

ISSN 2658-6649 (Print)

Siberian journal **of Life Sciences and Agriculture**

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 16, Number 6
2024

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 16, Number 6
2024**

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

Красноярск 2024



Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 16, № 6, 2024 / Vol. 16, No 6, 2024

Учредитель и издатель:

ООО Научно-инновационный центр

Журнал основан в 2008 году

Зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
Свидетельство регистрации
ПИ № ФС 77 - 71726 от 30.11.2017 г.

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

Индексирование и реферирование:

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

Адрес редакции, издателя и для корреспонденции:

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

+7 (995) 080-90-42

Founder and publisher:

Science and Innovation Center
Publishing House

Founded 2008

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

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

Indexing and Abstracting:

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

Editorial Board Office:

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

+7 (995) 080-90-42

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2024

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

сударственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Денисов Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (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 Майса Афанасьевна, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Стецов Григорий Яковлевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник Федерального Алтайского научного центра агробиотехнологий (Барнаул)

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

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

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

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

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

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

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

дарственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Board Members

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Konstantin S. Ostrenko, Doctor of Biological Sciences, L.K. Ernst Research 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. Popolzhukhina, Doctor of Agricultural Sciences, Omsk State Agrarian University named after P. Stolypin (Omsk, Russia)

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

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

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

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

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

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

Tatyana V. Rozhko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk State Medical University named after Professor V.F. Voyno-Yasnetsky (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: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1009

EDN: ACYHWC

УДК 60.604



Научная статья

ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ЭРГОАЛКАЛОИДОВ В ПРАКТИКЕ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ (ОБЗОР КЛИНИЧЕСКИХ СЛУЧАЕВ)

А.А. Волнин, Н.С. Цыбулько, Р.В. Янко, А.И. Бохан

Аннотация

Состояние вопроса. Лекарственные препараты на основе эргоалкалоидов (алкалоиды спорыньи) находят широкое применение в ветеринарной медицине.

Целью данной работы был анализ клинических случаев и оценка актуальных результатов применения ингибиторов пролактина, агонистов дофамина и утеротоников ветеринарного назначения на основе эргоалкалоидов.

Материалы исследования. Был проведен анализ клинических случаев и оценка актуальных результатов применения ингибиторов пролактина, агонистов дофамина и утеротоников ветеринарного назначения на основе эргоалкалоидов.

Результаты. В ветеринарии агонисты дофамина (каберголин, метерголин, бромокриптин) используются в случаях ингибирования нежелательной лактации, прерывания беременности у собак и кошек, лечения анэструса и ложной беременности у собак. Перголид (агонист дофамина) показывает высокую эффективность и массово применяется при терапии дисфункции промежуточной части гипофиза у лошадей и пони (болезнь Кушинга, Pituitary pars intermedia dysfunction, PPID). Каберголин также демонстрирует эффективность при данной патологии и болезни Кушинга у собак.

В ветеринарии сельскохозяйственных животных утеротонические препараты на основе эргометрина малеата (эргоновина) и метилэргометрина

могут быть использованы для стимуляции родов, предотвращения послеродовых маточных кровотечений, пролапса матки, удаления жидкости из атонической матки и других патологических состояний, а также для облегчения проведения хирургических процедур. Эргометрин ускоряет процесс инволюции матки, снижает риск развития послеродовых патологий, сокращает сроки наступления первой послеродовой течки и индуцирует раннее изгнание плодных оболочек.

Каберголин используется для безопасного прекращения лактации при индукции сухостойного периода у высокопродуктивных молочных коров. Такой подход способствует повышению пролиферации и ремоделированию ткани молочной железы, а также снижению метаболического стресса, предотвращает развитие мастита и других интрамаммарных инфекций в сухостойный период и после отела.

К нетипичным клиническим случаям применения каберголина и метилэргометрина можно отнести альтернативные (безоперационные) методы терапии пиометры у собак. Тем не менее, консервативные (хирургические) методы лечения этого заболевания остаются общепринятыми в ветеринарной практике, сообщения об альтернативных (медикаментозных) подходах требуют тщательного анализа и дальнейших детальных исследований.

У кошек, используемых для разведения, медикаментозная терапия может быть решением проблем, связанных с развитием пиометры, однако каждый случай требует тщательного анализа клинического состояния животного и индивидуального подхода.

Сообщалось, что каберголин может быть применен при лечении кошек с гиперсоматотропизмом и сахарным диабетом. Этот подход демонстрирует противоречивые результаты, эффективность, по всей видимости, зависит от тяжести течения и сроков заболевания.

Заключение. Препараты на основе эргоалкалоидов показывают высокую эффективность в некоторых клинических случаях рутинной ветеринарной практики и схемах лечения сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: ветеринария; лекарственные препараты; алкалоиды спорыньи; эргоалкалоиды; каберголин; перголид; эргометрин; эргоновин; метерголин; бромокриптин; акушерство; гинекология; болезнь Кушинга

Для цитирования. Волнин А.А., Цыбулько Н.С., Янко Р.В., Бохан А.И. Препараты на основе эргоалкалоидов в практике ветеринарной медицины (обзор клинических случаев) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 11-35. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1009

Original article

ERGOALKALOIDS-DERIVED MEDICAMENTS IN THE PRACTICE OF VETERINARY MEDICINE (CASE REPORTS REVIEW)

A.A. Volnin, N.S. Tsybulko, R.V. Yanko, A.I. Bokhan

Abstract

Background. Medicaments, based on ergoalkaloids (ergot alkaloids) play an important role in veterinary medicine.

This article is **devoted** to analysis of veterinary clinical cases and evaluation of actual results of application of prolactin inhibitors, dopamine agonists and uterotonics based on ergoalkaloids.

Materials. An analysis of clinical cases and an assessment of current results for usage of prolactin inhibitors, dopamine agonists and veterinary uterotonics based on ergoalkaloids were performed.

Results. In routine practice, dopamine agonists (cabergoline, metergoline, bromocryptine) can be used in cases of inhibition of unwanted lactation, termination of pregnancy in dogs and cats, treatment of anestrus and false pregnancy in dogs. Pergolide (a dopamine agonist) shows high efficiency in treatment of pituitary pars intermedia dysfunction in horses and ponies (Cushing's disease, PPID). Cabergoline demonstrate effectiveness for this pathology and for Cushing's disease in dogs.

In veterinary medicine of farm animals, uterotonic medicaments based on ergometrine maleate (ergonovine) and methylergometrine can be used to calving stimulation, prevent postpartum uterine bleeding, uterine prolapse, remove fluid from the atonic uterus and other pathologies and to alleviate performing surgical procedures. Ergometrine accelerates processes of uterine involution, reduces risks of developing postpartum pathologies, shortens timing for first postpartum estrus and induces early expulsion of placenta.

Cabergoline can be used for safe termination of lactation in inducing of dry period in high productive dairy cows. This approach helps to increase proliferation and remodeling of mammary gland tissue, reduce metabolic stress and prevents to development of mastitis and other intramammary infections in dry period and after calving.

Atypical clinical cases of cabergoline and methylergometrine usage include alternative (non-surgical) therapy methods of pyometra in dogs. However, conservative (surgical) methods for therapy of pyometra in dogs remain generally accepted

in veterinary practice, reports of alternative (medical) approaches require careful verification and further detailed studies.

In female cats used for breeding, medication therapy may be a solution to problems associated with pyometra, however, each case requires a careful analysis of individual clinical conditions for animals and an individual approach.

It has been reported that cabergoline can be used for treatment of cats with hypersomatotropism and diabetes mellitus. This approach has shown inconsistent results, probably, effectiveness appears to depend on severity and timing of disease.

Conclusion. Medications based on ergoalkaloids show high efficiency in some clinical cases of routine veterinary practice and several treatment protocols in farm animals.

Keywords: veterinary medicine; medications; ergot alkaloids; ergoalkaloids; cabergoline; pergolide; ergometrine; ergonovine; metergoline; bromocriptine; obstetrics; gynecology; Cushing's disease

For citation. Volnin A.A., Tsybulko N.S., Yanko R.V., Bokhan A.I. Ergoalkaloids-Derived Medicaments in the Practice of Veterinary Medicine (Case Reports Review). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 11-35. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1009

Введение

Спорынья – паразитарный гриб *Claviceps purpurea* (Fries) Tulasne – служит важным источником биологически активных веществ (алкалоидов) для производства лекарственных препаратов. Природные эргоалкалоиды (эргокриптин, эргометрин, эрготамин и др.), а также их полусинтетические производные (каберголин, метерголин, ницерголин и др.) используются в качестве фармацевтических средств в медицине [3-5; 109].

В России при участии ФГБНУ ВИЛАР разработан ряд лекарственных препаратов на основе алкалоидов спорыньи: абергин (α, β -эргокриптины), новокристин (дигидроэргокристин), беллатаминал (эрготамин), малеат эргометрина (эргометрин). Биооллекция ФГБНУ ВИЛАР включает пять штаммов паразитарной культуры спорыньи *Claviceps purpurea* (Fries) Tulasne (продуценты α , β -эргокриптинов, эрготамина, эрготоксина, эргокристина и эргокорнама) [3; 5].

Все эргоалкалоиды имеют общую структуру тетрациклической системы (эрголин), содержащей индольное ядро, в которой кольца А и В образуются из триптофана, а кольца С и D – в результате циклизации диметилаллилпиропфосфата и триптофана [3]. Фармакологический эффект эргоалкалоидов связывают с молекулярным сходством между их эрголиновым скелетом и моноаминовыми нейромедиаторами – адреналином, дофами-

ном, серотонином и высокой афинностью связывания с соответствующими рецепторами [3; 12; 109].

В сельском хозяйстве (в том числе – в животноводстве) алкалоиды спорыньи представляют серьезную проблему и рассматриваются как микотоксины [3; 30; 37], а метаболические эффекты воздействия эргоалкалоидов на организм животного достаточно хорошо изучены [3; 43].

Относительно недавно был представлен обзор, посвященный применению каберголина в ветеринарной гинекологии [123], в представленной работе мы постарались дополнить имеющиеся данные новыми результатами, более подробно осветить вопросы, связанные с сельскохозяйственными животными, рассмотреть другие эргоалкалоиды (в частности – эргометрин и перголид), привести примеры не-акушерского применения эргоалкалоидов в ветеринарии.

Целью данной работы был анализ клинических случаев и оценка актуальных результатов применения ингибиторов пролактина, агонистов дофамина и утеротоников ветеринарного назначения на основе эргоалкалоидов.

Агонисты дофамина в рутинной практике

Агонисты дофамина, такие как каберголин, бромкриптин или метерголин, представляют собой производные эргоалкалоидов, оказывающие антипролактинэргический эффект посредством стимуляции дофаминовых D2 рецепторов [49; 51]. Каберголин [123] и метерголин [15] (полусинтетические производные алкалоидов спорыньи) способны подавлять секрецию пролактина и снижать его концентрацию в плазме крови животных, в связи с этим могут применяться в ветеринарной практике [68; 123] и, как считается, обладают меньшими побочными эффектами по сравнению с бром- производным природного пептидного алкалоида эргокриптина – бромокриптином [59; 123]. Также для ветеринарных целей может применяться перголид [45; 48].

Дофаминергические антипролактиновые препараты, такие как каберголин или метерголин, способствуют прекращению лактации в случаях смерти новорожденных или мастита [24; 60; 119]. Однократная инъекционная доза каберголина (0,1 мл/кг) вызывает значительное снижение концентрации пролактина в сыворотке крови и значительное снижение количества молока у собак [94]. У кошек при развитии мастита или других патологий рекомендуется терминация лактации посредством каберголина [55; 111; 122]. Кроме того, каберголин, бромокриптин и метерголин могут применяться для прерывания беременности у кошек и собак [38].

Каберголин [94] и его сочетания с простагландином, его аналогами [40; 85; 87; 113; 119] или мифепрестомом [25] эффективны в прерывании беременности у собак [25; 85; 87; 113] и кошек [40; 65; 86]. Комбинация простагландина и каберголина (перорально в дозе 5 мкг/кг) показала хорошие результаты при прерывании беременности благодаря лютеолитическому и антипролактинемическому эффектам [113]. Каберголин отдельно и в комплексе вызывает снижение уровня прогестерона, однако более выраженный лютеолитический эффект достигается за счет использования вспомогательных препаратов [84; 113]. Экзогенный простагландин ($\text{PGF}_{2\alpha}$) действует на лютеиновую функцию, снижает прогестерон, а также влияет на активность миометрия, что потенциально может способствовать предотвращению осложнений при аборте [9; 121]. Показано, что комбинация каберголина и аглепристона не повышает эффективность прерывания беременности [6; 54; 105].

