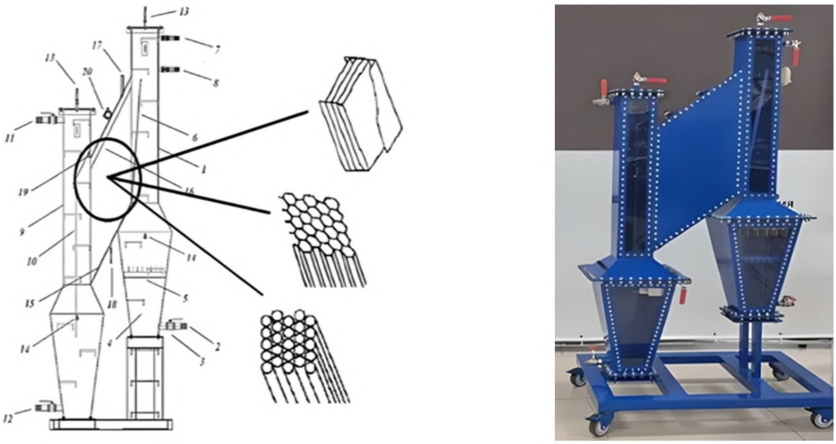
For the production of samples-beams of cement-sand mortar, polyfraction sand was used (LLC "Polikvartz", Moscow, Russia) with the following characteristics: silicon oxide content – 98%; humidity 0.1%; weight loss during calcination – 0.4%.

For the manufacture of concrete mixes and concrete, large and small aggregates were used. Sandstone crushed stone was used as a large aggregate (Granit LLC, Krasny Sulin, Russia) with the following characteristics: particle size – 5-20 mm; bulk density – 1378 kg/m^3; apparent density – 2561 kg/m^3; resistance to fragmentation – 12.7 wt%; the content of lamellar and acicular grains – 8.7 wt%; voids – 45%. Quartz sand was used as a fine filler (LLC "DON-RESOURCE", Kagalnik, Russia) with the following characteristics:

fineness modulus – 1.64; bulk density – 1455 kg/m3; the content of dust and clay particles – 0.4% content of clay in lamps – 0.13%.

Methods

Wastewater treatment was carried out in the developed phase dispersion separator in several stages: mechanical cleaning, coagulation, thin-layer sedimentation, clarification in the suspended sediment layer [37]. In addition, it provided for the removal of floating substances, settling contaminants, oil and petroleum products, as well as gas impurities in the pressure and non-pressure modes of operation of the installation. The appearance and schematic diagram of the Pyramid N phase separator are shown in Fig. 1.



(a) (b)

Fig. 1. Phase separator «Pyramid N» for wastewater treatment with a replaceable block of thin–layer modules: (a) scheme (1 – housing of the flocculation zone and flow stabilization (column 1), 2 – the feed pipeline of the source wastewater, 3 - the reagent supply point with a metering pump, 4 – the zone of the suspended filter, 5 – the directional partition, 6 – adjustable partition of clarified wastewater with inlet distribution windows, 7 – pipeline for the discharge of petroleum products in pressure mode, 8 – pipeline for the discharge of petroleum products in non-pressure mode of operation of the installation, 9 – the tank (column 2), the second in the course of the movement of the liquid to be cleaned, 10 – the guide partition of the wastewater standing in the thin–layer module, 11 – the pipeline for the discharge of treated wastewater, 12 – the sludge discharge pipeline, 13 – gas discharge pipelines, 14 – sampling control points, 15 - the thin–layer sedimentation chamber, 16 - thin-layer modules, 17 – fittings for flushing the interstitial space of thin–layer modules, 18 – a pipeline for the discharge of washing water and sludge, 19 – a pipeline for the discharge of gases and petroleum products, 20 - an interceptor device and the removal of floating substances); (b) installation photo

A distinctive feature of this installation is a replaceable block of thin-layer modules. Thin–layer modules in the block are presented in three design variants:

– tubular with thin-layer elements in the form of pipes of circular cross-section;

– tubular with thin-layer elements in the form of pipes of polygonal cross-section;

– plate (shelf), when thin-layer elements are formed by flat shelves.

Thin-layer modules in the form of flat shelves were made of rigid sheet materials (steel 20). Thin-layer tubular and polygonal modules were manufactured on a 3D printer with PICASO 3D Polygon X™ software installed from PETg Standart material. The technical characteristics of 3D printing of thin–layer modules of tubular and polygonal cross-sections are presented in Table 2, and their appearance is shown in Fig. 2.

Table 2.

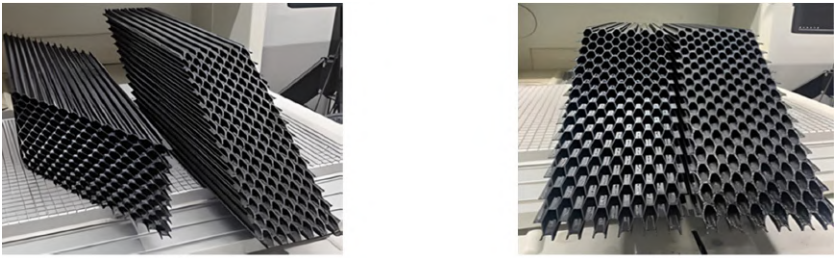
Technical characteristics of 3D printing of thin-layer modules of tubular and polygonal cross-section for the "Pyramid N" phase separator

The name of the indicator	Value
Heat Resistance (°C)	70
Shore hardness	76
Rockwell Hardness	R106
Elongation at break (%)	260
Tensile modulus of elasticity (MPa)	2100
Maximum tensile strength (MPa)	74
Softening temperature according to VIC (°C)	70
Density (g/cm^3)	1.29
Shrinkage in the manufacture of products (%)	0.3–0.6
Manufacturing method	3D printing, gluing – chemical bonding using dichloromethane
Extrusion temperature (°C)	215–245
Table temperature (°C)	20–80

The assessment of the quality of wastewater obtained after washing concrete mixing equipment, after cleaning on a phase–dispersed separator "Pyramid N" was carried out in accordance with the requirements of [38; 39].

Computer simulation of fluid movement was performed using the program ANSYS 2022 R1 (22.1.0.2021111419), taking into account the main technological characteristics of contaminants with a degree of dispersion of more than 10-1 microns (suspensions) - hydraulic size particles (U0) (the rate of its free

deposition in water at t = 20 °C), which is the main indicator for determining the size of settling tanks.



(a) (b)

Fig. 2. Appearance of replaceable thin-layer modules of tubular and polygonal cross-section made on a 3D printer: (a) general view; (b) cross-section

The value of the hydraulic particle size was determined by the formula:

$$\sqrt{\frac{\pi}{6} d \frac{\rho - \rho_в}{\rho_в} g \frac{1}{\Psi}}, \quad (1)$$

where d – particle diameter (m);

ρ, $\rho_в$ – density of the particle material and water (kg/m^3);

g – acceleration of gravity (m/s^2);

Ψ – coefficient of resistance.

The resistance coefficient generally depends on the shape of the particle and on the Reynolds number (Re). For laminar mode Ψ:

$$\Psi = \frac{3\pi}{Re}, \quad (2)$$

where Re is the Reynolds number.

Then formula (1) was transformed into the Stokes formula:

$$U_0 = \frac{1}{18} g \frac{\rho - \rho_в}{\mu} d^2 \quad (3)$$

where μ is the water viscosity coefficient (kg/(m *s)).

In the turbulent mode, the resistance coefficient does not depend much on Re. In this case, the determination of the hydraulic size is carried out as follows:

– the Archimedes number (Ar) is determined by the known values of d, p, μ and by the formula:

$$Ar = \frac{Re^2}{Fr} = \frac{d^3(\rho - \rho_в)\rho_в g}{\mu^2} \quad (4)$$

where Fr is the froude criterion;

μ is the coefficient of dynamic viscosity (Pa· s).

To assess the possibility of using purified wastewater in the production of concrete mixtures and concretes, samples of the control composition on tap water and samples on purified wastewater were made. The designs of mixtures for the production of samples are presented in Tables 3 and 4. The experimental research program is shown in Fig. 3.

Table 3.

Design of cement-sand mixture

Treated waste water (ml)	Tap water (ml)	Sand (g)	Portland cement (g)	Type of composition
–	225	1350	450	1C
225	–	1350	450	1A

Table 4.

Concrete mix design

Type of composition	The proportions of the concrete mixture on 1 m^3				
	Portland cement (kg/m^3)	Tap water (l/m^3)	Purified waste water, (l/m^3)	Crushed stone (kg/m^3)	Sand (kg/m^3)
2C	346	200	–	1078	703
1B	346	–	200	1078	703

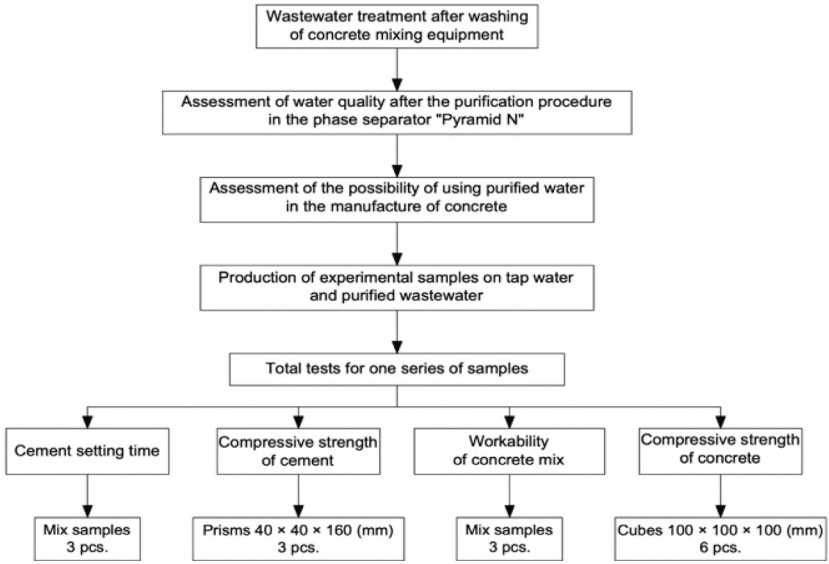


Fig. 3. Experimental research program

The beam samples were made as follows. The sand was poured into the metering device of the mixer. Water was poured into the mixer bowl previously wiped with a damp cloth and cement was added, after which the mixer was turned on and the mixing procedure was carried out. Then the resulting mixture was placed in a mold and compacted. The finished samples were stored in a wet hardening chamber for 1 day, then removed from the molds and the remaining 27 days were stored in a bath with water.

The production of concrete mix and concrete samples included the following basic technological operations: dosing of all raw components and their preliminary mixing in dry form; introduction of mixing water and mixing of the entire mixture to a homogeneous state; laying of the concrete mix into molds and compaction by vibrating for 60 seconds

The following basic testing and processing equipment was used for the production of samples, as well as their testing:

– laboratory concrete mixer BL-10 (LLC "ZZBO", Russia, Chelyabinsk region, Zlatoust);

– automatic mortar mixer (E093) (RNPO "RusPribor", St. Petersburg, Russia);

– HT-5000 laboratory scales (NPP Gosmetr, Saint Petersburg, Russia);

– Vika device (LLC "MOK", Ulyanovsk, Russia);

– cube shapes 2FK-100 and beam shapes 3FB-40 (RNPO "RusPribor", St. Petersburg, Russia);

– normal hardening chamber KNT-1 (RNPO "RusPribor", St. Petersburg, Russia);

– laboratory vibration platform (IMASH, Armavir, Russia);

– hydraulic press "P-50" ("NPK TECHMASH", Neftekamsk, Republic of Bashkortostan, Russia). The setting time of cement and its compressive strength were evaluated in accordance with the requirements of [40-42]. The workability of the concrete mix was evaluated in accordance with the requirements of [43, 44].

The compressive strength of concrete was evaluated in accordance with the requirements of [45-49].

Results and discussion

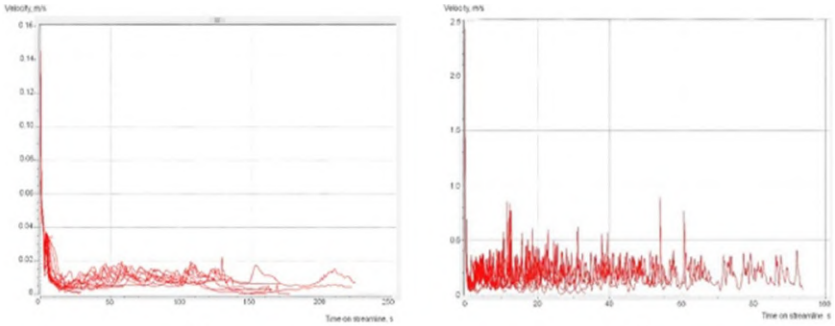
The principle of operation and evaluation of the efficiency of the phase separator "Pyramid N"

Data on the residence time of the treated water in each compartment of the phase separator – chamber 1, chamber of thin-layer sedimentation, chamber 2 are shown in Fig. 4, 6, 8. In these figures, you can also observe characteristic changes in the speed mode of the water trickle during the entire period of stay

in the separator compartment. The simulation results in this case are given for a thin-layer settling chamber of a plate (shelf) type.

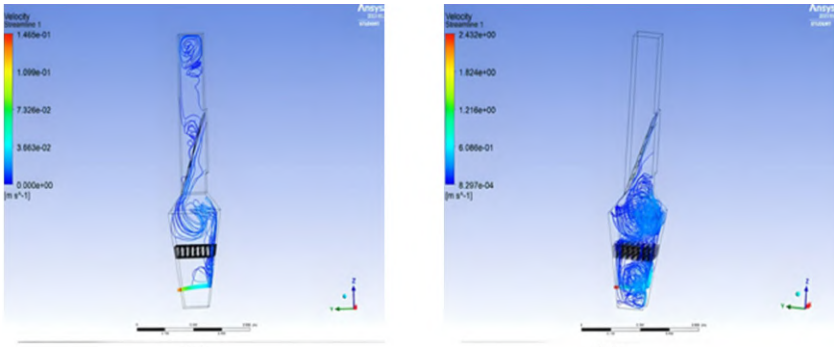
Thin-layer modules in the thin-layer settling chamber and the separating partition in the jet (Fig. 5, 7, 9) in the course of fluid movement in the column allow to achieve laminar fluid flow, that is, they serve as a flow rectifier.

The graph of the water trickle velocity fluctuations over the time spent in column 1 is shown in Figure 4, and the vector of water velocities in 3D format in column 1 is shown in Fig. 5.



(a) (b)

Fig. 4. Graph of water trickle velocity fluctuations over the time spent in column 1 at: (a) capacity Q = 0.5 m^3/h; (b) capacity Q = 1.0 m^3/h



(a) (b)

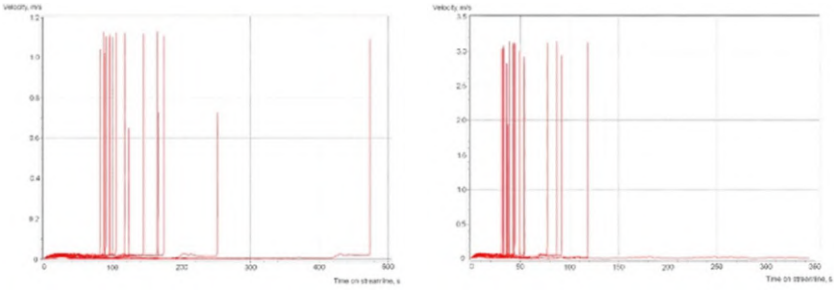
Fig. 5. Vector of water velocities in 3D format in column 1 at: (a) capacity Q = 0.5m^3/h; (b) capacity Q = 1.0 m^3/h

A flow rectifier is a device for eliminating or reducing radial components of the flow velocity and obtaining a steady-state velocity profile. The flow rec-

tifier is used to reduce the degree of turbulence of the flow. For shelf thin-layer elements, the flow rate is maintained 5-10 mm/s.

Analyzing the data of computer simulation of fluid motion in column 1 at capacities Q = 0.5 m3/h and Q = 1.0 m^3 / h (Fig. 4 and 5), it was found that the residence time of the trickle in the first case is t = 225 s at a velocity of υ = 0.01 m/s, and in the second case t = 94 s at a speed of υ = 0.05–0.45 m/s. It is also possible to observe, at a capacity of Q = 1.0 m^3/h, intense vortex formation throughout the entire volume of the column at pulsating speeds in the range of 0.05 -0.9 m/s, at the same time, at a capacity of Q = 0.5 m3/h, a laminar regime with insignificant vortex formation was established in the column. Based on the recommended value of the mixing time of the reagent supplied to column 1, t = 120 s, the optimal range of performce ensuring stable contact of the treated liquid and the reagent is the performance Q = 0.5–0.8 m^3/h.

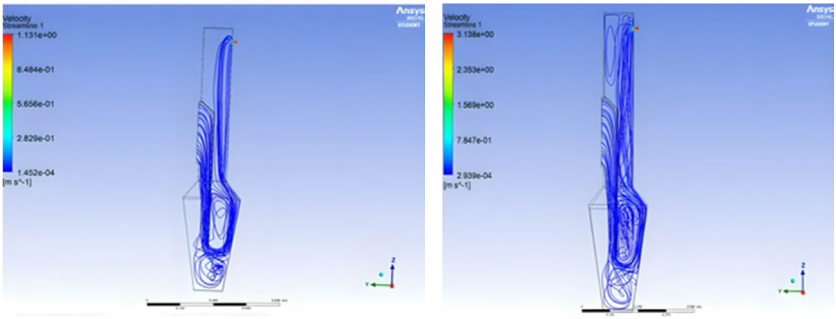
In a tubular chamber (the cross section of the tubular sections was hexagonal and round) of thin-layer sedimentation, the tiers of the thin-layer module are divided into separate channels in the form of pipes (Fig. 6 and 7). Figures 8 and 9 show a graph of fluctuations in the velocity of a trickle of water over the time spent in a thin-layer sedimentation chamber and a vector of water velocities in 3D format in a thin-layer sedimentation chamber, respectively.



(a) (b)

Fig. 6. Graph of water trickle velocity fluctuations over the time spent in column 2 at: (a) capacity Q = 0.5 m^3/h; (b) capacity Q = 1.0 m^3/h

In such a design, it is easier to achieve laminar water flow. These modules are normally operated at high flow rates, but they also have disadvantages: rapid siltation by precipitation, difficulty in cleaning, increased material consumption. The speed of fluid movement in the tubular elements of the settling chamber is up to 20 mm/s. The angle of inclination of the tubes is up to 60°. In this case, the phase separator will be periodic.



(a) (b)

Fig. 7. Vector of water velocities in 3D format in column 2 at: (a) capacity Q = 0.5 m^3/h; (b) capacity Q = 1.0 m^3/h

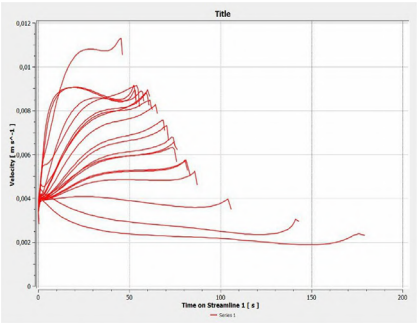


Fig. 8. Graph of fluctuations in the water trickle velocity over the time spent in the thin-layer settling chamber at a productivity Q = 0.5m^3/h

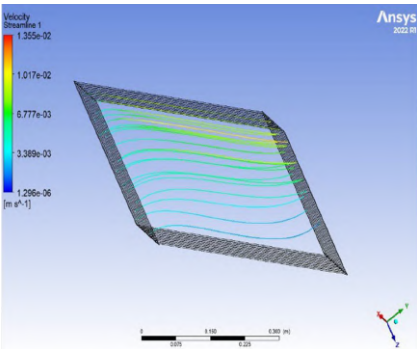


Fig. 9. Vector of water velocities in 3D format in a thin-layer settling chamber at a productivity Q = 0.5 m^3/h

The settling period alternates with the period of cleaning the tubes from sediment. For this purpose, the installation provides flushing fittings for thin-layer modules and a flushing water outlet pipeline. A phase separator equipped with tubular thin-layer modules is advisable to use for the purification of slightly polluted waters with a flow rate of source wastewater from 100 m^3/day to 10000 m^3/day. The effectiveness of thin-layer sedimentation is maintained in the range of 80-85%.

As mentioned above, the simulation of fluid flows was carried out with a thin-layer settling chamber of the plate (shelf) type installed at a capacity of Q = 0.5 m3/h as the most optimal. In Figure 8, according to the data of the graph of fluctuations in the velocity of the water trickle over the residence time, an uneven distribution of velocities can be observed along the height of the module – from v = 0.0023 m/s at t = 175 s in the lower part of the chamber, v = 0.006 m/s at t = 75 s in the middle part of the chamber and up to v = 0.015 m/s at t = 45 s in the upper part of the chamber. However, as shown in Figure 7, by means of a guide partition of wastewater standing in a thin-layer module, such a high-speed unevenness is smoothed out and the liquid flow reaches the bottom of the column 2 in laminar mode.

Regarding the data on column 2 (Figures 6 and 7), it can be concluded that the residence time in it t = 470 s with a capacity Q = 0.5 m3/ h is sufficient for precipitation. With a capacity of Q = 1.0 m3/h, the residence time is slightly lower – t = 345 s, and there is also a more uneven flow distribution in the second compartment of the column, which can negatively affect the quality of treated wastewater treatment.

The properties of the waste water obtained after washing the concrete mixing equipment, after cleaning on the phase-dispersed separator "Pyramid N" are presented in Table 5.

Table 5.