Каберголин также эффективен в индукции эструса у собак [26; 62; 70; 102; 118]. Введение каберголина (5 мкг/кг перорально, каждые 24 часа) безопасно и эффективно для лечения первичного и вторичного анэструса [51; 83]. Также может эффективно применяться в сочетании с гонадотропином [17]. При этом отмечается широкий диапазон дозировок каберголина, вызывающих стимулирующий эффект (0,6-5 мкг/кг) [123]. Для этого также может применяться бромокриптин [2]. Он способствует быстрому увеличению концентрации в крови фолликулостимулирующего гормона без одновременного увеличения уровня лютеинизирующего гормона [2; 69].

Псевдобеременность у собак метаболически во многом напоминает анэструс [88]. Каберголин [11; 14; 50; 110; 123], бромокриптин [10; 52; 67] и метерголин [52; 67] могут применяться при лечении псевдобеременности у собак [57; 81; 101; 123]. Каберголин показывает высокую эффективность и отсутствие побочных эффектов, применяемая дозировка каберголина составляет 5 мг/кг ежедневно в течение 5-10 дней [52; 67; 123], бромокриптина- 10-100 мкг/кг в сутки в течение 10-14 дней [52], метерголина- (0,2 мг/кг в сутки в течение 8 -10 дней [52]. Некоторые производные спорыньи-агонисты дофамина (например, бромокриптин [59]) могут вызывать неблагоприятные побочные эффекты, однако они носят временный характер и обычно поддаются лечению [52].

Дисфункция промежуточной части гипофиза (болезнь Кушинга, Pituitary Pars Intermedia Dysfunction, PPID), нейродегенеративное заболевание, приводящее к снижению выработки дофамина, является распространенным заболеванием у пожилых лошадей и пони [28; 35; 36; 77].

Лечение основано на использовании агониста дофамина перголида [48; 108; 115]. Перголид применяется с этой целью достаточно давно [31; 82; 92; 99], однако, исследования в этой области продолжают сохранять актуальность и в настоящее время [56; 63]. Перголид применяют, преимущественно, перорально, дозировка может варьироваться (например – 2 мг/кг [114] – 3 мг/кг [32,45] – 4 мг/кг [96].

Перголид эффективно снижает концентрацию адренокортикотропина в плазме крови у старых лошадей с дисфункцией промежуточной части гипофиза, при этом фармакокинетические свойства аналогичны таковым у молодых лошадей [76]. Приблизительный конечный период полувыведения может варьироваться от 6 [97] до 24 часов [76]. Более частое дозирование может уменьшить колебания концентраций перголида и адренокортикотропина, что может иметь значение при наблюдении за пациентами [96]. Исходный уровень адренокортикотропина у лошадей улучшается в течение 100 дней лечения перголидом. В 88% всех случаев наблюдается снижение ответа на тиреотропин-рилизинг-гормон после лечения [34].

Каберголин тоже способен демонстрировать эффективность при монотерапии болезни Кушинга у лошади (2 мг перорально каждые 24 часа, в течение 3 месяцев) [53]. Каберголин также эффективен у 42,5% собак с гипофизарно-зависимым гиперадренокортицизмом (болезнь Кушинга), что оправдывает его использование в качестве лечения [23].

Сельскохозяйственные животные

Эргометрин (эргоновин) и метилэргометрин – два алкалоида, которые используются в медицине в виде солей малеата для профилактики и контроля послеродовых кровотечений [79]. Утеротонические эффекты эргометрина связывают с его влиянием на α -адренергические рецепторы [41].

Достаточно давно предполагалось, что послеродовое введение 1-3 мг эргоновина или других продуктов спорыньи вызывает у коров более длительную частоту сокращений матки, чем окситоцин [7; 98]. У буйволов метилэргометрин малеат вызывает стойкое и продолжительное сокращение эндометрия, которое длится 3-4 часа, с последующим постепенным расслаблением в течение 1,5 часов [7; 33].

Эргометрина малеат может быть использован в ветеринарии для предотвращения послеродовых маточных кровотечений, пролапса матки, удаления жидкости из атонической матки и других патологических состояний, а также для облегчения проведения хирургических процедур.

Для коров и кобыл применяется внутривенно либо внутримышечно в дозировке 2-5 мг на животное, для овец, коз и свиноматок – внутримышечно в дозировке от 0,5 до 1 мг на животное [27].

Использование эргометрина безопасно и эффективно для индукции родов у коров (500 мкг эргометрина внутримышечно стимулировали роды у 70% обработанных животных) [8]. Быстрый процесс послеродовой инволюции матки с последующим ранним началом циклической активности яичников имеет первостепенное значение для достижения непрерывного интенсивного воспроизводства коров. Применение внутримышечно 5 мг метилэргометрина малеата на второй день после родов повышает эффективность оплодотворения за счет улучшения инволюции матки, однако эффект выражен слабее по сравнению с препаратами простагландина и окситоцина [7]. Показано усиление инволюции матки у буйволов вследствие длительного действия метилэргометрина малеата [7; 95]. Метилэргометрина малеат у отелившихся коров (5 мг внутримышечно [90], 0,2 мг/мл, внутримышечно по 10 мл [74] либо 2 мг, внутримышечно 1 раз в день [75]) ускоряет процесс инволюции матки, сокращает сроки наступления первой послеродовой течки и индуцирует раннее изгнание плодных оболочек [74; 75; 90].

Высокопродуктивным молочным коровам необходим сухостойный период между лактациями для того, чтобы обеспечить высокие надои. Внутримышечное однократное введение каберголина высокопродуктивным коровам (доза 5,6 мг) надежно и безопасно ингибирует лактацию при переходе к сухостойному периоду [13; 16]. Применение каберголина способствует инволюции молочной железы и положительно влияет на здоровье молочных желез в сухостойный период, снижает факторы риска и повышает продуктивное благополучие животных [13; 16; 18-22; 123].

Ингибирование пролактина каберголином при индукции сухостойного периода вызывает повышенную пролиферацию и ремоделирование ткани молочной железы [89], а также снижение метаболического стресса и снижение риска развития мастита в сухостойный период [72]. Каберголин усиливает ремоделирование внеклеточного матрикса молочной железы [18; 21; 71]. Изменения, наблюдаемые в содержании лактозы, лактоферрина, соотношении лактоферрина к цитрату и содержании жира в секрете молочной железы, а также экспрессия гена переносчика глюкозы (GLUT-1), указывают на то, что применение каберголина ускоряет инволюцию молочной железы. [19; 20; 22; 71]. У коров, получавших каберголин (5,6 мг внутримышечно), значительно снизились риски развития интрамаммар-

ных инфекций, вызываемых основными патогенами, в сухостойный период и после отела, однако это не до конца решает проблему «подтекания» молока [61; 120].

Каберголин может быть применен овцам в период отъема ягнят с целью быстрой остановки лактации и, как следствие, профилактики мастита, внутримышечно однократно в дозе 2 мл на голову [1].

Метаболическая и минеральная гомеостатическая регуляция может нарушаться после инъекции каберголина [58]. Тем не менее, результаты исследований показывают, что побочные эффекты от применения каберголина незначительны по сравнению с преимуществами: введение каберголина коровам после последнего доения вызывает снижение показателей пищевого поведения, продолжающееся примерно 24 часа [46; 47; 73]. При этом показано, что бромокриптин не оказывает негативного влияния на пути синтеза мышечных белков в организме крупного рогатого скота [43].

Нетипичные клинические случаи

Хирургический подход является традиционным протоколом при лечении пиометры у собак и кошек, а ранняя стерилизация – основным методом профилактики [59; 64; 103], однако описаны случаи применения каберголина для медикаментозного лечения пиометры [64; 103; 123], а также кистозной гиперплазии эндометрия [123]. В частности, отмечается возможность применения комбинации каберголина и клопростенола (простагландина) [39].

Агонисты дофамина могут применяться при терапии пиометры у кошек. Каберголин связан с небольшим количеством побочных эффектов или вообще их отсутствием и требует приема только один раз в день, тогда как бромкриптин имеет ряд побочных эффектов, включая рвоту, анорексию, депрессию и некоторые поведенческие изменения, а также требует приема два-три раза в день. Рекомендуемая доза каберголина составляет 5 мкг/кг перорально каждые 24 часа; доза бромокриптина составляет 10–25 мкг/кг перорально каждые 8 часов [59]. У кошек, используемых для разведения, медикаментозная терапия может быть решением проблем, связанных с развитием пиометры, однако каждый случай требует тщательного анализа клинического состояния животного и индивидуального подхода [59].

Утверждается, что метилэргометрин в сочетании с мифепристоном вместе с поддерживающей терапией может использоваться для лечения открытой пиометры шейки матки у собак без каких-либо побочных эффектов [66]. Лечение пиометры у собак с использованием комбинации блокатора

рецепторов прогестерона (мифепристона) и антипролактина (каберголина) вместе с поддерживающей терапией рассматривается как альтернативный вариант по сравнению с традиционной овариогистерэктомией [103]. Каберголин применялся перорально в дозе 5 мкг/кг при медикаментозном лечении пиометры у собак без применения блокатора прогестерона, при этом наблюдались рецидивы в 49% случаев [111]. Тем не менее, консервативные (хирургические) методы лечения пиометры у собак остаются общепринятыми в ветеринарной практике, сообщения об альтернативных (медикаментозных) подходах требуют тщательного анализа и дальнейших детальных исследований.

Сообщалось, что каберголин может применяться при лечении кошек с гиперсоматотропизмом и сахарным диабетом [42; 55; 106; 112]. Однако, эффективность такого подхода можно считать дискуссионным вопросом, т.к. представлены противоречивые данные в отношении каберголина при данных патологиях [29; 80; 107]. Эффективность, по всей видимости, зависит от тяжести течения и сроков заболевания [29; 80; 107]. Каберголин может быть вариантом лечения кошек с гиперсоматотропизмом и сахарным диабетом [29,80], особенно в случаях с относительно небольшой опухолью гипофиза [80]. Каберголин эффективен в нормализации концентрации инсулиноподобного фактора роста у 26% кошек. Каберголин улучшает контроль диабета и связан с ремиссией сахарного диабета в 35% случаев [80]. Показано, что каберголин можно использовать для терапии акромегалии у кошек с сахарным диабетом. Лечение каберголином успешно снизило концентрацию инсулиноподобного фактора роста-1 и все признаки резистентности к инсулину [112].

Отмечены случаи применения каберголина при лечении фиброэпителиальной гиперплазии молочных желез у кошек [116; 123]. Результаты были получены при комбинированном применении аглепристона в комплексе с каберголином (в дозе 5 мкг/кг один раз в день перорально, в первую неделю [116; 123]). Тем не менее, польза каберголина и бромокриптина в лечении фиброэпителиальной гиперплазии молочной железы у кошек остается неопределенной, поскольку вклад пролактина в патогенез при данной патологии не описан [91]. Однако такие препараты могут быть полезны при необходимости прекращения лактации в случаях развития фиброэпителиальной гиперплазии молочной железы у кормящих животных [91; 117].

Эрготамин, эрговалин и эргометрин могут использоваться для моделирования микотоксикозов у крупного рогатого скота и овец [44; 78; 93]. При

этом, Эрготамин демонстрирует противовоспалительные эффекты в организме бычков [44]. Эрготамин вызывает избирательную вазоконстрикцию в сосудистом русле сонных артерий у собак и сужает артерио- венозные анастомозы у кошек и свиней [104].

Заключение

Лекарственные препараты на основе эргоалкалоидов (алкалоиды спорыньи) находят широкое применение в ветеринарной медицине. Препараты на основе эргоалкалоидов показывают высокую эффективность в некоторых клинических случаях рутинной ветеринарной практики и схемах лечения сельскохозяйственных животных.

В представленной работе был проведен анализ клинических случаев и оценка актуальных результатов применения ингибиторов пролактина, агонистов дофамина и утеротоников ветеринарного назначения на основе эргоалкалоидов. Мы подробно осветили вопросы, связанные с сельскохозяйственными и несельскохозяйственными домашними животными, рассмотрели различные эргоалкалоиды (каберголин, бромокриптин, метерголин, эргометрин и перголид), привели примеры не-акушерского применения эргоалкалоидов в ветеринарии.

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

Благодарность. Исследования проводились в рамках работ с биообъектами уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР». Работа выполнена в рамках темы НИР ФГБНУ ВИЛАР «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения» (FGUU-2022-0014).

Список литературы / References

1. Dmitrieva T.O. Prevention of mastitis in sheep of the katumsk breed after weaning of lambs. *Ovcy, kozy, šerstânoe delo*, 2018, no. 4, pp. 60-61.
2. Erokhin A.S. Methods of estrus induction in dogs. *Veterinariya*, 2016, no. 4, pp. 32-36.
3. Volnin A.A., Savin P.S. Ergot *Claviceps purpurea* (Fries) Tulasne alkaloid diversity and virulence: evolution, genetic diversification and metabolic engineering (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2022, vol. 57, no. 5, pp. 852-881. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.852rus>

4. Volnin A.A., Tsybulko N.S., Savin P.S., Myasnikova S.B. Bobyleva R.J. Bio-collection of pharmaceutical parasitic strains of *Claviceps purpurea* - base for selection of new lines producing ergoalkaloids *in vitro*. *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*, 2023, vol. 26, no. 8, pp. 22-31. <https://doi.org/10.29296/25877313-2023-08-03>
5. Volnin A.A., Tsybulko N.S., Savin P.S., Myasnikova S.B. Express-methods for selective and nonselective determination of indole alkaloids. *Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*, 2022, no. 12-1, pp. 117-126. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202212115>
6. Agaoglu A.R., Schäfer-Somi S., Kaya D., Kucukaslan I., Emre B., Gultiken N., Mulazımoğlu B.S., Colak A., Aslan S. The intravaginal application of misoprostol improves induction of abortion with aglepristone. *Theriogenology*, 2011, vol. 76, no. 1, pp. 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2011.01.019>
7. Alagar S., Selvaraju M., Ezakial Napoleon R. Conception rate in postpartum cow using CIDR along with uterine ecbolics. *Explor Anim Med Res*, 2018, vol. 8, no. 1, pp. 90-93.
8. Al-Hamedawi T.M., Al-Timimi I.H., Al-Yasiri E.A. Induction of parturition in Iraqi cows by using ergometrine, dexamethasone and estrumate. *Proceeding of the Eleventh Veterinary Scientific Conference*, 2012, pp. 244-247.
9. Alkan K.K., Alkan H., Tez G., Kanca H. Aglepristone and cloprostenol combination in the termination of late-term pregnancy in queens. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 2020, vol. 22, no. 10, pp. 907-915. <https://doi.org/10.1177/1098612X19892087>
10. Allen W.E. Pseudopregnancy in the bitch: the current view on aetiology and treatment. *Journal of Small Animal Practice*, 1986, no. 27, pp. 419-424. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1986.tb03959.x>
11. Arbeiter K., Brass W., Ballabio R., Jöchle W. Treatment of pseudopregnancy in the bitch with cabergoline, an ergoline derivative. *Journal of Small Animal Practice*, 1988, no. 29, pp. 781-788. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1988.tb01904.x>
12. Arroyo-Manzanares N., Gámiz-Gracia L., García-Campaña A.M., Di Mavungu D., De Saeger J.S. Ergot alkaloids: chemistry, biosynthesis, bioactivity, and methods of analysis. In: Mérillon, J.M., Ramawat, K. (eds) *Fungal Metabolites. Reference Series in Phytochemistry*. Springer, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19456-1_1-1
13. Bach A., De-Prado A., Aris A. The effects of cabergoline administration at dry-off of lactating cows on udder engorgement, milk leakages, and lying behav-

- ior. *J. Dairy Sci.*, 2015, vol. 98, no. 10, pp. 7097-7101. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9751>
14. Baştan A., Findik M., Erunal N., et al. The use of cabergoline for treatment of pseudopregnancy in dogs with the purpose of suppressing lactation. *Reprod Domest Anim.*, 1998, vol. 33, no. 2, pp. 49-53. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1998.tb01314.x>
 15. Beijerink N.J., Kooistra H.S., Dieleman S.J., Okkens A.C. Serotonin antagonist-induced lowering of prolactin secretion does not affect the pattern of pulsatile secretion of follicle stimulating hormone and luteinizing hormone in the bitch. *Reproduction*, 2004, vol. 128, pp. 181-188. <https://doi.org/10.1530/rep.1.00117>
 16. Bertulat S., Isaka N., de Prado A., Lopez A., Hetreau T., Heuwieser W. Effect of a single injection of cabergoline at dry off on udder characteristics in high-yielding dairy cows. *J Dairy Sci.*, 2017, vol. 100, no. 4, pp. 3220-3232. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10220>
 17. Bolghanabadi M., Salari Sedigh H., Mirshokraei P., Rajabioun M. Simultaneously administration of cabergoline and PMSG reduces the duration of estrus induction in anestrus bitches. *Vet Res Forum.*, 2023, vol. 14, no. 12, pp. 665-671. <https://doi.org/10.30466/vrf.2023.1999602.3843>
 18. Boutinaud M., Isaka N., Deflandre A., Gandemer E., Marnet P.G., Dessauge F., Lollivier V. Prolactin-inhibitor cabergoline enhanced the mammary remodeling during drying-off in dairy cows. ADSAASAS Joint Annual Meeting, Jul. 2013, Indianapolis, United States. *Journal of Animal Science*, 2013, vol. 91, no. 2, p. 151.
 19. Boutinaud M., Isaka N., Deflandre A., Gandemer E., Marnet P.G., Dessauge F., Lollivier V. Prolactin-inhibitor cabergoline hastened the mammary involution during drying-off in dairy cows. ADSA-ASAS Joint Annual Meeting, Jul. 2013, Indianapolis, United States. *Journal of Animal Science*, 2013, vol. 91, no. 2, p. 324.
 20. Boutinaud M., Isaka N., Deflandre A., Wiart S., Lamberton P., De Prado Taranilla L.A., Lollivier V. Dry-off facilitator cabergoline hastened the GLUT-1 decrease and lactoferrin increase in the mammary tissue during drying-off in dairy cows. ADSA-ASAS Joint Annual Meeting, Jul. 2015, Orlando, United States. *Journal of Dairy Science*, 2015, vol. 98, no. 2, p. 406.
 21. Boutinaud M., Isaka N., Gandemer E., Lamberton P., Wiart S., Taranilla A.I.P., Sordillo L.M., Lollivier V. Inhibiting prolactin by cabergoline accelerates mammary gland remodeling during the early dry period in dairy cows. *J Dairy Sci.*, 2017, vol. 100, vol. 12, pp. 9787-9798. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12783>

22. Boutinaud M., Isaka N., Lollivier V., Dessauge F., Gandemer E., Lamberton P., De Prado Taranilla A.I., Deflandre A., Sordillo L.M. Cabergoline inhibits prolactin secretion and accelerates involution in dairy cows after dry-off. *J Dairy Sci.*, 2016, vol. 99, no. 7, pp. 5707-5718. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10782>
23. Castillo V.A., Gómez N.V., Lalia J.C., Blatter M.F.C., García J.D. Cushing's disease in dogs: Cabergoline treatment. *Research in Veterinary Science*, 2008, vol. 85, no. 1, pp. 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2007.08.009>
24. Chastant S. Lactation in domestic carnivores. *Anim Front.*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 78-83. <https://doi.org/10.1093/af/vfad027>
25. Chaudhari R.K., Sutaria T.V., Chaudhari C.F., Nakhashi H.C., Suthar B.N. Effect of mifepristone and cabergoline in the termination of pregnancy in bitches. *The Indian Journal of Animal Reproduction*, 2020, vol. 41, no. 1, pp. 56-57.
26. Cirit U., Bacinoglu S., Tas M., Alkan S. Use of a decreased dose of cabergoline to treat secondary anoestrus in bitches. *Bull Vet Inst Pulawy.*, 2007, vol. 51, no. 1, pp. 43-46.
27. Committee for veterinary medicinal products. Ergometrine maleate. Summary report. The European Agency for the Evaluation of Medicinal products, Veterinary Medicinal Evaluation Unit, 1999.
28. Copas V.E.N., Durham A.E. Circannual variation in plasma adrenocorticotrophic hormone concentrations in the UK in normal horses and ponies, and those with pituitary pars intermedia dysfunction. *Equine Veterinary Journal*, 2012, vol. 44, pp. 440-443. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2011.00444.x>
29. Corsini A., Niessen S.J.M., Miceli D.D., Caney S., Zeugswetter F.K., Sieber-Ruckstuhl N.S., Arenas C., Fleeman L.M., O Leal R., Battellino M., Fracassi F. Quality of life and response to treatment in cats with hypersomatotropism: the owners' point of view. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 2022, vol. 24, no. 8, pp. e175-e182. <https://doi.org/10.1177/1098612X221098718>
30. Coufal-Majewski S., Stanford K., McAllister T., Blakley B., McKinnon J., Chaves A.V., Wang Y. Impacts of cereal ergot in food animal production. *Front. Vet. Sci.*, 2016, vol. 3, p. 15. <https://doi.org/10.3389/fvets.2016.00015>
31. Donaldson M.T., Jorgensen A.J.R., Beech J. Evaluation of suspected pituitary pars intermedia dysfunction in horses with laminitis. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 2004, vol. 224, no. 7, pp. 1123-1127. <https://doi.org/10.2460/javma.2004.224.1123>
32. Donaldson M.T., LaMonte B.H., Morresey P., Smith G., Beech J. Treatment with pergolide or cyproheptadine of pituitary pars intermedia dysfunction (equine Cushing's disease). *J Vet Intern Med*, 2002, vol. 16, no. 6, pp. 742-746. [https://doi.org/10.1892/0891-6640\(2002\)016<0742](https://doi.org/10.1892/0891-6640(2002)016<0742)

33. Drost M. Clinical uses of hormones. In Society for Theriogenology, Cow Manual, 1987, pp. 73-80.
34. Durham A.E. The effect of pergolide mesylate on adrenocorticotrophic hormone responses to exogenous thyrotropin releasing hormone in horses. *The Veterinary Journal*, 2022, vol. 285, p. 105831. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2022.105831>
35. Durham A.E., Clarke B.R., Potier J.F.N., Hammarstrand R., Malone G.L. Clinically and temporally specific diagnostic thresholds for plasma ACTH in the horse. *Equine Vet J*, 2021, vol. 53, no. 2, pp. 250-260. <https://doi.org/10.1111/evj.13292>
36. Durham A.E., McGowan C.M., Fey K., Tamzali Y., van der Kolk J.H. Diagnosis and treatment of PPID. *Equine Veterinary Education*, 2014, vol. 26, pp. 216-223. <https://doi.org/10.1111/eve.12160>
37. EFSA CONTAM Panel (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain), Schrenk D., Bignami M., Bodin L., Chipman J. K., del Mazo J., Grasl-Kraupp B., Hogstrand C., Leblanc J.-C., Nebbia C. S., Nielsen E., Ntzani E., Petersen A., Sand S., Schwerdtle T., Vleminckx C., Wallace H., Gropp J., Mulder P., Oswald I. P., Woutersen R., Ruiz JÁG, Rovesti E., Hoogenboom L.R. Risks for animal health related to the presence of ergot alkaloids in feed. *EFSA Journal*, 2024, vol. 22, no. 1, p. e8496. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8496>
38. Eilts B.E. Pregnancy termination in the bitch and queen. *Clin Tech Small Anim Pract.*, 2002, vol. 17, no. 3, pp. 116-123. <https://doi.org/10.1053/svms.2002.34325>
39. England G.C., Freeman S.L., Russo M. Treatment of spontaneous pyometra in 22 bitches with a combination of cabergoline and cloprostenol. *Vet Rec*, 2007, vol. 160, no. 9, pp. 293-296. <https://doi.org/10.1136/vr.160.9.293>
40. Erünal-Maral N., Aslan S., Findik M., Yüksel N., Handler J., Arbeiter K. Induction of abortion in queens by administration of cabergoline (Galastop™) solely or in combination with the PGF2α analogue Alfaprostol (Gabbrostim™). *Theriogenology*, 2004, vol. 61, no. 7-8, pp. 1471-1475. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2003.08.014>
41. Fanning R.A., Sheehan F., Leyden C., Duffy N., Iglesias-Martinez L.F., Carey M.F., Campion D.P., O'Connor J.J. A role for adrenergic receptors in the uterotonetic effects of ergometrine in isolated human term nonlaboring myometrium. *Anesth Analg.*, 2017, vol. 124, no. 5, pp. 1581-1588. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001765>
42. Fenn J., Kenny P.J., Scudder C.J., Hazuchova K., Gostelow R., Fowkes R.C., Forcada Y., Church D.B., Niessen S.J.M. Efficacy of hypophysectomy for the