Properties of wastewater after purification on a phase dispersed separator

Name of the characteristic	Actual value	Normalized values of water after purification for mixing concrete mixture [38]
Suspended solids	189±3 mg/l	200 mg/l
Soluble salts	1.36±0.2 mg/l	2000 mg/l
Hydrogen pH	6.3-8.2	4-12
Sulfates SO_4^{2-}	547±0.02 mg/l	600 mg/l
Chlorides Cl^-	285 mg/l	300 mg/l

Based on Table 5, it can be seen that the wastewater obtained after washing the concrete mixing equipment, having passed the purification process on the

phase-dispersed separator “Pyramid N” according to such basic indicators as the content of suspended particles, soluble salts, sulfates and chlorides meet the requirements [38] and can be used for the manufacture of concrete mixtures and concretes.

Investigation of the effect of purified wastewater after washing concrete mixing equipment on the properties of cement composites

The test results of cement and concretes made on wastewater purified in the Pyramid N phase-dispersed separator are shown in Figures 10 and 11 and in Table 6.

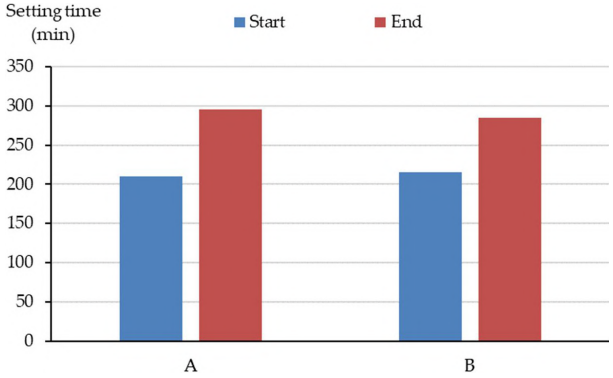
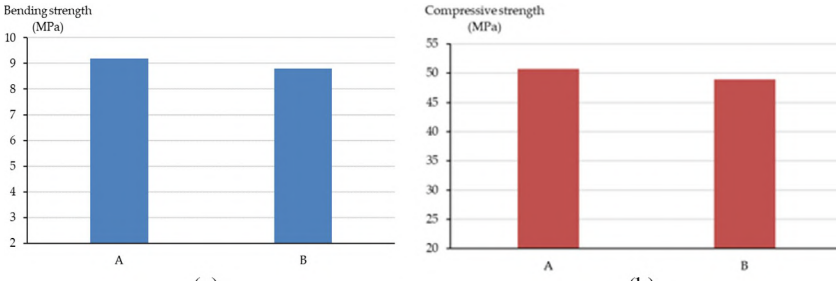


Fig. 10. Cement setting time (A – samples were made using tap water; B – samples were made using purified wastewater)



(a) (b)

Fig. 11. Bending strength (a) and compressive strength (b) of cement-sand mortar beam samples (A – samples were made using tap water; B – samples were made using purified wastewater)

The process of determining the bending and compressive strength of the beam samples is shown in Fig. 12.



(a) (b)

Fig. 12. The process of testing beam samples: (a) flexural strength; (b) compressive strength

Table 6.

Results of determination of density, workability and compressive strength of concrete mixtures

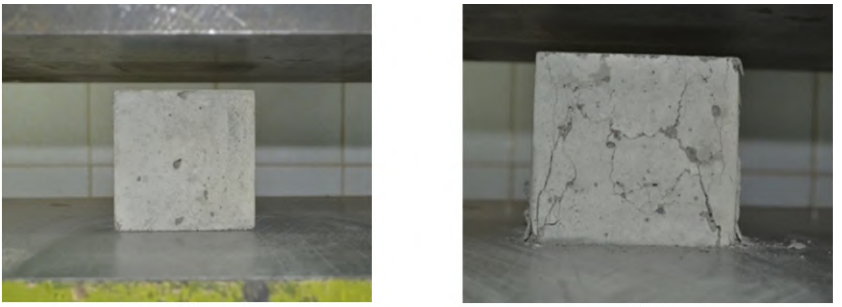
Type of sealing water	Cone sediment [44] (cm)	Compressive strength (MPa)
Tap water	3.1±0.3	46.3±2.9
Treated wastewater	3.4±0.3	45.7±2.4

The analysis of the results showed that the difference between the setting periods ranged from 2.4% for the beginning of setting to 3.4% for the end of setting. The beginning of setting for samples on purified wastewater came a little later, and the end of setting earlier than for samples on tap water. The bending strength and compressive strength of the samples on purified wastewater after washing the concrete mixing equipment are 4.3% and 3.6% less, respectively, than the samples on tap water. From the analysis carried out, it was found that the setting time and flexural and compressive strength of samples made using tap and purified wastewater after washing concrete mixing equipment are comparable and practically do not differ from each other. Also, visually analyzing the nature of the destruction of the samples and their macrostructure (Figure 12), no significant differences were found between the samples on tap and treated wastewater.

The process of determining the compressive strength is shown in Fig. 13.

According to the test results presented in Table 6, the workability of concrete mixtures and the compressive strength of concretes made with purified wastewater are comparable to these characteristics recorded in concrete mixtures and concretes made with tap water. The draft of the cone is 9.7% more, and the compressive strength is 1.3% less for the concrete mixture on purified water in

comparison with tap water. The nature of the destruction of concrete samples (Fig. 13), similar to the samples of cement-sand mortar (Fig. 12), did not reveal significant differences between the compared samples on tap and treated wastewater. Accordingly, the wastewater purified in the Pyramid N phase-dispersed separator in full can be used for the re-manufacture of concrete mixtures and concretes.



(a) (b)

Fig. 13. Press testing of concrete samples: (a) before destruction; (b) after destruction

The working hypothesis about the use of treated wastewater in concrete technology and the confirmation of this hypothesis is in good agreement with the works of other authors, namely [34; 50; 51-53]. In [34], purified wastewater was used for the manufacture of concretes, and all concretes made with such water are durable based on the results of tests for the permeability of chloride ions. Concretes with waste of blast furnace granulated slag and granite powder made on purified wastewater [50] showed strength comparable to control samples. In the works [51; 52], concretes made with the use of treated wastewater also demonstrate good physical and mechanical characteristics.

The development and introduction into the production of a concrete mixture of a process for the treatment of wastewater generated during the washing of equipment using a phase separator “Pyramid N” will not only ensure their lawful discharge, but also immediately after purification to send them to the recycling water supply system, which will lead to a significant reduction in water costs and more efficient use of natural resources, which corresponds to the concept of sustainable development [54-56]. It should also be noted that the installation of the Pyramid N phase separator can be used as an independent purification system with subsequent post-treatment to achieve optimal quality of the treated water, or integrated into an existing water purification system in

order to improve it. As has been confirmed by studies [37; 57], the installation includes three stages of cleaning at once. At the same time, based on the quality of incoming waters, it is possible to intensify their treatment by selecting a thin-layer module with an appropriate cross-section shape.

The performed research is consistent with the research conducted earlier by other authors, but at the same time has scientific novelty, as well as engineering practical novelty. The scientific value and scientific novelty of the research lies in obtaining fundamentally new dependencies, models and data that form the basis of theoretical research on further improvement of wastewater treatment technology, as well as on the use of various kinds of waste and recycling in concrete technology [51, 58-60]. The significance of engineering or practical lies in the fact that the information obtained is transformed into an applied development that already has patent protection and at the same time is a proven engineering task in practice [61]. Thus, the prospects for the development of the study lie in the direction of further study of wastewater treatment technology, as well as the use of waste water treatment, including water after the implementation of such technologies when reused in concrete mixtures. Such recycling will significantly reduce the cost of production of concrete mixes, increase the environmental friendliness of construction and production, as well as engineering solutions for water treatment. This can be useful for the construction industry in terms of a cheaper version of concrete, for greening the environment in terms of reuse and establishing waste-free production, as well as for the manufacturing industry in terms of establishing more economical and environmentally friendly technologies, which will have a positive impact on all aspects and stages of the life cycle of the production and construction industries [55; 62].

Conclusions

Based on the results of the study, the efficiency of the Pyramid N phase separator was evaluated for the treatment of wastewater generated during the washing of concrete mixing equipment, as well as the possibility of reuse of purified wastewater for the manufacture of concrete mixtures and concretes. For this purpose, an assessment of the quality of water purified at the Pyramid N phase separator and the possibility of using purified wastewater in the manufacture of concrete mixtures and concretes have been implemented. At the same time, the theoretical principles of preliminary separation of contaminants in various aggregate states before post-treatment plants have been developed, which formed the basis of the phase dispersion separator, and new calculated

dependences based on the model of fluid flow in the Pyramid N phase separation plant with an acceptable statistical error have been obtained, which describe experimental data on the disaggregation of pollutants in the practice of cleaning industrial waste water.

The conclusions of the study are as follows.

(1) The installation of the Pyramid N phase separator for wastewater treatment with a replaceable block of thin-layer modules has been upgraded.

(2) Several types of replaceable thin-layer modules have been developed: flat shelves, tubular section, polygonal section. The methods of their manufacture are described and their effectiveness is evaluated. Thin-layer modules of tubular and polygonal cross-section are more effective in comparison with modules in the form of flat shelves. The fluid velocity in the tubular elements of the settling chamber can reach up to 20 mm / s, and in the shelf thin-layer elements up to 10 mm/s.

(3) The quality of wastewater after purification in the Pyramid N phase separator according to the main indicators, namely the content of suspended particles, soluble salts, sulfates and chlorides meets the requirements of regulatory documentation.

(4) The possibility of using purified wastewater for the manufacture of concrete mixtures and concretes has been experimentally evaluated and proven. The timing of cement setting and its flexural and compressive strength, the workability of concrete mixtures and the compressive strength of concretes made using tap water and purified wastewater showed equivalent results. The difference between the strength characteristics ranged from 1.3% to 4.3%, and between the characteristics of fresh concrete – from 2.4% to 9.7%.

The practical significance of the study lies in a significant reduction in water costs and more efficient use of natural resources, which corresponds to the concept of sustainable development. The prospects for the development of the study lie in the direction of assessing the durability properties of concretes in which purified wastewater is used in comparison with tap water concretes, as well as in the direction of using purified water for the manufacture of other types of building composites.

Conflict of interest information. The authors of this work declare that they have no conflicts of interest.

Sponsorship information. This work was supported by ongoing institutional funding. No additional grants to carry out or direct this particular research were obtained.

References

1. Harshit, V., Rizwan, K., & Iqbal, K. (2021). Sustainable use of different wastewater in concrete construction: A review. *Journal of Building Engineering*, 41, 102411. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102411. EDN: https://elibrary.ru/NBBRIO
2. Mohammed, I., Wasiu, A., Rida, A., Babatunde, S., & Ewebajo, O. (2023). An overview of factors influencing the properties of concrete incorporating construction and demolition wastes. *Construction and Building Materials*, 367, 130307. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130307. EDN: https://elibrary.ru/QRAKGK
3. Babu, G., Reddy, B., & Ramana, N. (2018). Quality of mixing water in cement concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 1313–1320. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.216
4. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Smolyanichenko, A. S., & Beskopylny, N. A. (2022). High performance concrete nanomodified with recycled rice straw biochar. *Applied Sciences*, 12(11), 5480. https://doi.org/10.3390/app12115480. EDN: https://elibrary.ru/BLACAS
5. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Smolyanichenko, A. S., Varavka, V. N., Beskopylny, N. A., & Dotsenko, N. A. (2022). Influence of electromagnetic activation of cement paste and nano modification by rice straw biochar on the structure and characteristics of concrete. *Journal of Composites Science*, 6(9), 268. https://doi.org/10.3390/jcs6090268. EDN: https://elibrary.ru/YLWSVH
6. Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Butko, D. A., & Smolyanichenko, A. S. (2021). Influence of composition and technological factors on variatropic efficiency and constructive quality coefficients of lightweight vibro-centrifuged concrete with alkalized mixing water. *Applied Sciences*, 11(19), 9293. https://doi.org/10.3390/app11199293. EDN: https://elibrary.ru/OSLKOR
7. Shcherban', E. M., Stel'makh, S. A., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., & Meskhi, B. (2021). Influence of mechanochemical activation of concrete components on the properties of vibro-centrifugated heavy concrete. *Applied Sciences*, 11(22), 10647. https://doi.org/10.3390/app112210647. EDN: https://elibrary.ru/MIKEKQ
8. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Beskopylny, N. A., & El'shaeva, D. M. (2022). Influence of the chemical activation of aggregates on the properties of lightweight vibro-centrifuged fiber reinforced concrete. *Journal of Composites Science*, 6(9), 273. https://doi.org/10.3390/jcs6090273. EDN: https://elibrary.ru/WPRSYJ

9. Shcherban', E. M., Stel'makh, S. A., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., Meskhi, B., & Shuyskiy, A. I. (2022). Improvement of strength and strain characteristics of lightweight fiber concrete by electromagnetic activation in a vortex layer apparatus. *Applied Sciences*, 12(1), 104. https://doi.org/10.3390/app12010104. EDN: https://elibrary.ru/IGQJTH
10. Wally, G., Magalhães, F., & Filho, L. (2022). From prescriptive to performance based: An overview of international trends in specifying durable concretes. *Journal of Building Engineering*, 52, 104359. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104359. EDN: https://elibrary.ru/UNUKAG
11. Mailyan, L. R., Beskopylny, A. N., Meskhi, B., Shilov, A. V., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Smolyanichenko, A. S., & El'shaeva, D. M. (2021). Improving the structural characteristics of heavy concrete by combined disperse reinforcement. *Applied Sciences*, 11(13), 6031. https://doi.org/10.3390/app11136031. EDN: https://elibrary.ru/LMMNFR
12. Matos, P., Prudêncio, L., Pilar, R., Gleize, P., & Pelisser, F. (2020). Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties. *Construction and Building Materials*, 230, 116981. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981. EDN: https://elibrary.ru/GVPHQE
13. Hamada, H., Abdulhaleem, K., Majdi, A., Jawahery, M., Thomas, B., & Yousif, S. (2023). Effect of wastewater as sustainable concrete material on concrete performance: A critical review. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.181. EDN: https://elibrary.ru/VPQHDU
14. Sanyukovich, A. V. (2016). Alternative method of wastewater treatment in concrete production. *Belarusian National Technical University (BNTU)*, 81–84. Retrieved from https://rep.bntu.by/handle/data/27180 (accessed: 02.02.2024)
15. Mohamed, A., Shorbagy, W., Mohammed, I., & Gawad, E. (2013). Treatment of concrete wash wastewater from ready mix concrete operations. *Semantic Scholar*, 53(4), 928–939. https://doi.org/10.1080/19443994.2013.852137
16. Cosgun, N., & Esin, T. (2006). A study regarding the environmental management system of ready mixed concrete production in Turkey. *Building and Environment*, 41(8), 1099–1105. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.012
17. Utegenov, V. V., Shayakhmedov, R. I., & Kokarev, A. M. (2022). Sand washing for concrete mix using surfactants in a vortex mixing apparatus. *Engineering and Construction Herald of the Caspian Region*, (3(41)), 37–43. https://doi.org/10.52684/2312-3702-2022-41-3-43-47. EDN: https://elibrary.ru/DLXAQT
18. Ghrair, A., Heath, A., Paine, A., & Kronz, M. (2020). Waste wash water recycling in ready mix concrete plants. *Environments*, 7(12), 108. https://doi.org/10.3390/environments7120108. EDN: https://elibrary.ru/KRRRZM

19. Wang, J., Hou, L., Yan, K., Zhang, L., & Yu, Q. J. (2017). Polydopamine nanocluster decorated electrospun nanofibrous membrane for separation of oil/water emulsions. *Journal of Membrane Science*, 547, 156–162. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.10.028
20. Kang, H., Cheng, Z., Lai, H., Ma, H., Liu, Y., Mai, X., Wang, Y., Shao, Q., Xiang, L., Guo, X., & Guo, Z. (2018). Superlyophobic corrosive and self-cleaning titania robust mesh membrane with enhanced oil/water separation. *Separation and Purification Technology*, 201, 193–204. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.002
21. Bai, Z.-s., Wang, H.-l., & Tu, S.-t. (2011). Oil water separation using hydrocyclones enhanced by air bubbles. *Chemical Engineering Research and Design*, 89(1), 55–59. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.04.012
22. Keller, J. H. F. (1975). *Oil water separation process* (U.S. Patent No. 3,867,285). Retrieved from https://patentimages.storage.googleapis.com/87/8d/56/48ee1416e6f8c4/WO1995010345A1.pdf (accessed: 02.02.2024)
23. Rowley, M. E., & Davies, G. (1988). Design of plate separators for the separation of oil water dispersions. *Chemical Engineering Research and Design*, 66(4), 313–322.
24. Schlieper, L., Chatterjee, M., Henschke, M., & Pfennig, A. (2004). Liquid liquid phase separation in gravity settler with inclined plates. *AIChE Journal*, 50(4), 802–811. https://doi.org/10.1002/aic.10075
25. Fitnawan, E. A. Y., Rivera, R. M., & Golan, M. (2009). Inclined gravity downhole oil water separator: Using laboratory experimental results for predicting the impact of its application in high rate production wells. Paper presented at the *Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition*, Jakarta, Indonesia. https://doi.org/10.2118/119939-MS
26. Zhang, Y., Yuan, Z., Bai, H., Zhao, L., He, L., & Shi, C. (2022). A pilot scale treatment of steel plant wastewater by PVDF hollow fiber ultrafiltration membrane with low packing density. *Separations*, 9(2), 37. https://doi.org/10.3390/separations9020037. EDN: https://elibrary.ru/MHFKHW
27. Kostanyan, A. E., Belova, V. V., & Voshkin, A. A. (2022). Three and multi phase extraction as a tool for the implementation of liquid membrane separation methods in practice. *Membranes*, 12(10), 926. https://doi.org/10.3390/membranes12100926. EDN: https://elibrary.ru/AUILGA
28. Li, J., Li, Y., Lu, Y., Shi, W., & Tian, H. (2022). PDMS/PVDF electrospinning membranes for water in oil emulsion separation and UV protection. *Biomimetics*, 7(4), 217. https://doi.org/10.3390/biomimetics7040217. EDN: https://elibrary.ru/ZWOXJM

29. Rajendran, S., Wanale, S. G., Gacem, A., Yadav, V. K., Ahmed, I. A., Algethami, J. S., Kakodiya, S. D., Modi, T., Alsuhaibani, A. M., Yadav, K. K., et al. (2023). Nanostructured iron oxides: Structural, optical, magnetic, and adsorption characteristics for cleaning industrial effluents. *Crystals*, 13(3), 472. https://doi.org/10.3390/cryst13030472. EDN: https://elibrary.ru/MQIKHH
30. Ibrahim, A. H., Lyu, X., & ElDeeb, A. B. (2023). Synthesized zeolite based on Egyptian boiler ash residue and kaolin for the effective removal of heavy metal ions from industrial wastewater. *Nanomaterials*, 13(6), 1091. https://doi.org/10.3390/nano13061091. EDN: https://elibrary.ru/LUFBYZ
31. Meena, K., & Luhar, S. (2019). Effect of wastewater on properties of concrete. *Journal of Building Engineering*, 21, 106–112. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.003
32. Bahraman, V., Asadollahfardi, G., Salehi, A., & Yahyaei, B. (2021). Feasibility study of using wash water from ready mixed concrete plant and synthetic wastewater based on tap water with different total dissolved solid to produce self compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 41, 102781. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102781. EDN: https://elibrary.ru/XMKSPN
33. Arooj, M. F., Haseeb, F., Butt, A. I., Irfan Ul Hassan, M., Batool, H., Kibria, S., Javed, Z., Nawaz, H., & Asif, S. (2021). A sustainable approach to reuse of treated domestic wastewater in construction incorporating admixtures. *Journal of Building Engineering*, 33, 101616. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101616. EDN: https://elibrary.ru/YPDSAF
34. Ahmed, S., Alhoubi, Y., Elmesalami, N., Yehia, S., & Abed, F. (2023). Mechanical and durability evaluation of concrete prepared with recycled aggregate and treated wastewater. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.615. EDN: https://elibrary.ru/PZAALY
35. Fattah, K., Al Tamimi, A., Hamweyah, W., & Iqbal, F. (2017). Evaluation of sustainable concrete produced with desalinated reject brine. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 183–190. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.02.004
36. Borger, J., Carrasquillo, R., & Fowler, D. (1994). Use of recycled wash water and returned plastic concrete in the production of fresh concrete. *Advanced Cement Based Materials*, 1(6). https://doi.org/10.1016/1065-7355(94)90035-3
37. Smolyanichenko, A. S., & Yakovleva, E. V. (2022). Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase dispersed contaminants. *Siberian Journal Life Sciences Agriculture*, 14(6), 34–50. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-34-50. EDN: https://elibrary.ru/VJZRPE