- treatment of hypersomatotropism-induced diabetes mellitus in 68 cats. *J Vet Intern Med*, 2021, vol. 35, no. 2, pp. 823–833. <https://doi.org/10.1111/jvim.16080>
43. Ferguson T.D., Loos C.M.M., Vanzant E.S., Urschel K.L., Klotz J.L., McLeod K.R. Impact of ergot alkaloid and steroidal implant on whole-body protein turnover and expression of mTOR pathway proteins in muscle of cattle. *Front. Vet. Sci.*, 2023, vol. 10, p. 1104361. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1104361>
44. Filipov N.M., Thompson F.N., Stuedemann J.A., Elsasser T.H., Kahl S., Stanker L.H., Young C.R., Dawe D.L., Smith C.K. Anti-inflammatory effects of ergotamine in steers. *Proc Soc Exp Biol Med.*, 2000, vol. 225, no. 2, pp. 136-142. <https://doi.org/10.1046/j.1525-1373.2000.22517.x>
45. Fortin J.S., Benskey M.J., Lookingland K.J., Patterson J.S., Howey E.B., Goudreau J.L., Schott H.C. II Restoring pars intermedia dopamine concentrations and tyrosine hydroxylase expression levels with pergolide: evidence from horses with pituitary pars intermedia dysfunction. *BMC Vet Res*, 2020, vol. 16, no. 1, p. 356. <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02565-3>
46. Franchi G.A., Herskin M.S., Tucker C.B., Larsen M., Jensen M.B. Assessing effects of dietary and milking frequency changes and injection of cabergoline during dry-off on hunger in dairy cows using 2 feed-thwarting tests. *Journal of Dairy Science*, 2021, vol. 104, no. 9, pp. 10203-10216. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20046>
47. Franchi G.A., Larsen M.L.V., Herskin M.S., Foldager L., Larsen M., Jensen M.B. Effects of changes in diet energy density and milking frequency and a single injection of cabergoline at dry-off on feeding behavior and rumination time in dairy cows. *JDS Commun.*, 2022, vol. 3, no. 3, pp. 195-200. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0162>
48. Gehlen H., Fisch J., Merle R., Trachsel D.S. Preliminary study on the effects of pergolide on left ventricular function in the horses with pituitary pars intermedia dysfunction. *J Vet Sci*, 2021, vol. 22, no. 5, p. e64. <https://doi.org/10.4142/jvs.2021.22.e64>
49. Gobello C. Dopamine agonists, anti-progestins, anti-androgens, long-term-release GnRH agonists and anti-estrogens in canine reproduction: A review. *Theriogenology*, 2006, vol. 66, no. 6-7, pp. 1560-1567. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.02.005>
50. Gobello C. Revisiting canine pseudocyesis. *Theriogenology*, 2021, no. 167, pp. 94-98. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2021.03.014>
51. Gobello C., Castex G., Corrada Y. Use of cabergoline to treat primary and secondary anestrus in dogs. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 2002, vol. 220, no. 11, pp. 1653-1654. <https://doi.org/10.2460/javma.2002.220.1653>

52. Gobello C., de la Sota R.L., Goya R.G. A review of canine pseudocyesis. *Reprod Domest Anim*, 2001, vol. 36, no. 6, pp. 283-288. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0531.2001.00322.x>
53. Godoy A.F., De la Fuente C.I. Cabergoline monotherapy in a chilean creole horse with pituitary pars intermedia dysfunction (Cushing's disease): A Case Report. *Clin. Res. AnimSci*, 2022, vol. 2, no. 3, p. 000536. <https://doi.org/10.31031/CRAS.2022.02.000536>
54. Gogny A., Fiéni F. Aglepristone: A review on its clinical use in animals. *Theriogenology*, 2016, vol. 85, no. 4, pp. 555-566. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.10.010>
55. Gostelow R., Scudder C., Keyte S., Forcada Y., Fowkes R.C., Schmid H.A., Church D.B., Niessen S.J. Pasireotide long-acting release treatment for diabetic cats with underlying hypersomatotropism. *J Vet Intern Med*, 2017, vol. 31, no. 2, pp. 355-364. <https://doi.org/10.1111/jvim.14662>
56. Hague N., Durham A.E., Menzies-Gow N.J. Pergolide dosing compliance and factors affecting the laboratory control of equine pituitary pars intermedia dysfunction. *Veterinary Record*, 2021, no. 189, p. e142. <https://doi.org/10.1002/vetr.142>
57. Harvey M.J., Cauvin A., Dale M., Lindley S., Ballabio R. Effect and mechanisms of the anti-prolactin drug cabergoline on pseudopregnancy in the bitch. *J Small Anim Pract.*, 1997, vol. 38, no. 8, pp. 336-339. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1997.tb03480.x>
58. Hernández-Castellano L.E., Sørensen M.T., Foldager L., Herskin M.S., Gross J.J., Bruckmaier R.M., Larsen M. Effects of feeding level, milking frequency, and single injection of cabergoline on blood metabolites, hormones, and minerals around dry-off in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2023, vol. 106, no. 4, p. 2919-2932. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22648>
59. Hollinshead F., Krekeler N. Pyometra in the queen: To spay or not to spay? *J Feline Med Surg*, 2016, vol. 18, no. 1, pp. 21-33. <https://doi.org/10.1177/1098612X15623114>
60. Holst B.S. Feline breeding and pregnancy management: What is normal and when to intervene. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 2022, vol. 24, no. 3, pp. 221-231. <https://doi.org/10.1177/1098612X221079708>
61. Hop G.E., de Prado-Taranilla A.I., Isaka N., Ocak M., Bertet J., Supre K., Velthuis A., Schukken Y.H., Deflandre A. Efficacy of cabergoline in a double-blind randomized clinical trial on milk leakage reduction at drying-off and new intramammary infections across the dry period and postcalving. *Journal of Dairy Science*, 2019, vol. 102, no. 12, pp. 11670-11680. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16281>

62. Ohtaki T., Fujiwara H., Watanabe G., Ono M., Taya K., Tsumagari S. Changes in luteinizing hormone pulse frequency and prolactin levels in bitches in response to estrus induction by cabergoline-its cases where it is delayed to induce estrus. *J. Vet. Med. Sci.*, 2020, vol. 82, no. 12, pp. 1773–1780. <https://doi.org/10.1292/jvms.19-0397>
63. Ireland J.L., McGowan C.M. Epidemiology of pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic literature review of clinical presentation, disease prevalence and risk factors. *The Veterinary Journal*, 2018, vol. 235, pp. 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.03.002>
64. Jena B., Rao K.S., Reddy K.C.S., Raghavender K.B.P. Comparative efficacy of various therapeutic protocols in the treatment of pyometra in bitches. *Vet Med*, 2013, vol. 58, no. 5, pp. 271-276. <https://doi.org/10.17221/6809-VETMED>
65. Jöchle W., Jöchle M. Reproduction in a feral cat population and its control with a prolactin inhibitor, cabergoline. *J Reprod Fert*, 1993, no. 47, pp. 419–424.
66. Keshavprasad P.R., Ravikumar K., Senthilkumar K., Kathirvel S., Gopikrishnan D., Ganesan A., Selvaraju M., Ezakial Napoleon R. Effect of methylergometrine maleate and mifepristone on uterine biometry and haemato-biochemical changes in canine open cervix pyometra. *The Pharma Innovation Journal*, 2023, vol. 12, no. 1, pp. 1681-1684.
67. Kipjen Singh L., Bhimte A., Pipelu W., Mishra G.K., Patra M.K. Canine pseudopregnancy and its treatment strategies. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2018, vol. 6, no. 3, pp. 1076-1078
68. Koch A., Hoppen H.O., Dieleman S.J., Kooistra H.S., Günzel-Apel A.R. Effects of the dopamine agonist cabergoline on the pulsatile and TRH-induced secretion of prolactin, LH, and testosterone in male beagle dogs. *Theriogenology*, 2006, vol. 65, no. 8, pp. 1666-1677. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.09.013>
69. Kooistra H.S., Okkens A.C., Bevers M.M. et al. Bromocriptine induced premature oestrus is associated with changes in the pulsatile secretion pattern of folliclestimulating hormone in beagle bitches. *J. Reprod. Fertil*, 1999, vol. 117, no. 2, pp. 387-393. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1170387>
70. Kutzler M.A. Estrus induction and synchronization in canids and felids. *Theriogenology*, 2007, vol. 68, no. 3, p. 354374. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.014>
71. Lacasse P., Ollier S., Lollivier V., Boutinaud M. New insights into the importance of prolactin in dairy ruminants. *J. Dairy Sci.*, 2016, vol. 99, no. 1, pp. 864-874. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10035>

72. Lacasse P., Zhao X., Vanacker N., Boutinaud M. Review: Inhibition of prolactin as a management tool in dairy husbandry. *animal*, 2019, vol. 13, no. S1, pp. s35-s41. <https://doi.org/10.1017/S1751731118003312>
73. Larsen M., Franchi G.A., Herskin M.S., Foldager L., Larsen M.L.V., Hernández-Castellano L.E., Sørensen M.T., Jensen M.B. Effects of feeding level, milking frequency, and single injection of cabergoline on feed intake, milk yield, milk leakage, and clinical udder characteristics during dry-off in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2021, vol. 104, no. 10, pp. 11108-11125. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20289>
74. Madhwal D., Sharma M., Painuly B., Revathy, Kumar H. Effect of methyl ergometrine maleate on expulsion of fetal membrane in crossbred cows. *Veterinary Research International*, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 241-243.
75. Madhwal D., Sharma M., Patra M.K. Ultrasonography vs. per rectal examination for uterine involution in methyl ergometrine and other supplements treated crossbred cows. *The Indian journal of veterinary sciences and biotechnology*, 2021, vol. 17, no. 2, pp. 52-57. <https://doi.org/10.21887/ijvsbt.17.2.10>
76. McFarlane D., Banse H., Knych H.K., Maxwell L.K. Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of pergolide mesylate following long-term administration to horses with pituitary pars intermedia dysfunction. *J Vet Pharmacol Ther*, 2017, vol. 40, no. 2, pp. 158-164. <https://doi.org/10.1111/jvp.12339>
77. McGowan T.W., Pinchbeck G.P., McGowan C.M. Prevalence, risk factors and clinical signs predictive for equine pituitary pars intermedia dysfunction in aged horses. *Equine Veterinary Journal*, 2013, vol. 45, pp. 74-79. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00578.x>
78. McLeay L.M., Smith B.L. Effects of ergotamine and ergovaline on the electromyographic activity of smooth muscle of the reticulum and rumen of sheep. *American Journal of Veterinary Research*, 2006, vol. 67, no. 4, pp. 707-714. <https://doi.org/10.2460/ajvr.67.4.707>
79. Meneghetti F., Ferraboschi P., Grisenti P., Reza Elahi S., Mori M., Ciceri S. Crystallographic and NMR investigation of ergometrine and methylergometrine, two alkaloids from *Claviceps purpurea*. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 2, p. 331. <https://doi.org/10.3390/molecules25020331>
80. Miceli D.D., García J.D., Pompili G.A., Rey Amunategui J.P., Ferraris S., Pignataro O.P., Guitelman M. Cabergoline treatment in cats with diabetes mellitus and hypersomatotropism. *J Feline Med Surg*, 2022, vol. 24, no. 12, pp. 1238-1244. <https://doi.org/10.1177/1098612X221074924>
81. Mir F., Fontfauonne A. Management of pseudopregnancy lactation refractory to medical treatment in bitches. *Point Veterinaire*, 2013, vol. 44, no. 334, pp. 6-9.

82. Muñoz M.C., Doreste F., Ferrer O., González J., Montoya J.A. Pergolide treatment for Cushing's syndrome in a horse. *Veterinary Record*, 1996, vol. 139, pp. 41-43. <https://doi.org/10.1136/vr.139.2.41>
83. Nak D., Nak Y., Simsek G. Comparison of the use of cabergoline and gonadotrophin to treat primary and secondary anoestrus in bitches. *Aust Vet J.*, 2012, vol. 90, no. 5, p. 194196. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2012.00913.x>
84. Onclin K., Silva L.D.M., Donnay I, et al. Luteotrophic action of prolactin in dogs and the effects of a dopamine agonist, cabergoline. *J Reprod Fertil*, 1993, no. 47, pp. 403–409.
85. Onclin K., Silva L.D.M., Verstegen J.P., Termination of unwanted pregnancy in dogs with the dopamine agonist, cabergoline, in combination with a synthetic analog of PGF2alpha, either cloprostenol or alphaprostol. *Theriogenology*, 1995, vol. 43, no. 4, pp. 813-822. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(95\)00024-3](https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00024-3)
86. Onclin K., Verstegen J. Termination of pregnancy in cats using a combination of cabergoline, a new dopamine agonist, and a synthetic PGF2 alpha, cloprostenol. *J Reprod Fert*, 1997, no. 51, pp. 259-263.
87. Onclin K., Verstegen J.P. Practical use of a combination of a dopamine agonist and a synthetic prostaglandin analogue to terminate unwanted pregnancy in dogs. *J Small Anim Pract.*, 1996, vol. 37, no. 5, pp. 211-216. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1996.tb01770.x>
88. Ottka C., Vapalahti K., Arlt S.P., Bartel A., Lohi H. The metabolic differences of anestrus, heat, pregnancy, pseudopregnancy, and lactation in 800 female dogs. *Front. Vet. Sci.*, 2023, vol. 10, p. 1105113. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1105113>
89. Parés S., Arís A., Terré M., Fàbregas F., Garcia-Fruitós E., Ruberte J., Nacher V., De-Prado A., Bach A., Effects of inhibiting prolactin production with cabergoline on the physiology of the cow-dry period. *Journal of Animal Science*, 2016, vol. 94, no. 5, p. 74. <https://doi.org/10.2527/jam2016-0154>
90. Patel R.V., Khasatiya C.T., Chaudhary J.H., Parmar S.C., Chaudhary J.K. Therapeutic efficacy of methylergometrine maleate during puerperal period in cows. *Intas Polivet*, 2014, vol. 15, no. 2, pp. 373-375.
91. Payan-Carreira R. Feline mammary fibroepithelial hyperplasia: a clinical approach. In *Insights from Veterinary Medicine* Edited by Rita Payan-Carreira. IntechOpen, 2013. <https://doi.org/10.5772/55550>
92. Perkins G.A., Lamb S., Erb H.N., Schanbacher B., Nydam D.V., Divers T.J. Plasma adrenocorticotropin (ACTH) concentrations and clinical response in horses treated for equine Cushing's disease with cyproheptadine or pergolide. *Equine Veterinary Journal*, 2002, vol. 34, pp. 679-685. <https://doi.org/10.2746/042516402776250333>