38. GOST 23732–2011. *Water for concretes and construction materials. Specifications*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200093835 (accessed: 02.02.2024)
39. MSZ EN 1008:2002. *Mixing water for concrete — Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554125953 (accessed: 02.02.2024)
40. GOST 30744–2001. *Test methods using polyfractional sand*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200011363 (accessed: 02.02.2024)
41. MSZ EN 196–1:2016. *Methods of testing cement — Part 1: Determination of strength*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554092499 (accessed: 02.02.2024)
42. MSZ EN 196–3:2017. *Methods of testing cement — Part 3: Determination of setting times and soundness*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554094953 (accessed: 02.02.2024)
43. GOST 10181–2014. *Concrete mixtures. Test methods*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200115733 (accessed: 02.02.2024)
44. GOST R 57809–2017/EN 12350–2:2019. *Testing concrete mixtures — Part 2: Determination of slump*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200157288 (accessed: 02.02.2024)
45. EN 12390–1:2021. *Testing hardened concrete — Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d1c9ccee-2e5a-425e-a964-961da95d2f99/en-12390-1-2021 (accessed: 02.02.2024)
46. EN 12390–2:2019. *Testing hardened concrete — Part 2: Making and curing specimens for strength tests*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/ae7e6a86-1cbc-455e-8b2a-8964be9087f9/en-12390-2-2019 (accessed: 02.02.2024)
47. EN 12390–3:2019. *Testing hardened concrete — Part 3: Compressive strength of test specimens*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/7eb738ef-44af-436c-ab8e-e6561571302c/en-12390-3-2019 (accessed: 02.02.2024)
48. EN 12390–4:2019. *Testing hardened concrete — Part 4: Compressive strength — Specification for testing machines*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/10b1c613-819b-42d7-8f94-480cd37a666a/en-12390-4-2019 (accessed: 02.02.2024)
49. EN 12390–5:2019. *Testing hardened concrete — Part 5: Flexural strength of test specimens*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/

cen/5653c2c7-55a9-4bcb-8e13-5b1dfb0e3baf/en-12390-5-2019 (accessed: 02.02.2024)
50. Ramakrishna, U., Mounika, G., Likhitha, M., Harikrishna, M., & Sachin, K. (2023). Experimental investigation of strength of concrete with GGBS, granite powder and treated wastewater. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.610. EDN: https://elibrary.ru/ZWOUPF
51. Abushanab, A., & Alnahhal, W. (2022). Flexural behavior of reinforced concrete beams prepared with treated wastewater, recycled concrete aggregates, and fly ash. *Structures*, 45, 2067–2079. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.029. EDN: https://elibrary.ru/GLFMBT
52. Abushanab, A., & Alnahhal, W. (2022). Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA, and fly ash. *Construction and Building Materials*, 329, 127118. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127118. EDN: https://elibrary.ru/BCASCC
53. Tanlı, T., Damdelen, O., & Pehlivan, S. (2022). Influences of recycled plastic and treated wastewater containing with 50 % GGBS content in sustainable concrete mixes. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 110–128. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.086. EDN: https://elibrary.ru/JUOGKN
54. Cordoba, G., Paulo, C., & Irassar, E. (2023). Towards an eco-efficient ready mix concrete industry: Advances and opportunities. A study of the Metropolitan Region of Buenos Aires. *Journal of Building Engineering*, 63(A), 105449. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105449. EDN: https://elibrary.ru/TNDARI
55. Raza, A., Rafique, U., & Haq, F. (2021). Mechanical and durability behavior of recycled aggregate concrete made with different kinds of wastewater. *Journal of Building Engineering*, 34, 101950. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101950. EDN: https://elibrary.ru/MJJEOO
56. Mojapelo, K., Kupolati, W., Ndambuki, J., Sadiku, E., Ibrahim, I., & Maepa, C. (2022). Sustainable usage and the positive environmental impact of wastewater dry sludge based concrete. *Results in Materials*, 16, 100336. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2022.100336. EDN: https://elibrary.ru/XZEPTP
57. Beskopylny, A. N., Smolyanichenko, A. S., Yakovleva, E. V., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Prokopov, A. Yu., Mailyan, L. R., & Dotsenko, N. A. (2022). *Program for automatic control of wastewater supply using the "Pyramid N" unit* (Patent No. RU2022617794). Retrieved from https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2022617794&TypeFile=html (accessed: 02.02.2024)
58. Petrov, A. M., Magomedov, R. M., & Savina, S. V. (2023). Environmental safety of construction in the concept of sustainable development. *Construction Mate-*

rials and Products, 6(1), 5–17. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17. EDN: https://elibrary.ru/NBHXTJ

59. Bantserova, O. L., & Sorokina, V. O. (2023). The problem of preserving the existing architectural and historical-cultural landscape of resort cities on the southern coast of Crimea. *Construction Materials and Products*, 6(1), 18–28. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-18-286. EDN: https://elibrary.ru/MRYQZF
60. Nizina, T. A., Nizin, D. R., Selyaev, V. P., Spirin, I. P., & Stankevich, A. S. (2023). Big data in predicting the climatic resistance of building materials. Temperature and humidity of air. *Construction Materials and Products*, 6(3), 18–30. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17. EDN: https://elibrary.ru/HADNAF
61. Gusarova, L. V., Isaev, E. A., Lipatova, I. V., Lysenko, A. A., Medina, I. S., & Fedchenko, E. A. (2023). ESG safety of urban economy in the concept of sustainable development. *Construction Materials and Products*, 6(3), 47–58. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-3-47-58. EDN: https://elibrary.ru/PFHSLP
62. Gerasimova, E. B., Melnikova, L. A., & Loseva, A. V. (2023). Environmental safety of construction in a single-industry town. *Construction Materials and Products*, 6(3), 59–78. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-3-59-78. EDN: https://elibrary.ru/BHUCFY
63. Muzalev, S. V., Nikiforova, E. V., Petrova, O. A., Antonova, O. V., & Melnikova, L. A. (2023). Processing of municipal solid waste in construction. *Construction Materials and Products*, 6(5), 7. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-5-7. EDN: https://elibrary.ru/IQJNPZ

Список литературы

1. Harshit, V., Rizwan, K., & Iqbal, K. (2021). Sustainable use of different wastewater in concrete construction: A review. *Journal of Building Engineering, 41*, 102411. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102411. EDN: https://elibrary.ru/NBBRIO
2. Mohammed, I., Wasiu, A., Rida, A., Babatunde, S., & Ewebajo, O. (2023). An overview of factors influencing the properties of concrete incorporating construction and demolition wastes. *Construction and Building Materials, 367*, 130307. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130307. EDN: https://elibrary.ru/QRAKGK
3. Babu, G., Reddy, B., & Ramana, N. (2018). Quality of mixing water in cement concrete: A review. *Materials Today: Proceedings, 5*(1), 1313–1320. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.216

4. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Smolyanichenko, A. S., & Beskopylny, N. A. (2022). High-performance concrete nanomodified with recycled rice straw biochar. *Applied Sciences, 12*(11), 5480. https://doi.org/10.3390/app12115480. EDN: https://elibrary.ru/BLACAS
5. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Smolyanichenko, A. S., Varavka, V. N., Beskopylny, N. A., & Dotsenko, N. A. (2022). Influence of electromagnetic activation of cement paste and nano-modification by rice straw biochar on the structure and characteristics of concrete. *Journal of Composites Science, 6*(9), 268. https://doi.org/10.3390/jcs6090268. EDN: https://elibrary.ru/YLWSVH
6. Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Butko, D. A., & Smolyanichenko, A. S. (2021). Influence of composition and technological factors on variatropic efficiency and constructive quality coefficients of lightweight vibro-centrifuged concrete with alkalized mixing water. *Applied Sciences, 11*(19), 9293. https://doi.org/10.3390/app11199293. EDN: https://elibrary.ru/OSLKOR
7. Shcherban', E. M., Stel'makh, S. A., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., & Meskhi, B. (2021). Influence of mechanochemical activation of concrete components on the properties of vibro-centrifugated heavy concrete. *Applied Sciences, 11*(22), 10647. https://doi.org/10.3390/app112210647. EDN: https://elibrary.ru/MIKEKQ
8. Beskopylny, A. N., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Mailyan, L. R., Meskhi, B., Beskopylny, N. A., & El'shaeva, D. M. (2022). Influence of the chemical activation of aggregates on the properties of lightweight vibro-centrifuged fiber-reinforced concrete. *Journal of Composites Science, 6*(9), 273. https://doi.org/10.3390/jcs6090273. EDN: https://elibrary.ru/WPRSYJ
9. Shcherban', E. M., Stel'makh, S. A., Beskopylny, A. N., Mailyan, L. R., Meskhi, B., & Shuyskiy, A. I. (2022). Improvement of strength and strain characteristics of lightweight fiber concrete by electromagnetic activation in a vortex layer apparatus. *Applied Sciences, 12*(1), 104. https://doi.org/10.3390/app12010104. EDN: https://elibrary.ru/IGQJTH
10. Wally, G., Magalhães, F., & Filho, L. (2022). From prescriptive to performance-based: An overview of international trends in specifying durable concretes. *Journal of Building Engineering, 52*, 104359. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104359. EDN: https://elibrary.ru/UNUKAG
11. Mailyan, L. R., Beskopylny, A. N., Meskhi, B., Shilov, A. V., Stel'makh, S. A., Shcherban', E. M., Smolyanichenko, A. S., & El'shaeva, D. M. (2021). Improving the structural characteristics of heavy concrete by combined disperse

reinforcement. *Applied Sciences, 11*(13), 6031. https://doi.org/10.3390/app11136031. EDN: https://elibrary.ru/LMMNFR

12. Matos, P., Prudêncio, L., Pilar, R., Gleize, P., & Pelisser, F. (2020). Use of recycled water from mixer truck wash in concrete: Effect on the hydration, fresh and hardened properties. *Construction and Building Materials, 230*, 116981. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116981. EDN: https://elibrary.ru/GVPHQE
13. Hamada, H., Abdulhaleem, K., Majdi, A., Jawahery, M., Thomas, B., & Yousif, S. (2023). Effect of wastewater as sustainable concrete material on concrete performance: A critical review. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.181. EDN: https://elibrary.ru/VPQHDU
14. Sanyukovich, A. V. (2016). Alternative method of wastewater treatment in concrete production. *Belarusian National Technical University (BNTU)*, 81–84. Retrieved from https://rep.bntu.by/handle/data/27180 (accessed: 02.02.2024)
15. Mohamed, A., Shorbagy, W., Mohammed, I., & Gawad, E. (2013). Treatment of concrete wash wastewater from ready-mix concrete operations. *Semantic Scholar, 53*(4), 928–939. https://doi.org/10.1080/19443994.2013.852137
16. Cosgun, N., & Esin, T. (2006). A study regarding the environmental management system of ready mixed concrete production in Turkey. *Building and Environment, 41*(8), 1099–1105. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.06.012
17. Утегенов, В. В., Шаяхмедов, Р. И., & Кокарев, А. М. (2022). Промывка песка для бетонной смеси с использованием поверхностно-активных веществ в аппарате вихревого смешения. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*, (3(41)), 37–43. https://doi.org/10.52684/2312-3702-2022-41-3-43-47. EDN: https://elibrary.ru/DLXAQT
18. Ghrair, A., Heath, A., Paine, A., & Kronz, M. (2020). Waste wash-water recycling in ready mix concrete plants. *Environments, 7*(12), 108. https://doi.org/10.3390/environments7120108. EDN: https://elibrary.ru/KRRRZM
19. Wang, J., Hou, L., Yan, K., Zhang, L., & Yu, Q. J. (2017). Polydopamine nanocluster decorated electrospun nanofibrous membrane for separation of oil/water emulsions. *Journal of Membrane Science, 547*, 156–162. https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.10.028
20. Kang, H., Cheng, Z., Lai, H., Ma, H., Liu, Y., Mai, X., Wang, Y., Shao, Q., Xiang, L., Guo, X., & Guo, Z. (2018). Superlyophobic-corrosive and self-cleaning titania robust mesh membrane with enhanced oil/water separation. *Separation and Purification Technology, 201*, 193–204. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.03.002
21. Bai, Z.-s., Wang, H.-l., & Tu, S.-t. (2011). Oil-water separation using hydrocyclones enhanced by air bubbles. *Chemical Engineering Research and Design, 89*(1), 55–59. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2010.04.012

22. Keller, J. H. F. (1975). *Oil-water separation process* (U.S. Patent No. 3,867,285). Retrieved from https://patentimages.storage.googleapis.com/87/8d/56/48ee1416e6f8c4/WO1995010345A1.pdf (accessed: 02.02.2024)
23. Rowley, M. E., & Davies, G. (1988). Design of plate separators for the separation of oil-water dispersions. *Chemical Engineering Research and Design, 66*(4), 313–322.
24. Schlieper, L., Chatterjee, M., Henschke, M., & Pfennig, A. (2004). Liquid-liquid phase separation in gravity settler with inclined plates. *AIChE Journal, 50*(4), 802–811. https://doi.org/10.1002/aic.10075
25. Fitnawan, E. A. Y., Rivera, R. M., & Golan, M. (2009). *Inclined gravity downhole oil-water separator: Using laboratory experimental results for predicting the impact of its application in high rate production wells*. Paper presented at the Asia Pacific Oil and Gas Conference & Exhibition, Jakarta, Indonesia. https://doi.org/10.2118/119939-MS
26. Zhang, Y., Yuan, Z., Bai, H., Zhao, L., He, L., & Shi, C. (2022). A pilot-scale treatment of steel plant wastewater by PVDF hollow fiber ultrafiltration membrane with low packing density. *Separations, 9*(2), 37. https://doi.org/10.3390/separations9020037. EDN: https://elibrary.ru/MHFKHW
27. Kostanyan, A. E., Belova, V. V., & Voshkin, A. A. (2022). Three- and multi-phase extraction as a tool for the implementation of liquid membrane separation methods in practice. *Membranes, 12*(10), 926. https://doi.org/10.3390/membranes12100926. EDN: https://elibrary.ru/AUILGA
28. Li, J., Li, Y., Lu, Y., Shi, W., & Tian, H. (2022). PDMS/PVDF electrospinning membranes for water-in-oil emulsion separation and UV protection. *Biomimetics, 7*(4), 217. https://doi.org/10.3390/biomimetics7040217. EDN: https://elibrary.ru/ZWOXJM
29. Rajendran, S., Wanale, S. G., Gacem, A., Yadav, V. K., Ahmed, I. A., Algethami, J. S., Kakodiya, S. D., Modi, T., Alsuhaibani, A. M., Yadav, K. K., et al. (2023). Nanostructured iron oxides: Structural, optical, magnetic, and adsorption characteristics for cleaning industrial effluents. *Crystals, 13*(3), 472. https://doi.org/10.3390/cryst13030472. EDN: https://elibrary.ru/MQIKHH
30. Ibrahim, A. H., Lyu, X., & ElDeeb, A. B. (2023). Synthesized zeolite based on Egyptian boiler ash residue and kaolin for the effective removal of heavy metal ions from industrial wastewater. *Nanomaterials, 13*(6), 1091. https://doi.org/10.3390/nano13061091. EDN: https://elibrary.ru/LUFBYZ
31. Meena, K., & Luhar, S. (2019). Effect of wastewater on properties of concrete. *Journal of Building Engineering, 21*, 106–112. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.003

32. Bahraman, V., Asadollahfardi, G., Salehi, A., & Yahyaei, B. (2021). Feasibility study of using wash water from ready mixed concrete plant and synthetic wastewater based on tap water with different total dissolved solid to produce self-compacting concrete. *Journal of Building Engineering, 41*, 102781. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102781. EDN: https://elibrary.ru/XMKSPN
33. Arooj, M. F., Haseeb, F., Butt, A. I., Irfan-Ul-Hassan, M., Batool, H., Kibria, S., Javed, Z., Nawaz, H., & Asif, S. (2021). A sustainable approach to reuse of treated domestic wastewater in construction incorporating admixtures. *Journal of Building Engineering, 33*, 101616. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101616. EDN: https://elibrary.ru/YPDSAF
34. Ahmed, S., Alhoubi, Y., Elmesalami, N., Yehia, S., & Abed, F. (2023). Mechanical and durability evaluation of concrete prepared with recycled aggregate and treated wastewater. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.615. EDN: https://elibrary.ru/PZAALY
35. Fattah, K., Al-Tamimi, A., Hamweyah, W., & Iqbal, F. (2017). Evaluation of sustainable concrete produced with desalinated reject brine. *International Journal of Sustainable Built Environment, 6*(1), 183–190. https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.02.004
36. Borger, J., Carrasquillo, R., & Fowler, D. (1994). Use of recycled wash water and returned plastic concrete in the production of fresh concrete. *Advanced Cement Based Materials, 1*(6). https://doi.org/10.1016/1065-7355(94)90035-3
37. Smolyanichenko, A. S., & Yakovleva, E. V. (2022). Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. *Siberian Journal Life Sciences Agriculture, 14*(6), 34–50. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-34-50. EDN: https://elibrary.ru/VJZRPE
38. ГОСТ 23732-2011. *Вода для бетонов и строительных материалов. Технические условия*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200093835 (accessed: 02.02.2024)
39. MSZ EN 1008:2002. *Mixing water for concrete — Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554125953 (accessed: 02.02.2024)
40. ГОСТ 30744-2001. *Методы испытаний с использованием полифракционного песка*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200011363 (accessed: 02.02.2024)
41. MSZ EN 196-1:2016. *Methods of testing cement — Part 1: Determination of strength*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554092499 (accessed: 02.02.2024)

42. MSZ EN 196-3:2017. *Methods of testing cement — Part 3: Determination of setting times and soundness*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/554094953 (accessed: 02.02.2024)
43. ГОСТ 10181-2014. *Смеси бетонные. Методы испытаний*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200115733 (accessed: 02.02.2024)
44. ГОСТ Р 57809-2017/EN 12350-2:2019. *Испытания бетонный смеси — Часть 2: Определение осадки конуса*. Retrieved from https://docs.cntd.ru/document/1200157288 (accessed: 02.02.2024)
45. EN 12390-1:2021. *Testing hardened concrete — Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/d1c9ccee-2e5a-425e-a964-961da95d2f99/en-12390-1-2021 (accessed: 02.02.2024)
46. EN 12390-2:2019. *Testing hardened concrete — Part 2: Making and curing specimens for strength tests*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/ae7e6a86-1cbc-455e-8b2a-8964be9087f9/en-12390-2-2019 (accessed: 02.02.2024)
47. EN 12390-3:2019. *Testing hardened concrete — Part 3: Compressive strength of test specimens*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/7eb738ef-44af-436c-ab8e-e6561571302c/en-12390-3-2019 (accessed: 02.02.2024)
48. EN 12390-4:2019. *Testing hardened concrete — Part 4: Compressive strength — Specification for testing machines*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/10b1c613-819b-42d7-8f94-480cd37a666a/en-12390-4-2019 (accessed: 02.02.2024)
49. EN 12390-5:2019. *Testing hardened concrete — Part 5: Flexural strength of test specimens*. Retrieved from https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5653c2c7-55a9-4bcb-8e13-5b1dfb0e3baf/en-12390-5-2019 (accessed: 02.02.2024)
50. Ramakrishna, U., Mounika, G., Likhitha, M., Harikrishna, M., & Sachin, K. (2023). Experimental investigation of strength of concrete with GGBS, granite powder and treated wastewater. *Materials Today: Proceedings*. In press. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.610. EDN: https://elibrary.ru/ZWOUPF
51. Abushanab, A., & Alnahhal, W. (2022). Flexural behavior of reinforced concrete beams prepared with treated wastewater, recycled concrete aggregates, and fly ash. *Structures, 45*, 2067–2079. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.10.029. EDN: https://elibrary.ru/GLFMBT
52. Abushanab, A., & Alnahhal, W. (2022). Performance of sustainable concrete incorporating treated domestic wastewater, RCA, and fly ash. *Construction*

and Building Materials, 329, 127118. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127118. EDN: https://elibrary.ru/BCASCC

53. Tanlı, T., Damdelen, O., & Pehlivan, S. (2022). Influences of recycled plastic and treated wastewater containing with 50 % GGBS content in sustainable concrete mixes. *Journal of Materials Research and Technology, 16*, 110–128. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.11.086. EDN: https://elibrary.ru/JUOGKN
54. Cordoba, G., Paulo, C., & Irassar, E. (2023). Towards an eco-efficient ready mix-concrete industry: Advances and opportunities. A study of the Metropolitan Region of Buenos Aires. *Journal of Building Engineering, 63*(A), 105449. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105449. EDN: https://elibrary.ru/TNDARI
55. Raza, A., Rafique, U., & Haq, F. (2021). Mechanical and durability behavior of recycled aggregate concrete made with different kinds of wastewater. *Journal of Building Engineering, 34*, 101950. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101950. EDN: https://elibrary.ru/MJJEOO
56. Mojapelo, K., Kupolati, W., Ndambuki, J., Sadiku, E., Ibrahim, I., & Maepa, C. (2022). Sustainable usage and the positive environmental impact of wastewater dry sludge-based concrete. *Results in Materials, 16*, 100336. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2022.100336. EDN: https://elibrary.ru/XZEPTP
57. Бескопыльный, А. Н., Смоляниченко, А. С., Яковлева, Е. В., Стельмах, С. А., Щербань, Е. М., Прокопов, А. Ю., Майлян, Л. Р., & Доценко, Н. А. (2022). *Программа автоматического управления подачей сточных вод установкой «Пирамида N»* (Патент № RU2022617794). Retrieved from https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2022617794&TypeFile=html (accessed: 02.02.2024)
58. Петров, А. М., Магомедов, Р. М., & Савина, С. В. (2023). Экологическая безопасность строительства в концепции устойчивого развития. *Строительные материалы и изделия, 6*(1), 5–17. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17. EDN: https://elibrary.ru/NBHXTJ
59. Банцерова, О. Л., & Сорокина, В. О. (2023). Проблема сохранения существующего архитектурного и историко-культурного ландшафта курортных городов южного берега Крыма. *Строительные материалы и изделия, 6*(1), 18–28. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-18-286. EDN: https://elibrary.ru/MRYQZF
60. Низина, Т. А., Низин, Д. Р., Селяев, В. П., Спирин, И. П., & Станкевич, А. С. (2023). Большие данные в прогнозировании климатической устойчивости строительных материалов. Температура и влажность воздуха. *Строительные материалы и изделия, 6*(3), 18–30. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17. EDN: https://elibrary.ru/HADNAF