93. Poole D.P., Littler R.A., Smith B.L., McLeay L.M. Effects and mechanisms of action of the ergopeptides ergotamine and ergovaline and the effects of peramine on reticulum motility of sheep. *American Journal of Veterinary Research*, 2009, vol. 70, no. 2, pp. 270-276. <https://doi.org/10.2460/ajvr.70.2.270>
94. Post K., Evans L.E., Jöchle W. Effects of prolactin suppression with cabergoline on the pregnancy of the bitch. *Theriogenology*, 1998, vol. 29, no. 6, pp. 1233-1243. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(88\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0093-691X(88)90003-9)
95. Ramoun A.A., Darweish S.A., Abou El-Ghait H.A., Fattouh M. Effect of enhancement of uterine involution and earlier initiation of post-partum cyclicity on the reproductive performance of buffalo. *Reprod Fertil Dev*, 2006, vol. 18, pp. 545-550. <https://doi.org/10.1071/rd05069>
96. Rendle D.I., Doran G., Ireland J.L., Edwards S. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of oral pergolide mesylate in horses with pituitary pars intermedia dysfunction. *Equine Veterinary Journal*, 2017, vol. 49, no. S51, pp. 25-25. https://doi.org/10.1111/evj.46_12732
97. Rendle D.I., Hughes K.J., Doran G.S., Edwards S.H. Pharmacokinetics of pergolide after intravenous administration to horses. *American Journal of Veterinary Research*, 2015, vol. 76, no. 2, pp. 155-160. <https://doi.org/10.2460/ajvr.76.2.155>
98. Roberts S.J. Veterinary obstetrics and genital diseases, 3rd edn. David & Charles Inc., North Pomfret, 1986.
99. Rohrbach B.W., Stafford J.R., Clermont R.S.W., Reed S.M., Schott H.C. II, Andrews F.M. Diagnostic frequency, response to therapy, and long-term prognosis among horses and ponies with pituitary par intermedia dysfunction, 1993–2004. *J Vet Intern Med*, 2012, vol. 26, pp. 1027-1034. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2012.00932.x>
100. Romagnoli S., Milani C., Perin S., Ballabio R., Stelletta C., Mollo A., Gelli D. Effect of an injectable cabergoline formulation on serum prolactin (PRL) and milk secretion in early postpartum beagle bitches. *Reproduction in Domestic Animals*, 2009, no. 44, pp. 148-151. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2009.01440.x>
101. Root A.L., Parkin T.D., Hutchison P., Warnes C., Yam P.S. Canine pseudopregnancy: an evaluation of prevalence and current treatment protocols in the UK. *BMC Vet Res*, 2018, vol. 14, no. 1, p. 170. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1493-1>
102. Rota A., Mollo A., Marinelli L., Gabai G., Vincenti L. Evaluation of cabergoline and buserelin efficacy for oestrous induction in the bitch. *Reproduction in Domestic Animals*, 2003, no. 38, pp. 440-443. <https://doi.org/10.1046/j.0936-6768.2003.00460.x>

103. Sarkar P., Basu S., Ray K., Saren A., Mandal D., Das S., Ghosh C.K. Clinical evaluation of mifepristone along with cabergoline in the treatment of close pyometra in labrador bitch-A Case Report. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, 2021, vol. 10, no. 10, pp. 291-295. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1010.035>
104. Saxena P.R., Koedam N.A., Heiligers J., Hof R.P. Ergotamine-induced constriction of cranial arteriovenous anastomoses in dogs pretreated with phenotamine and pizotifen. *Cephalalgia*, 1983, vol. 3, no. 2, pp. 71-81. <https://doi.org/10.1046/j.1468-2982.1983.0302071.x>
105. Schäfer-Somi S., Aksoy O.A., Beceriklisoy H.B., Einspanier A., Hoppen H.O., Aslan S. Repeated induction of abortion in bitches and the effect on plasma concentrations of relaxin, progesterone and estradiol-17beta. *Theriogenology*, 2007, no. 68, pp. 889-895. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenol.2007.07.012>
106. Scudder C.J., Gostelow R., Forcada Y., Schmid H.A., Church D., Niessen S.J.M. Pasireotide for the medical management of feline hypersomatotropism. *J Vet Intern Med*, 2015, vol. 29, no. 4, pp. 1074-1080. <https://doi.org/10.1111/jvim.12608>
107. Scudder C.J., Hazuchova K., Gostelow R., Church D.B., Forcada Y., Fowkes R.C., Niessen S.J. Pilot study assessing the use of cabergoline for the treatment of cats with hypersomatotropism and diabetes mellitus. *J Feline Med Surg*, 2021, vol. 23, no. 2, pp. 131-137. <https://doi.org/10.1177/1098612X20933213>
108. Secombe C., Bailey S., de Laat M., Hughes K., Stewart A., Sonis J., Tan, R. Equine pituitary pars intermedia dysfunction: current understanding and recommendations from the Australian and New Zealand Equine Endocrine Group. *Aust Vet J*, 2018, no. 96, pp. 233-242. <https://doi.org/10.1111/avj.12716>
109. Sharma N., Sharma V.K., Manikyam H.K., Krishna A.B. Ergot Alkaloids: A Review on Therapeutic Applications. *European Journal of Medicinal Plants*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 1-17. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/25975>
110. Silva M.C., Guedes P.E.B., Silva F.L., Snoeck P.P.N. Use of pyridoxine hydrochloride in the interruption of lactation in female dogs with pseudo-pregnancy. *Anim Reprod*, 2021, vol. 18, no. 1, p. e20200062. <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0062>
111. Singh L., Patra M.K., Mishra G.K., Linda N., Saxena A.C., De U.K., Kumar H., Narayanan K. Comparative efficacy of antiprogesterin and dopamine agonist in the treatment of canine pyometra. *The Indian Journal of Animal Reproduction*, 2019, vol. 40, no. 2, pp. 28-31.

112. Soler Arias E.A., García J.D., Castillo V.A. Pharmacological treatment with cabergoline in three cats with acromegaly. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 2017, vol. 30, no. 4, pp. 316–321. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v30n4a07>
113. Špoljarića B., Svoboda D., Gereš D., Vince S., Špoljarić D., Popović M., Žubčić D., Butković I., Šavorić J., Grizelj J., Samardžija M. Combination of dopamine agonist and prostaglandin administration for pregnancy termination in bitches—a novel approach. *Journal of applied animal research*, 2020, vol. 48, no. 1, pp. 402–405. <https://doi.org/10.1080/09712119.2020.1814784>
114. Steel N.L., Ireland J.L., McGowan C.M. Management of pituitary pars intermedia dysfunction in practice: A clinical audit. *The Veterinary Journal*, 2022, vol. 289, p. 105899. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2022.105899>
115. Tatum R.C., McGowan C.M., Ireland J.L. Efficacy of pergolide for the management of equine pituitary pars intermedia dysfunction: A systematic review. *Vet J*, 2020, no. 266, p. 105562. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105562>
116. Uçmak M., Enginler S.Ö., Gündüz M.C., Kirşan İ., Sönmez K. Treatment of feline mammary fibroepithelial hyperplasia with the combination of aglepristone and cabergoline. *Acta Vet Eurasia*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 69–74.
117. Vasiu I., Dąbrowski R., Wochnik M., Plusa A., Tvarijonaviciute A., A systematic review of mammary gland inflammations in queens (*Felis catus*). *Animal Reproduction Science*, 2023, vol. 256, p. 107318. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2023.107318>
118. Verstegen J.P., Onclin K., Silva L.D., Concannon P.W. Effect of stage of anestrus on the induction of estrus by the dopamine agonist cabergoline in dogs. *Theriogenology*, 1999, vol. 51, no. 3, pp. 597–611. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(99\)00013-8](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(99)00013-8)
119. Verstegen J.P., Onclin K., Silva L.D., Donnay I. Abortion induction in the cat using prostaglandin F2 alpha and a new anti-prolactin agent, cabergoline. *J Reprod Fertil*, 1993, no. 47, pp. 411–417.
120. Vilar M.J., Rajala-Schultz P.J. Dry-off and dairy cow udder health and welfare: Effects of different milk cessation methods. *Veterinary Journal*, 2020, vol. 262, p. 105503. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105503>
121. Wanke M.M., Romagnoli S., Verstegen J., Concannon P.W. Pharmacological approaches to pregnancy termination in dogs and cats including the use of prostaglandins, dopamine agonists, and dexamethasone In: Concannon P.W., England G., Verstegen J., Linde-Forsberg C., eds. *Recent Advances in Small*

Animal Reproduction, 2002, International Veterinary Information Service, Ithaca, New York, USA.

122. Wiebe V.J., Howard J.P. Pharmacologic advances in canine and feline reproduction. *Top Companion Anim Med.*, 2009, no. 24, pp. 71–99. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2008.12.004>
123. Yenilmez K., Eren N. The utilization areas of cabergoline in veterinary gynecology. *J. Res. Vet. Med.*, 2019, vol. 38, no. 1, pp. 77-81. <https://doi.org/10.30782/uluvfd.418900>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

All authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Волнин Андрей Александрович, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии
ФГБНУ Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
volnin.a@mail.ru

Цыбулько Наталья Степановна, к.фарм.н., инженер лаборатории биотехнологии
ФГБНУ Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
ostafevo11@yandex.ru

Янко Роман Владимирович, главный врач
Ветеринарная клиника “VetLion”
ул. Гагарина, 1, г. Скидель, Гродненская область, Республика Беларусь

Бохан Александр Иванович, д.с-х.н., заведующий лабораторией биотехнологии

ФГБНУ Всероссийский НИИ лекарственных и ароматических растений (ФГБНУ ВИЛАР)
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
alexboxan1980@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrei A. Volnin, PhD, Leading Researcher, Laboratory of Biotechnology
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
volnin.a@mail.ru
SPIN-code: 1881-2865
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9222-536X>
ResearcherID: AAD-5778-2022
Scopus Author ID: 57218101698

Natalia S. Tsybulko, PhD, engineer, Laboratory of Biotechnology
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
ostafevo11@yandex.ru
SPIN-code: 4691-4700
ResearcherID: AAD-5817-2022
Scopus Author ID: 57297457100

Roman V. Yanko, chief physician
Vet clinic "VetLion"
1, Gagarina Str., Skidel, Grodno Region, Republic of Belarus

Aleksandr I. Bokhan, Dr. Sci., head of Laboratory of Biotechnology
All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
alexboxan1980@mail.ru
SPIN-code: 6588-1244
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4154-3709>
Scopus Author ID: 57208166912

Поступила 29.03.2024
После рецензирования 21.06.2024
Принята 01.07.2024

Received 29.03.2024
Revised 21.06.2024
Accepted 01.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1344

EDN: AQQGRC

УДК 636.22/.28.084:612



Научная статья

ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КЕТОЗЕ КОРОВ

*В.С. Скрипкин, Н.В. Федота,
М.Е. Пономарева, А.Н. Шулунова*

Аннотация

В исследовании изучали воздействие препарата Катозал 10% на организм высокопродуктивных коров. Кетоз молочных коров – заболеванием обмена веществ, широко распространенное среди высокопродуктивных коров. Поиск средств снижения риска возникновения данной патологии и препаратов для ее профилактики остается актуальным. Цель работы – разработать и провести экспериментальную апробацию схемы лечебно-профилактических мероприятий при кетозе с помощью введения иммуномоделирующего препарата Катозал 10% и оценить его эффективность на нормализацию обменных процессов организма коров.