61. Гусарова, Л. В., Исаев, Э. А., Липатова, И. В., Лысенко, А. А., Медина, И. С., & Федченко, Е. А. (2023). ESG-безопасность городского хозяйства в концепции устойчивого развития. *Строительные материалы и изделия, 6*(3), 47–58. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-3-47-58. EDN: https://elibrary.ru/PFHSLP
62. Герасимова, Е. Б., Мельникова, Л. А., & Лосева, А. В. (2023). Экологическая безопасность строительства в моногороде. *Строительные материалы и изделия, 6*(3), 59–78. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-3-59-78. EDN: https://elibrary.ru/BHUCFY
63. Музалев, С. В., Никифорова, Е. В., Петрова, О. А., Антонова, О. В., & Мельникова, Л. А. (2023). Переработка твёрдых бытовых отходов в строительстве. *Строительные материалы и изделия, 6*(5), 7. https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-5-7. EDN: https://elibrary.ru/IQJNPZ

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Chernilnik, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
achernilnik@donstu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0103-2587

Alla S. Smolyanichenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Water Supply and Sanitation
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
arpis-2006@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1664-2986

Diana M. Elshaeva, Candidate of Technical Sciences, assistant of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures
Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
delshaeva@donstu.ru

Elena V. Yakovleva, postgraduate student, senior lecturer of the Department of Water Supply and Sanitation

Don State Technical University
1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation
ananas199021@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5255-1598

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Чернильник Андрей Александрович, кандидат технический наук, старший преподаватель кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений»
Донской государственный технический университет
площадь Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
achernilnik@donstu.ru

Смоляниченко Алла Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
Донской государственный технический университет
площадь Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
arpis-2006@mail.ru

Ельшаева Диана Михайловна, кандидат технический наук, ассистент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений»
Донской государственный технический университет
площадь Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
delshaeva@donstu.ru

Яковлева Елена Вячеславовна, аспирант, старший преподаватель кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
Донской государственный технический университет
площадь Гагарина, 1, г. Ростов-на-Дону, 344000, Российская Федерация
ananas199021@yandex.ru

Поступила 10.04.2025
После рецензирования 20.05.2025
Принята 25.05.2025

Received 10.04.2025
Revised 20.05.2025
Accepted 25.05.2025

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	15-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания
	ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ 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 формату APA.

References
Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	15-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins –20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text
	DO NOT USE FOOTNOTES AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)
Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.
2. Objective.
3. Materials and methods.
4. Results of the research and Discussion.
5. Conclusion.
6. Conflict of interest information.
7. Sponsorship information.
8. Acknowledgments.

References
References text type should be APA Style.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

СОХРАННОСТЬ ФОРМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ ПОД ЗАЩИТОЙ КОМБИНИРОВАННОГО КРИОКОНСЕРВАНТА ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАМОРОЗКЕ
А.А. Власов, С.Ф. Андрусенко, Е.В. Денисова, А.Б. Эльканова, Д.А. Богословский, И.В. Сивун 11

ИДЕНТИФИКАЦИЯ БИОМАРКЕРОВ ФЕРТИЛЬНОСТИ БЫКОВ НА ОСНОВЕ МЕТАБОЛОМНОГО АНАЛИЗА СПЕРМАТОЗОИДОВ И СЕМЕННОЙ ПЛАЗМЫ
А.А. Ермилов, А.А. Траспов, Ф.С. Бакоев, Д.В. Чесноков, А.С. Панова, А.Б. Кузнецов, О.В. Костюнина 32

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА СТУДЕНТОВ ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ
Н.В. Звягина, А.И. Талеева, К.В. Новоселова, А.С. Черкасова, Т.Ч. Чанг, Н.В. Попов 51

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

АКТИВНОСТЬ ЛИПОКСИГЕНАЗЫ СЕМЯН И АГРОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ У ЗАМЕЩЕННЫХ ЛИНИЙ ПШЕНИЦЫ ЧАЙНИЗ СПРИНГ (СИНТЕТИК 6Х) ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ И НЕДОСТАТОЧНОМ ВОДООБЕСПЕЧЕНИИ
М.Д. Пермякова, А.В. Пермяков 76

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕВОДОВ В ПЛОДАХ М. *BACCATA* (L.) BORKH. И ЕЕ ГИБРИДНЫХ СОРТОВ С М. *DOMESTICA* BORKH.
Е.Г. Рудиковская, З.О. Ставицкая, Л.В. Дударева, Н.В. Семёнова, Н.Б. Катышева, А.В. Рудиковский 94

FEATURES OF SEED GERMINATION OF RIBES AUREUM PURSH. DURING A PERIOD OF DEEP REST
R.A. Nigmatzyanov, V.N. Sorokopudov, O.A. Sorokopudova 115

ECOLOGY AND PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF *CENTAUREA SOLSTITIALIS* L., FAMILY ASTERACEAE DUMORT
A.N. Aleskerova, L.I. Rustamova, E.G. Orujeva, F.H. Heydarova, I.R. Jahangirova, I.A. Mustafayeva 126

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТОВ СОЦВЕТИЙ БАРХАТЦЕВ РАСПРОСТЕРТЫХ (*TAGETES PATULA* L.) НА СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ ИНФУЗОРИЙ *PARAMECIUM CAUDATUM*
К.Ш. Казимова, Ф.Ю. Ахмадуллина, Ю.В. Щербакова, Г.Г. Шуматбаев 136

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF OIL-DEGRADING BACTERIA FROM OIL-CONTAMINATED MUDDY SOIL SAMPLES AT AUTOMOTIVE SERVICE STATIONS IN VIETNAM
T.K.T. Nguyen, T.T. Do, T.T.T. Tran, T.M. Luong, Q.T. Mai, T.C. Nguyen, K.T. Nguyen, D.D. Phan, C.C. Ngo 153

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВЫ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
Н.В. Данилова, В.Р. Бабичук, Л.Р. Бикташева, Р.В. Окунев, П.А. Курынцева, С.Ю. Селивановская 168

ФУНКЦИНАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В МИКРОБИОМЕ СЛЕПЫХ ОТРОСТКОВ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛИФОСАТА И АНТИБИОТИКОВ
Г.Ю. Лаптев, Д.Г. Тюрина, В.Ю. Морозов, В.А. Филиппова, Е.А. Йылдырым, Л.А. Ильина, Е.П. Горфункель, Е.С. Пономарева, К.А. Соколова, В.А. Заикин, И.А. Ключникова 197

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

ОЦЕНКА ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ И МАРКЕРА ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА У БЫЧКА-ПЕСОЧНИКА (*NEOGOBIUS FLUVIATILIS*), ОБИТАЮЩЕГО В СЕВЕРНОМ КАСПИИ
Т.В. Кузина, А.В. Кузин 217

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА В ТЕРАПИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ САЛЬМОНЕЛЛЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВКИ И РЕЖИМА ВВЕДЕНИЯ НА МОДЕЛИ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ
П.А. Вьюшинский, А.И. Лаишевцев, В.А. Савинов, А.В. Супова, П.Н. Шастин, А.В. Хабарова, Е.Г. Ежова 230

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ШРОТА ЭЛЕУТЕРОКОККА ДЛЯ ВТОРИЧНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
О.А. Петренко, А.А. Кузнецова, О.В. Щеняцкая, Ю.В. Щербакова, Р.К. Закиров, Ф.Ю. Ахмадуллина 254

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИДЕРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) В ДВУПОЛЬНОМ СЕВООБОРОТЕ
А.В. Поляков 270

ИЗМЕНЕНИЕ ВИРУЛЕНТНОСТИ И АГРЕССИВНОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ *PUCCINIA HORDEI* И *PYRENOPHORA TERES* ПОД ВЛИЯНИЕМ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО ФУНГИЦИДА ИЗ КЛАССА ТРИАЗОЛОВ И СТРОБИЛУРИНОВ
М.С. Гвоздева, О.А. Кудинова, Я.В. Яхник, В.Д. Руденко, Г.В. Волкова 288

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

ANALYSIS OF PHYTOHORMONE CONTENT IN LOCAL MICROORGANISMS AND THEIR RESPONSE TO TRUE SHALLOT SEED (TSS) PRODUCTION OF LOCAL EBAN SHALLOTS IN THE MIDDLE PLAINS OF NORTH CENTRAL TIMOR REGENCY
A. Tefa, N. Nik, A. Rusae, A.A. Neonnub, I.S. Manek 312

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

CONVECTIVE DRYING PROCESSES FOR PLUMS USING SENSOR TECHNOLOGY
A. Lukyanov, N. Miletić, V. Filipović, M. Petković, D. Donskoy, I. Studennikov 327

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ ПО РОСТУ И РАЗВИТИЮ ЕЛОВО-ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА УЧАСТКАХ ПОСТОЯННОГО НАБЛЮДЕНИЯ В ХАБАРОВСКОМ КРАЕ
А.В. Шемякина, А.Ю. Алексеенко, В.С. Грек, Д.А. Голубев, Д.В. Павлов, К.Е. Гула, Н.А. Каюмов 340

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

СОДЕРЖАНИЕ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ КАК ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
К.Ю. Михайличенко, А.И. Курбатова, Ю.А. Куртеева, Э.Е. Коновалова 367

РОЛЬ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АНТИНАРКОТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ОТРАСЛИ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕГИОНА
А.В. Ахохова, М.Х. Тлакадугова, А.А. Кушхов, А.Г. Сонова, А.А. Тхагапсоева, К.А. Блянихов, А.А. Мирзантова, М.Г. Муслимов, А.К. Хададова, К.К. Хасанова, Ф.М. Билалова 386

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ СТУДЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА КОНСТИТУЦИИ
Е.В. Климова, М.А. Суботялов, И.В. Григорьев, А.А. Мазенков 417

ВЗАИМОСВЯЗЬ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ И ПОСТКОВИДНЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ
Л.И. Фейсханова, Е.Э. Петрова, З.Ф. Ким, С.Ю. Щербаков 432

КЛИНИКО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ОДНОКАМЕРНОГО ЭХИНОКОККОЗА СРЕДИ НАСЕЛЕНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
А.А. Ибрагимхалилова 445

ДИАГНОСТИКА ДИСПЛАЗИИ ШЕЙКИ МАТКИ
КАК ОСНОВНОЙ АСПЕКТ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ
РАКА ШЕЙКИ МАТКИ
Э.У. Ильясова, А.В. Марулова, З.С. Румянцева,
А.Н. Сулима, С.С. Аникин, Е.С. Румянцева,
А.А. Бабушкин 459

ОПЫТ РЕГИОНОВ

САНИТАРНО-ЭПИЗООТОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ
НОЗЕМАТОЗА ПЧЕЛ НА ВОСТОКЕ КАЗАХСТАНА
Е.Ю. Тихомирова, А.Н. Байгазанов, А.С. Казарян,
С.А. Пашаян, В.В. Абрамян 479

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕРНОВОЙ ПИВНОЙ
ДРОБИНЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИЦЕЛИЯ
СЪЕДОБНЫХ ГРИБОВ
А.В. Третьякова, Г.В. Песцов, О.В. Прокудина,
А.С. Мягкова 509