Использовали 2 группы черно-пестрых коров голштинской породы по 5 голов с удоем за предыдущую лактацию 8000-9000 кг и вышесредней упитанностью (от 4 до 5 баллов). Разработана следующая схема профилактики кетоза: опытной группе (I) вводили препарат Катозал 10% трехкратно: за 7 дней до предполагаемого отёла и на 1 и 2 день после отёла, внутримышечно в дозе 10 мл на голову. Контрольной группе (II) коров выпаивали пропиленгликоль в дозе 100 мл/гол. 2 раза в день в течение 10 дней после отела. Биохимические показатели крови исследовали на 5 день после отёла, определяли уровень общего белка, глюкозы, резервную щелочность, аланинаминотрансферазу (АЛТ), аспартатаминотрансферазу (АСТ), креатинина, щелочную фосфатазу. На 3 и 14-й дни определяли уровень кетоновых тел в крови. В молоке на 14 день после отела определяли физико-химические показатели: плотность, содержание жира, белка и лактозы.

Показатель щелочной фосфатазы в обеих группах значительно увеличен, что может свидетельствовать о поражении печени. Об этом же говорят и повышенные значения АСТ у животных. Повышение уровня ЛДГ является маркером развития кетоза. Этот показатель достаточно высок у животных

обеих групп, но у животных второй группы он достоверно выше на 16% и выходит за границы физиологической нормы. В целом у животных контрольной группы более нестабильная биохимическая картина крови, характерная для кетогенеза у коров. Среднесуточный удой в первой группе составил 28,44 кг, что на 1,28 кг больше, чем у контрольной группы. При пересчете на базисную жирность (3,4%) эта разница составила 2,25 кг в среднем по группе.

Установлена высокая эффективность разработанной схемы профилактики кетоза с использованием препарата Катозал 10%, подтвержденная клинико-биохимическими и планиметрическими исследованиями. Предприятиям можно рекомендовать использовать указанную схему профилактики кетозов.

Ключевые слова: кетоз крупного рогатого скота; иммуномодулирующие препараты; Катозал; биохимические показатели крови; показатели качества молока; молочная продуктивность; профилактика кетоза

Для цитирования. Скрипкин В.С., Федота Н.В., Пономарева М.Е., Шулунова А.Н. Лечебно-профилактические мероприятия при кетозе коров // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 36-51. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1344

Original article

THERAPEUTIC AND PREVENTIVE MEASURES FOR KETOSIS OF COWS

V.S. Skripkin, N.V. Fedota, M.E. Ponomareva, A.N. Shulunova

Abstract

The study examined the effect of the drug Catozal 10% on the body of highly productive cows. Ketosis in dairy cows is a metabolic disease that is widespread among high-producing cows. The search for means to reduce the risk of this pathology and drugs for its prevention remains relevant. The purpose of the work is to develop and conduct experimental testing of a scheme of treatment and preventive measures for ketosis using the administration of the immunomodulating drug Catozal 10% and to evaluate its effectiveness in normalizing the metabolic processes of the body of cows.

We used 2 groups of black-and-white Holstein cows of 5 heads each with a milk yield for the previous lactation of 8000-9000 kg and above-average fatness (from

4 to 5 points). The following scheme for the prevention of ketosis was developed: the experimental group (I) was administered the drug Catozal 10% three times: 7 days before the expected calving and on the 1st and 2nd days after calving, intramuscularly at a dose of 10 ml per head. The control group (II) of cows was fed propylene glycol at a dose of 100 ml/head. 2 times a day for 10 days after calving. Biochemical blood parameters were examined on the 5th day after calving, the level of total protein, glucose, reserve alkalinity, alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), creatinine, and alkaline phosphatase were determined. On days 3 and 14, the level of ketone bodies in the blood was determined. Physicochemical indicators were determined in milk on the 14th day after calving: density, fat, protein and lactose content.

The alkaline phosphatase level in both groups was significantly increased, which may indicate liver damage. This is also indicated by increased AST values in animals. An increase in LDH levels is a marker for the development of ketosis. This indicator is quite high in animals of both groups, but in animals of the second group it is significantly higher by 16% and goes beyond the physiological norm. In general, animals in the control group had a more unstable biochemical blood picture, characteristic of ketogenesis in cows. The average daily milk yield in the first group was 28.44 kg, which is 1.28 kg more than that of the control group. When converted to base fat content (3.4%), this difference amounted to 2.25 kg on average for the group.

Thus, the high effectiveness of the developed scheme for the prevention of ketosis using the drug Catozal 10%, confirmed by clinical, biochemical and planimetric studies, has been established. Enterprises can be recommended to use the specified scheme for the prevention of ketosis.

Keywords: ketosis in cattle; immunomodulatory drugs; Catozal; biochemical blood parameters; milk quality indicators; milk productivity; prevention of ketosis

For citation. Skripkin V.S., Fedota N.V., Ponomareva M.E., Shulunova A.N. Therapeutic and Preventive Measures for Ketosis of Cows. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 36-51. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1344

Введение

Кетоз молочных коров является распространенным заболеванием обмена веществ, вызванным нарушением обмена углеводов и жиров [9]. По некоторым данным, кетоз отмечается у 23-38 и даже у 80% высокопродуктивных коров [6], и занимает второе место после маститов [4]. В стойловый период кетоз встречается у 17-45% лактирующих высокопро-

дуктивных коров и у 2-30% сухостойных коров [3]. Кетоз связывают с тяжелым отрицательным энергетическим балансом и недостатком глюкозы в организме. Ведущей гипотезой об этиологии кетоза является мобилизация длинноцепочечных жирных кислот из жировой ткани, которые окисляются в печени в кетоновые тела – ацетоуксусной кислоты, β -гидроксимасляной кислоты и ацетона [9; 16].

Факторами риска для проявления кетоза является: время отела – заболевание проявляется в течение первого месяца после родов [4], высокая продуктивность и хорошая упитанность коров; сезон отела – самый высокий риск развития кетоза при отелах во втором квартале года [5; 13]; зимний сезон, удлинённый сухостойный период, продолжительная предыдущая лактация [3; 10]. Серьезным фактором развития заболеваний крупного рогатого скота является технологический стресс, неизбежно возникающий в связи с особенностями содержания животных промышленным способом, и отрицательно влияющий на здоровье и продуктивность коров [1]. Даже находясь в субклинической стадии, кетоз повышает риск таких проявлений как смещение сычуга, задержка плаценты, хромота, мастит и метрит, ухудшает здоровье животных, ведет к снижению надоев и значительным экономическим потерям [6; 8].

Снизить воздействие повреждающих стрессовых факторов можно различными способами. В экспериментах использовали в частности в качестве адаптогенов низкоинтенсивное лазерное излучение, которое способствовало нормализации исследуемых биохимических показателей крови [1]. Комплексные кормовые добавки могут улучшить переваримость и использование питательных веществ рациона [7], что также может способствовать нормализации обмена и повышению резистентности.

Не смотря на широкое распространение и глубокое изучение проблемы кетоза в скотоводстве, для хозяйств поиск средств снижения риска возникновения данной патологии остается актуальным. Одним из перспективных направлений является применение комплексных препаратов, которые содержат вещества, обладающие свойствами адаптогенов. К таким препаратам, например, относится Катозал, предназначенный для стимуляции обменных процессов и неспецифической резистентности. Разработка схем его применения для профилактики кетозов коров имеет практическую значимость и новизну.

Целью данной работы было разработать и провести экспериментальную апробацию схемы лечебно-профилактических мероприятий при кетозе с помощью введения иммуномоделирующего препарата Катозал 10%

и оценить его эффективность на нормализацию обменных процессов организма коров.

Материалы и методы исследования

Нами были проведены исследования на животноводческом комплексе. В работе использовались следующие методы исследований: эпизоотологический, клинического обследования, лабораторный и статистический. Этапы исследования отображены в схеме опыта (табл. 3).

В сухостойный период были сформированы 2 группы черно-пестрых коров голштинской породы по принципу аналогов по 5 голов в каждой, из которых одна группа была контрольной, а другая опытной (табл. 1).

Таблица 1.

Параметры животных в опыте

Группа	Инв. № коровы	ОКТ, балл	Номер лактации	ДП	ДФ	Легкость отела, балл	Пол теленка
I	23169	4,0	2	27.04.22	28.04.22	0	т
	21530	3,8	2	27.04.22	25.04.22	1	т
	21874	4,5	3	30.04.22	26.04.22	1	б
	22472	5,0	2	27.04.22	24.04.22	2	т
	23876	5,75	3	29.04.22	24.04.22	0	б
В среднем		4,61				0,8	
II	24085	4,25	3	28.04.22	27.04.22	1	б
	25133	5,5	2	29.04.22	26.04.22	2	т
	24424	4,5	2	26.04.22	26.04.22	3	т
	25075	3,9	3	25.04.22	23.04.22	5	м/р
	24799	5,25	3	27.04.22	25.04.22	2	б
В среднем		4,68				2,6	

Примечание: ДП – дата предполагаемого отела; ДФ – дата фактического отела; ОКТ – определение кондиции тела, т – телочка; б – бычок, м/р – мертворожденный.

Животные были аналогичны по удою за предыдущую лактацию и входили в группу с 8000-9000 удоем за 305 дней лактационного периода. Поскольку вышесредняя упитанность животных является предрасполагающим фактором возникновения кетоза, имеет значение определение кондиции тела у коров при определении риска возникновения кетоза. Показатели кондиции тела изучали по бальной шкале в соответствии с таблицей 2, в опыт были отобраны коровы с завышенными показателями кондиции тела (от 4 до 5 баллов).

Таблица 2.

Определение кондиции тела (ОКТ)

Бал- лы	Части тела			
	Позвонки	Маклоки	Тазобедренные суставы	Крестец
1	Четко выражены	Острые	Сильно углублены	Глубоко впаившая
2	Можно прощупать	Выделяются	Менее выраженная яма	Еле заметные бугры
3	Не выделяются	Округлые	Гладкие	Гладкие
4	Скрытые жиром	Плоский переход	Плоские	Округлые
5	Округлые	Округлый переход	Без острот	Наличие жировой ткани

Во время отёла оценивали легкость отёла по следующим показателям: отел без помощи, родовспоможение при помощи акушерских петель, сложные роды, неправильное предлежание плода, вес теленка.

Для профилактики кетоза использовали препарат Катозал 10%, который представляет собой комплексное лекарственное средство, содержащее в 100 мл 10 г бутафосфана, 0,005 г цианокобаламина, 0,1 г метил-4-гидроксibenзоата, а также воду для инъекций. Бутафосфан влияет на ассимиляционные процессы и энергетическое обеспечение жизнедеятельности организма, стимулирует преобразование АДФ в АТФ, нормализует метаболизм, оказывая влияние на белковый, углеводный и жировой обмен веществ, восстанавливает функции печени. Цианокобаламин (витамин В₁₂) обладает высокой биологической активностью, он участвует в процессах кроветворения и трансметилирования, переносе водорода, образовании метионина, нуклеиновых кислот, холина, креатина. Оказывает благоприятное влияние на функцию печени и нервной системы.

Во время проведения исследований все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Для опытной группы (I) была разработана следующая схема (табл. 3): препарат «Катозал 10%» вводился трехкратно, за 7 дней до предполагаемого отёла и на 1 и 2 день после отёла, внутримышечно в группу заднебедренных мышц в дозе 10 мл на голову. Контрольной группе (II) коров препарат «Катозал 10%» не применялся. По схеме, принятой в хозяйстве, животным выпаивали пропиленгликоль в дозе 100 мл/гол. 2 раза в день в течение 10 дней после отела (табл. 3).

Таблица 3.

Схема опыта

Мероприятия	Время проведения		Группа	
			I	II
Лечение	до отела	за 7 дней	«Катозал	
	после отела	1й и 2й день	10%» в/м 10 мл/гол.	
		в течение 10 дней		Пропиленгликоль внутрь 100 мл/гол., 2 раза в день
Исследования	после отела	3й день	– определение кетоновых тел в крови	
		5й день	– взятие крови для биохимического анализа – клинический осмотр	
		10й день	– экспресс-тест содержания кетоновых тел в молоке	
		14й день	– определение кетоновых тел в крови – проведение контрольной дойки – изучение качественных показателей молока	
		30й день	– экспресс-тест содержания кетоновых тел в молоке	

Для оценки состояния животных исследовали биохимические показатели крови. Пробы крови брали на 5 день после отёла. Кровь для биохимического анализа брали утром до кормления в вакуумные пробирки для исследования сыворотки крови из хвостовой вены от каждого животного. Биохимические исследования сыворотки крови проводились на биохимических анализаторах «Hymalyzer 2000» (Германия) и BS-3000P (Китай). При биохимическом анализе определяли уровень общего белка, глюкозы, резервную щелочность, аланинаминотрансферазу (АЛТ), аспартатаминотрансферазу (АСТ), креатинина, щелочную фосфатазу. Кроме того, у коров на 3 и 14-й дни при помощи глюкометра FreeStyle Optium определяли уровень кетоновых тел в крови.

В молоке отелившихся коров на 14 день определяли физико-химические показатели плотность, содержание жира, белка и лактозы с помощью анализатора качества молока, на 10-й и 30-й – содержание кетоновых тел с помощью тест-полосок экспресс-тестом.

Для контроля обменных процессов у животных во время проведения опыта осуществляли термометрию, определяли границы печени, количество рубцовых сокращений, частоту пульса и дыхания, характер аппетита, наличие заболеваний конечностей и послеродовых осложнений.

Цифровые данные были обработаны при помощи пакета статистического анализа Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице 4 приведены результаты клинического осмотра коров, который провели на пятый день после отела.

Таблица 4.

Результаты клинического осмотра коров

Группа	Инв. № коровы	Легкость отела, балл	ГП на 5-й день отёла	Физиологическое состояние на протяжении опыта
I	23169	0	НВГР	условно здоровое
	21530	1	НВГР	условно здоровое
	21874	1	увеличена	задержание последа
	22472	2	УН	травма путового сустава
	23876	0	НВГР	условно здоровое
В среднем		0,8		
II	24085	1	увеличена	эндометрит
	25133	2	НВГР	мастит
	24424	3	увеличена	задержание последа
	25075	5	УЗ	дистрофия печени, эндометрит
	24799	2	УН	условно здоровое
В среднем		2,6		

Примечание: ГП – границы печени; НВГР – не выходит за границ ребер; УН – увеличена незначительно; УЗ – увеличена значительно.

У животных, получавших Катозал была лучшей легкость отела, что отразилось в более низкой балльной оценке. Затрудненный отел вызывает задержку входа в лактацию, повышает риск таких расстройств, как родильный парез, кетоз, смещение сычуга и мастит, которые, в свою очередь, сильно снижают пик лактации.

Исследование крови на уровень кетоновых тел провели на третьи и четырнадцатые сутки после отела (табл. 5), а исследования молока – на десятые и тридцатые сутки (табл. 6).

Именно в этот период наиболее высок риск развития кетоза. Получили следующие результаты: положительная реакция на субклинический кетоз была зарегистрирована во второй группе у 20 % коров. Сомнительную реакцию на кетоз фиксировали на исследуемых пробах молока во второй

в 30 % случаях, а в первой – в 20 %. Таким образом, за время проведения исследования отмечена положительная динамика в уменьшении проявления кетоза у животных. Исследования молока имеют большое значение, так как показатели молока и крови находятся в прямой корреляционной зависимости [11], а взятие проб молока не инвазивно и легче выполнить, чем анализ проб крови.

Таблица 5.

Уровень кетоновых тел в сыворотке крови ($M \pm m$)

Группа	Кетоновые тела, ммоль/л, сутки после отела	
	3	14
I	0,45±0,09	0,19±0,09
II	0,84±0,23	0,96±0,35

Таблица 6.

Результаты анализа проб молока с помощью тест-полосок на содержание кетоновых тел

№ группы	Результаты экспресс-теста					
	Отрицательный (0-50 ммоль/л)		Сомнительный (50-100 ммоль/л)		Положительный (100 и более ммоль/л)	
	n	%	n	%	n	%
На 10 день лактации						
I	6	60,0	4	40,0	–	–
II	2	20,0	5	50,0	3	30,0
На 30 день лактации						
I	8	80,0	2	20,0	–	–
II	5	50,0	3	30,0	2	20,0

Нами проведены биохимические исследования крови у животных. В развитии кетоза большая роль принадлежит функциональному состоянию печени. При нарушении обмена веществ у высокопродуктивных коров изменяются показатели крови. У больных животных в настоящее время болезни протекают чаще субклинически (скрыто), что создает определенные трудности при диагностике [12]. В организме протекают процессы с повышенным распадом тканевых и клеточных структур. Происходит развитие морфологической, метаболической и функциональной дезадаптации животных, что приводит к изменениям в биохимических показателях крови (табл. 7).

Таблица 6.

Результаты биохимических исследований сыворотки крови коров ($M \pm m$)

Группа	Показатели							
	ОБ	Г	АЛТ	АСТ	ЛДГ	ЩФ	РЩ	К
	г/л	ммоль/л	Ед/л	Ед/л	Ед/л	Ед/л	об% CO_2	%
I	77,2 $\pm 2,00$	2,66 $\pm 0,26$	27,64 $\pm 1,93$	111,38 $\pm 8,76$	922,0* $\pm 15,89$	100,98 $\pm 11,56$	48,26 $\pm 0,99$	139,17 $\pm 8,74$
II	68,4 $\pm 2,30$	2,32 $\pm 0,25$	35,20 $\pm 5,80$	125,96 $\pm 11,20$	1069,4 $\pm 52,78$	124,18 $\pm 10,46$	43,26 $\pm 2,02$	166,32 $\pm 13,53$
Референ- тные значения	72-86	2,3-4,1	7,0-35,0	45,0-110,0	309-938	17,2-52,7	46-66	56,0-162,0

Примечание: ОБ – общий белок; Г – глюкоза; АЛТ – аланинаминотрансфераза; АСТ – аспартатаминотрансфераза; ЛДГ – лактатдегидрогеназа; ЩФ – щелочная фосфатаза; РЩ – резервная щелочность; К – креатинин. *Выделены достоверные различия по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Развитие кетоза у коров сопровождается значительным дефицитом энергии и развитием гипогликемии [2], нарушением белкового обмена, развитием состояния ацидоза [14] и поражением печени [15]. У коров контрольной группы мы видим более яркие признаки данного состояния. Так, показатель резервной щелочности свидетельствует о сдвиге равновесия в сторону ацидоза, у второй группы он снижается ниже значений нормы. Уровень глюкозы у этих животных находится на самом нижнем пределе референтных значений. Показатель общего белка также снижен ниже границы нормы, а показатель креатинина превышает ее, что свидетельствует о нарушениях белкового обмена.

Обращает на себя внимание показатель щелочной фосфатазы, который значительно увеличен в обеих группах, но во второй – более заметно. Повышение данного показателя может свидетельствовать о поражении печени. Об этом же говорят и повышенные значения АСТ у животных.

Повышение уровня лактатдегидрогеназы (ЛДГ) является маркером развития кетоза. Этот показатель достаточно высок у животных обеих групп, но у животных второй группы он достоверно выше на 16% и выходит за границы физиологической нормы.

В целом у животных контрольной группы более нестабильная биохимическая картина крови, характерная для кетогенеза у коров. Наоборот, в организме коров опытной группы, защищенных универсальным иммуномодулятором препаратом Катозал в 10% концентрации, развитие кетогенеза наблюдается в значительно меньшей степени.

При проведении исследования у коров опытной группы в молоке определяли среднесуточный удой, в том числе в пересчете на базисную жирность молока (3,4%), содержание жира, белка и лактозы (табл. 7).

Таблица 7.

Результаты исследований проб молока от коров (М±m)

Группа	Среднесуточный удой, кг	Массовая доля, %			Удой по молоку 3,4% жирности, кг
		Жир	Белок	Лактоза	
I	28,44±0,85	4,31±0,18	3,02±0,06	4,48±0,12	36,10±2,08
II	27,16±1,83	4,22±0,17	2,95±0,06	4,42±0,13	33,86±2,94
I ко II, %	104,7	102,0	102,4	101,3	106,6

Применение «Катозала 10%» в транзитный период лактации оказало положительное влияние на среднесуточный удой и его химический состав. У животных опытной группы наблюдалось тенденция к увеличению удоев молока, содержания жира, белка и сахара. Не смотря на то, что различия не были достоверными, среднесуточный удой в первой группе составил 28,44 кг, что на 1,28 кг больше, чем у контрольной группы. При пересчете на базисную жирность (3,4%) эта разница составила 2,25 кг в среднем по группе. Тенденция к увеличению жирности молока у коров может свидетельствовать о нормализации рубцового пищеварения.

Следовательно, предложенная схема применения «Катозала 10%» стельным и лактирующим коровам в качестве лечебно-профилактического средства способствовала повышению молочной продуктивности.

Заключение

При профилактике болезней обмена веществ у животных в новотельный период следует обратить особое внимание на качество кормления и его соответствия физиологическому состоянию и среднесуточного удоя для восполнения энергетических затрат. Нами проведена разработка и апробация схемы профилактики кетоза коров с применением препарата «Катозал 10%». Показано, что данный препарат обладает стимулирующим действием на обмен веществ. Динамика показателей сыворотки крови и проб молока у животных при применении препаратов Катозал 10% свидетельствует о высокой эффективности указанного средства и схемы его применения.

Рекомендуем сельскохозяйственным предприятиям по молочному скотоводству проводить ранние диагностические мероприятия по определению кетоновых тел в организме сухостойных коров для оценки рисков

возникновения различных форм кетоза в период лактации. Заблаговременную профилактику кетоза у коров в сухостойный период и сразу после отела проводить с комплексным применением препарата «Катозал 10%» по предложенной схеме.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на биохимический статус и молочную продуктивность коров на фоне технологического стресса / М. Н. Ивашенко, А. В. Дерюгина, Т. И. Соловьева [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 4. С. 193-208. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-193-208>
2. Шкуратова И. А. и др. Биохимический профиль высокопродуктивных коров голштинской породы при первичном кетозе // Ветеринария Кубани. 2022. № 4. С. 7-9.
3. Andersson L., Emanuelson U. An epidemiological study of hyperketonaemia in Swedish dairy cows; determinants and the relation to fertility // Preventive Veterinary Medicine. 1985. Vol. 3. № 5. P. 449-462.
4. Baird G. D. Primary ketosis in the high-producing dairy cow: clinical and subclinical disorders, treatment, prevention, and outlook // Journal of Dairy Science. 1982. Vol. 65. № 1. P. 1-10.
5. Berge A. C., Vertenten G. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds // Journal of Dairy Science. 2014. Vol. 97, № 4. P. 2145-2154.
6. Cainzos J. M. et al. A systematic review of the cost of ketosis in dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2022. Vol. 105. № 7. P. 6175-6195.
7. Digestibility and absorption of nutrients by young cattle at inclusion of complex feed additives into the diets in the conditions of Yakutia / M. F. Grigorev, V. A. Soloshenko, A. I. Grigoreva [et al.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. № 6. P. 321-337. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-321-337>
8. Đoković R. et al. Diagnosis of subclinical ketosis in dairy cows // Biotechnology in Animal Husbandry. 2019. Vol. 35. № 2. P. 111-125.
9. Erb H. N., Grohn Y. T. Epidemiology of metabolic disorders in the periparturient dairy cow // Journal of Dairy Science. 1988. Vol. 71. № 9. P. 2557-2571.

10. Gröhn Y. T. et al. Epidemiology of metabolic disorders in dairy cattle: Association among host characteristics, disease, and production // *Journal of Dairy Science*. 1989. Vol. 72. № 7. P. 1876-1885.
11. Nazeer M., Kumar S., Jaiswal M. Biochemical markers of ketosis in dairy cows at post-parturient period // *Biological Rhythm Research*. 2021. Vol. 52. № 5. P. 795-802.
12. Paramesh S. et al. Haematological and biochemical changes in subclinical ketosis affected cross bred cows in and around Bangalore // *Pharm Innov J*. 2020. Vol. 9. № 2. P. 387-90.
13. Suthar V. S. et al. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 5. P. 2925-2938.
14. Vasilov B. Serum alkaline phosphatase and transaminase activity in cows with clinical ketosis // *Veterinarno-meditsinski Nauki*. 1977. Vol. 14. № 4. P. 80-86.
15. Yameogo N. et al. Relationship between ketosis and dairy cows' blood metabolites in intensive production farms of the periurban area of Dakar // *Tropical animal health and production*. 2008. Vol. 40. P. 483-490. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9124-z>
16. Zhang G., Ametaj B. N. Ketosis an old story under a new approach // *Dairy*. 2020. Vol. 1. № 1. P. 5.

References

1. Ivashchenko M.N., Deryugina A.V., Solov'eva T.I., Talamanova M.N., Belov A.A., Petrov V.A. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 193-208. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-4-193-208>
2. Shkuratova I.A., Belousov A.I., Krasnoperov A.S., Malkov S.V. *Veterinariya Kubani*, 2022, no. 4, pp. 7-9.
3. Andersson L., Emanuelson U. *Preventive Veterinary Medicine*, 1985, vol. 3, no. 5, pp. 449-462.
4. Baird G. D. *Journal of Dairy Science*, 1982, vol. 65, no. 1, pp. 1-10.
5. Berge A.C., Vertenten G. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97, no. 4, pp. 2145-2154.
6. Cainzos Ju. M., Andreu-Vazquez C., Guadagnini M., Rijpert-Duvivier A., Duffield T. *Journal of Dairy Science*, 2022, vol. 105, no. 7, pp. 6175-6195.
7. Grigorev M.F., Soloshenko V.A., Grigoreva A.I., Chernogradskaya N.M., Stepanova D.I. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 321-337. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-321-337>
8. Đoković R., Ilić Z., Kurubić V., Petrović M., Cincović M., Petrović M.P., Caro-Petrović V. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 2019, vol. 35, no. 2, pp. 111-125.