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ПРЕДЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИФРОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ
А.Ю. Анисимов, А.Н. Алексахин, А.Г. Зайцев,
П.Н. Машегов, И.В. Андросова 527

ТЕМА БОЛЕЗНИ В ТЕКСТОВЫХ РАССУЖДЕНИЯХ ГРАЖДАН
РОССИИ, ПРИКРЕПЛЕННЫХ ДЛЯ ОКАЗАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ
МЕДИКО-САНИТАРНОЙ ПОМОЩИ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ
О.В. Митрофанова, С.В. Пискунова, Л.В. Фролова 548

СВОЙСТВА БЕТОНОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОДУКТАМИ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД БЕТОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УСТАНОВКИ ФАЗОВОЙ СЕПАРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
А.А. Чернильник, А.С. Смоляниченко, Д.М. Ельшаева, Е.В. Яковлева 578

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 615

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

PRESERVATION OF BLOOD FORM ELEMENTS UNDER THE PROTECTION OF COMBINED CRYOPRESERVATIVE DURING LOW-TEMPERATURE FREEZING
A.A. Vlasov, S.F. Andrusenko, E.V. Denisova, A.B. Elkanova, D.A. Bogoslovsky, I.V. Sivun 11

IDENTIFICATION OF BULL FERTILITY BIOMARKERS BASED ON METABOLOMIC ANALYSIS OF SPERM CELLS AND SEMINAL PLASMA
A.A. Ermilov, A.A. Traspov, F.S. Bakoev, D.V. Chesnokov, A.S. Panova, A.B. Kuznetsov, O.V. Kostyunina 32

BIOELECTRICAL BRAIN ACTIVITY IN STUDENTS DURING COGNITIVE ACTIVITY UNDER TIME LIMITATION
N.V. Zvyagina, A.I. Taleeva, K.V. Novoselova, A.S. Cherkasova, T.C. Chang, N.V. Popov 51

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

SEED LIPOXYGENASE ACTIVITY AND AGRONOMIC PARAMETERS IN THE SUBSTITUTION WHEAT LINES CHINESE SPRING (SYNTHETIC 6X) UNDER OPTIMAL AND DEFICIENT WATER SUPPLY
M.D. Permyakova, A.V. Permyakov 76

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE COMPOSITION AND CARBOHYDRATE CONTENT IN THE FRUITS OF M. *BACCATA* (L.) BORKH. AND ITS HYBRID VARIETIES WITH M. *DOMESTICA* BORKH.
E.G. Rudikovskaya, Z.O. Stavitskaya, L.V. Dudareva, N.V. Semenova, N.B. Katysheva, A.V. Rudikovskii 94

FEATURES OF SEED GERMINATION OF RIBES AUREUM PURSH. DURING A PERIOD OF DEEP REST
R.A. Nigmatzyanov, V.N. Sorokopudov, O.A. Sorokopudova 115

ECOLOGY AND PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF *CENTAUREA SOLSTITIALIS* L., FAMILY ASTERACEAE DUMORT
A.N. Aleskerova, L.I. Rustamova, E.G. Orujeva, F.H. Heydarova, I.R. Jahangirova, I.A. Mustafayeva 126

EFFECT OF EXTRACTS OF INFLORESCENCE *TAGETES PATULA* L. ON STRESS RESISTANCE OF *PARAMECIUM CAUDATUM* INFUSORIAE
C.Sh. Kazimova, F.Yu. Akhmadullina, Yu.V. Shcherbakova, G. G. Shumatbaev 136

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

ISOLATION AND IDENTIFICATION OF OIL-DEGRADING BACTERIA FROM OIL-CONTAMINATED MUDDY SOIL SAMPLES AT AUTOMOTIVE SERVICE STATIONS IN VIETNAM
T.K.T. Nguyen, T.T. Do, T.T.T. Tran, T.M. Luong, Q.T. Mai, T.C. Nguyen, K.T. Nguyen, D.D. Phan, C.C. Ngo 153

PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN UNDER DIFFERENT TYPES OF LAND USE
N.V. Danilova, V.R. Babichuk, L.R. Biktasheva, R.V. Okunev, P.A. Kuryntseva, S.Yu. Selivanovskaya 168

FUNCTIONAL DIFFERENCES IN THE MICROBIOME OF BROILER CHICKEN CECALES RESULTING FROM GLYPHOSATE AND ANTIBIOTICS
G.Yu. Laptev, D.G. Tyurina, V.Yu. Morozov, V.A. Filippova, E.A. Yildirim, L.A. Ilyina, E.P. Gorfunkel, E.S. Ponomareva, K.A. Sokolova, V.A. Zaikin, I.A. Klyuchnikova 197

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

ASSESSMENT OF CYTOGENETIC INDEX AND MARKER OF OXIDATIVE STRESS IN A MONKEY GOBY (NEOGOBIUS FLUVIATILIS) NATIVE TO THE NORTHERN CASPIAN SEA
T.V. Kuzina, A.V. Kuzin 217

EFFICACY OF A PROBIOTIC PREPARATION IN THE TREATMENT OF EXPERIMENTAL SALMONELLA INFECTION: OPTIMIZATION OF DOSAGE AND ADMINISTRATION REGIMEN IN A LABORATORY ANIMAL MODEL
P.A. Vyushinsky, A.I. Laishevtsev, V.A. Savinov, A.V. Supova, P.N. Shastin, A.V. Khabarova, E.G. Ezhova 230

CAPACITY ASSESSMENT OF ELEUTHEROCOCCUS MEAL FOR SECONDARY USE
O.A. Petrenko, A.A. Kuznetsova, O.V. Shchenyatskaya, Yu.V. Shcherbakova, R.K. Zakirov, F.Yu. Akhmadullina 254

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

EFFICIENCY OF SIDERITES UNDER GROWING GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) IN DOUBLE CROP ROTATION
A.V. Polyakov 270

CHANGES IN VIRULENCE AND AGGRESSIVENESS OF *PUCCINIA HORDEI* AND *PYRENOPHORA TERES* POPULATIONS INDUCED BY TRIAZOLE AND STROBILURIN CLASS FUNGICIDES
M.S. Gvozdeva, O.A. Kudinova, Ya.V. Yakhnik, V.D. Rudenko, G.V. Volkova 288

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

ANALYSIS OF PHYTOHORMONE CONTENT IN LOCAL MICROORGANISMS AND THEIR RESPONSE TO TRUE SHALLOT SEED (TSS) PRODUCTION OF LOCAL EBAN SHALLOTS IN THE MIDDLE PLAINS OF NORTH CENTRAL TIMOR REGENCY
A. Tefa, N. Nik, A. Rusae, A.A. Neonnub, I.S. Manek 312

HORTICULTURE AND FORESTRY

CONVECTIVE DRYING PROCESSES FOR PLUMS USING SENSOR TECHNOLOGY
A. Lukyanov, N. Miletić, V. Filipović, M. Petković, D. Donskoy, I. Studennikov 327

ANALYSIS OF MATERIALS ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF SPRUCE AND FIR STANDS AT SITES OF CONSTANT MONITORING IN THE KHABAROVSK TERRITORY
A.V. Shemyakina, A.Yu. Alekseenko,V.S. Grek, D.A. Golubev, D.V. Pavlov, K.E. Gula, N.A. Kayumov 340

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

THE CONTENT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN BUILDING MATERIALS AS A RISK FACTOR FOR PUBLIC HEALTH
K.Yu. Mikhayichenko, A.I. Kurbatova, Yu.A. Kurteeva, E.E. Konovalova 367

THE ROLE OF SYSTEMS ANALYSIS IN STUDYING THE IMPLEMENTATION OF THE STATE ANTI-DRUG POLICY STRATEGY IN THE REGIONAL HEALTHCARE SECTOR
A.V. Akhokhova, M.Kh. Tlakadugova, A.A. Kushkhov, A.G. Sonova, A.A. Thagapsoeva, K.A. Blyanikhov, A.A. Mirzantova, M.G. Muslimov, A.K. Khadadova, K.K. Khasanova, F.M. Bilalova 386

SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL ADAPTATION OF TRANSPORT UNIVERSITY STUDENTS DEPENDING ON THE CONSTITUTION TYPE
E.V. Klimova, M.A. Subotyalov, I.V. Grigoryev, A.A. Mazenkov 417

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARTERIAL HYPERTENSION AND LONG COVID
L.I. Feiskhanova, E.E. Petrova, Z.F. Kim, S.Y. Scherbakov 432

CLINICAL-EPIDEMIOLOGICAL
CHARACTERISTICS OF THE SPREADING
OF UNILOCULAR ECHINOCOCCOSIS AMONG
THE POPULATION OF THE REPUBLIC
OF AZERBAIJAN
A.A. Ibrahimkhalilova 445

DIAGNOSIS OF CERVICAL DYSPLASIA AS THE MAIN ASPECT
OF EARLY DETECTION OF CERVICAL CANCER
E.U. Ilyasova, A.V. Marulova,
Z.S. Rumyantseva, A.N. Sulima, S.S. Anikin,
E.S. Rumyantseva, A.A. Babushkin 459

EXPERIENCE OF REGIONS

SANITARY AND EPIZOOTOLOGICAL MONITORING OF BEE
NOSEMATOSIS IN THE EAST OF KAZAKHSTAN
E.Yu. Tikhomirova, A.N. Baygazanov,
A.S. Kazaryan, S.A. Pashayan, V.V. Abramyan 479

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

THE USE OF GRAIN BREWER PELLET
FOR THE CULTIVATION OF EDIBLE MUSHROOM
MYCELIUM
A.V. Tretyakova, G.V. Pestsov, O.V. Prokudina,
A.S. Myagkova 509

THE EFFECT OF THE MARGINAL IMPACT OF DIGITAL
TECHNOLOGICAL INNOVATIONS ON THE ACTIVITIES
OF AGRICULTURAL ENTERPRISES
A.Yu. Anisimov, A.N. Aleksakhin, A.G. Zaitsev,
P.N. Mashegov, I.V. Androsova 527

THE TOPIC OF DISEASE IN THE TEXT
DISCUSSIONS OF RUSSIAN CITIZENS ASSIGNED
TO PROVIDE PRIMARY HEALTH CARE IN RURAL AREAS
O.V. Mitrofanova, S.V. Piskunova, L.V. Frolova 548

PROPERTIES OF CONCRETE MODIFIED BY PRODUCTS
OF A NEW TECHNOLOGY FOR TREATING WASTEWATER
FROM CONCRETE PRODUCTION USING A PHASE SEPARATION
PLANT FOR CONTAMINANTS
A.A. Chernilnik, A.S. Smolyanichenko, D.M. El'shaeva, E.V. Yakovleva 578

RULES FOR AUTHORS 615

Подписано в печать 30.12.2025. Дата выхода в свет 30.12.2025. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 45,03. Тираж 50 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA176-1/025. 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.