9. Erb H. N., Grohn Y. T. *Journal of Dairy Science*, 1988, vol. 71, no. 9, pp. 2557-2571.
10. Gröhn Y.T., Erb H.N., McCulloch C.E., Saloniemi H.S. *Journal of Dairy Science*, 1989, vol. 72, no. 7, pp. 1876-1885.
11. Nazeer M., Kumar S., Jaiswal M. *Biological Rhythm Research*, 2021, vol. 52, no 5, pp. 795-802.
12. Paramesh S., Kumar M.A., Ramesh P., Upendra H., Narayanaswamy M., Manjunath K. *Pharm Innov J*, 2020, vol. 9, no. 2, pp. 387-90.
13. Suthar V.S., Canelas-Raposo J., Deniz A., Heuwieser W. *Journal of dairy science*, 2013, vol. 96, no. 5, pp. 2925-2938.
14. Vasilov B. *Veterinarno-meditinski Nauki*, 1977, vol. 14, no. 4, pp. 80-86. PMID: 563131.
15. Yameogo N., Ouedraogo G.A., Kanyandekwe C., Sawadogo G.J. *Tropical animal health and production*, 2008, vol. 40, pp. 483-490. <https://doi.org/10.1007/s11250-007-9124-z>
16. Zhang G., Ametaj B.N. *Dairy*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 5.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Скрипкин Валентин Сергеевич, директор Института ветеринарии и биотехнологий, доктор биологических наук, доцент
*Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
skripkinvs@mail.ru*

Федота Наталья Викторовна, доцент кафедры терапии и фармакологии, кандидат ветеринарных наук, доцент
*Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
nataliafedota@yandex.ru*

Пономарева Мария Евгеньевна, доцент кафедры кормления животных и общей биологии, кандидат ветеринарных наук, доцент
*Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
m-ponomareva-st@mail.ru*

Шулунова Ангелина Николаевна, доцент кафедры физиологии, хирургии и акушерства, кандидат биологических наук, доцент
*Ставропольский государственный аграрный университет
пер. Зоотехнический, 12, г. Ставрополь, 355017, Российская Федерация
9linok9@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentin S. Skripkin, Director of the Institute of Veterinary Medicine and Biotechnology, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
*Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky per., Stavropol, 355017, Russian Federation
skripkinvs@mail.ru
SPIN-code: 6678-3491
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8492-0282>
ResearcherID: R-2646-2017
Scopus Author ID: 57073573200*

Natalia V. Fedota, Associate Professor of the Department of Terapi and Farmacologi, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
*Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky per., Stavropol, 355017, Russian Federation
nataliafedota@yandex.ru
SPIN-code: 1151-8536
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9798-1148>
Scopus Author ID: 56029519500*

Maria E. Ponomareva, Associate Professor of the Department of Animal Feeding and General Biology, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor
*Stavropol State Agrarian University
12, Zootechnichesky per., Stavropol, 355017, Russian Federation
m-ponomareva-st@mail.ru
SPIN-code: 1725-2026
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4161-4722>
ResearcherID: C-4931-2013
Scopus Author ID: 57188722439*

Angelina N. Shulunova, Associate Professor of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Stavropol State Agrarian University

12, Zootechnichesky per., Stavropol, 355017, Russian Federation

9linok9@mail.ru

SPIN-code: 2353-7188

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0809-9557>

ResearcherID: O-7297-2017

Scopus ID: 57192077567

Поступила 11.04.2024

После рецензирования 16.05.2024

Принята 26.06.2024

Received 11.04.2024

Revised 16.05.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013

EDN: BTYGUO

УДК 636.084.4;636.2



Научная статья

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВАНИЛИНА И КВЕРЦЕТИНА НА СТЕПЕНЬ ПЕРЕВАРИМОСТИ КОРМА И МИКРОБИОМ РУБЦА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Л.В. Власенко, К.Н. Атландерова, Г.К. Дускаев

Аннотация

Обоснование. Существуют различные пути модуляции микробного разнообразия рубца жвачных животных, одним из которых является использование кормовых добавок. Включение в рацион фитохимических веществ приводит к изменению микробиома рубца и динамики ферментации в нем, что положительно сказывается на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Целью исследования явилась оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота.

Материалы и методы. Объект исследования: рубцовое содержимое бычков казахской белоголовой породы. Используемые фитохимические вещества: ванилин в концентрации $2,45 \times 10^{-4}$ моль/л (I опытный образец) и кверцетин в концентрации $4,90 \times 10^{-4}$ моль/л (II опытный образец). Эксперименты по оценке переваримости сухого вещества кормового субстрата выполнены с использованием инкубатора Daisy D200I (Ankom Technology, США) *in vitro* (модель искусственного рубца). Секвенирование ДНК-библиотеки генов 16S-rРНК выполнено на платформе Illumina MiSeq (Illumina, США). Таксономический состав рубцовой жидкости определен на основе базы данных NCBI и Genome taxonomy database (GTDB).

Результаты. В ходе исследований установлено, что добавление ванилина и кверцетина приводит к увеличению переваримости кормового субстрата на 1,25% и 2,71% относительно контрольного образца. При изучении микробного разнообразия рубцовой жидкости крупного рогатого скота на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomyetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Fusobacteriota*, *Patescibacteriota* и *Pseudomonadota*,

при этом доминирующее положение занимали бактерии филума *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) и *Bacteroidota* (9,29%). После инкубирования рубцовой жидкости с малыми молекулами растительного происхождения зафиксировано значительное увеличение количества представителей филума *Bacillota* и уменьшение числа бактерий, относящихся к филуму *Bacteroidota* и *Pseudomonadota*. Структура бактериального сообщества во всех опытных образцах обогатилась представителями родов *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrvibrio* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*, семейство *Lachnospiraceae*).

Заключение. Полученные результаты определяют основу для составления рационов для крупного рогатого скота с включением ванилина и кверцетина, способствующих улучшению переваримости сухого вещества кормового субстрата и изменению микробного разнообразия рубца, что в совокупности может положительно отразиться на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Ключевые слова: крупный рогатый скот; рубец; кормление; ванилин; кверцетин; переваримость; микробиом

Для цитирования. Власенко Л.В., Атландерова К.Н., Дускаев Г.К. Оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 52-65. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013

Original article

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VANILLIN AND QUERCETIN ON THE DEGREE OF FEED DIGESTABILITY AND THE RUMEN MICROBIOME OF CATTLE

L.V. Vlasenko, K.N. Atlanderova, G.K. Duskaev

Abstract

Background. There are various ways to modulate rumen microbial diversity of ruminants, one of which is the use of feed additives. The inclusion of phytochemicals in the diet leads to changes in the rumen microbiome and the dynamics of fermentation in it, which has a positive effect on the productive qualities of farm animals.

The goal of the study was to evaluate the effect of vanillin and quercetin on the degree of digestibility of feed and the microbiome of the rumen of cattle.

Materials and methods. Object of study: rumen contents of Kazakh white-headed bull calves. Phytochemicals used: vanillin at a concentration of $2,45 \times 10^{-4}$ mol/l (test sample I) and quercetin at a concentration of $4,90 \times 10^{-4}$ mol/l (test sample II). Experiments to assess the digestibility of dry matter of the feed substance were carried out using a Daisy D200I incubator (Ankom Technology, USA) *in vitro* (an artificial rumen model). Sequencing of the DNA library of 16S-rRNA genes was performed on the Illumina MiSeq platform (Illumina, USA). The taxonomic composition of rumen fluid was determined based on the NCBI database и Genome taxonomy database (GTDB).

Results. During the research, it was found that the addition of vanillin and quercetin leads to an increase in the digestibility of the feed substrate by 1,25% and 2,71% relative to the control sample. When studying the microbial diversity of cattle rumen fluid at the phylum level, 6 taxa were identified in the control sample: *Actinomycetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Fusobacteriota*, *Patescibacteriota* and *Pseudomonadota*, while the dominant position was occupied by bacteria of the phylum *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) and *Bacteroidota* (9,29%). After incubation of rumen fluid with small molecules of plant origin, a significant increase in the number of representatives of the phylum *Bacillota* and a decrease in the number of bacteria belonging to the phylum *Bacteroidota* and *Pseudomonadota* were recorded. The structure of the bacterial community in all test samples was enriched with representatives of the genera *Butyrivibrio* and *Pseudobutyrvibrio* (phylum *Bacillota*, class *Clostridia*, family *Lachnospiraceae*).

Conclusion. The results obtained provide the basis for formulating diets for cattle with the inclusion of vanillin and quercetin, which help improve the digestibility of dry matter of the feed substrate and change the microbial diversity of the rumen, which together can have a positive effect on the productive qualities of farm animals.

Keywords: cattle; rumen; feeding; vanillin; quercetin; digestibility; microbiome

For citation. Vlasenko L.V., Atlanderova K.N., Duskaev G.K. Assessment of the Impact of Vanillin and Quercetin on the Degree of Feed Digestability and the Rumen Microbiome of Cattle. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 52-65. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1013

Введение

Микробиом желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) жвачных животных занимает центральное место в определении их продуктивности и здоровья [12; 14]. Усвоение питательных веществ из растительного материала происходит в рубце – передней части желудка животных. Разработка тех-

нологий высокопроизводительного секвенирования обеспечила получение большого объема данных о составе и функциях микробиома рубца животных, в том числе крупного рогатого скота (КРС) [10; 16; 18; 19]. Микроорганизмы рубца КРС, обеспечивающие расщепление растительного материала (кормов), представлены простейшими, грибами, археями и в большей степени бактериями [14].

Возраст, пол, географическое положение, генетика и эффективность кормления животных определяет состав и функции микробиома рубца [10; 14; 22]. В последние годы проводится множество исследований по возможности изменения микробного разнообразия рубца и улучшения продуктивных качеств животных посредством корректирования системы кормления [2; 23]. Долгое время главная роль в успешном развитии животноводства во всем мире принадлежала кормовым антибиотикам, использование которых в субтерапевтических дозах приводит к формированию антибиотикорезистентности микроорганизмов, что также представляет потенциальную угрозу для человека [11]. В настоящее время для подобных целей рассматриваются разные классы веществ: пробиотики, пребиотики, ферменты, органические кислоты, металлы и другие [7; 11]. При этом значительный интерес привлекают фитохимические вещества (малые молекулы растительного происхождения, вторичные метаболиты растений) [9; 15], которые являются наиболее перспективным объектом исследования взамен кормовым антибиотикам [11], и уже используются при разведении сельскохозяйственных животных [4; 9] и птицы [1]. Введение малых молекул растительного происхождения в рацион жвачных животных приводит к изменениям микробиома рубца [13], улучшению переваримости корма, увеличению среднесуточного привеса [3], а также снижению выбросов метана [6].

Перспективными соединениями в данной области являются ванилин и кверцетин, которые обладают *quorum sensing* ингибирующей активностью, проявляют низкий уровень токсичности [20] и при этом разрешены в качестве пищевых добавок. Поэтому изучение действия малых молекул растительного происхождения на экосистему рубца КРС представляется практически выгодным для разработки новых подходов к кормлению животных.

Целью исследования явилась оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупного рогатого скота.

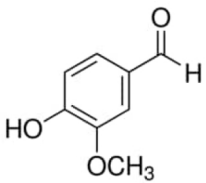
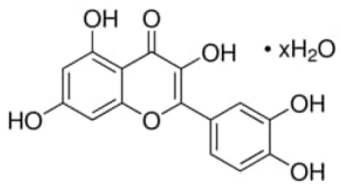
Материалы и методы исследования

Объект исследования. Рубцовое содержимое бычков казахской бело-головой породы.

Схема эксперимента. Используемые фитохимические вещества: ванилин ($C_8H_8O_3$; CAS 121-33-5) в концентрации $2,45 \times 10^{-4}$ моль/л (I опытный образец) и кверцетин ($C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$; CAS 6151-25-3) в концентрации $4,90 \times 10^{-4}$ моль/л (II опытный образец) (табл. 1), приобретенные в Acros Organics BVBA (Бельгия).

Таблица 1.

Общая характеристика малых молекул растительного происхождения

Наименование вещества	Химическая формула	Структурная формула	Молярная масса
Ванилин	$C_8H_8O_3$		152,15 г/моль
Кверцетин	$C_{15}H_{10}O_7 \times 2H_2O$		302,24 г/моль

Эксперименты по оценке переваримости сухого вещества кормового субстрата выполнены с использованием инкубатора Daisy D200I (Ankom Technology, США) *in vitro* (модель искусственного рубца) в Центре коллективного пользования (ЦКП БСТ РАН) (<https://ckp-rf.ru/ckp/77384/>) научным оборудованием ФГБНУ «Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН). Рубцовую жидкость отбирали через хроническую фистулу рубца, процеживали через стерильную марлю и вносили в камеру инкубатора с предварительно подготовленными исследуемыми веществами. После 48 часов инкубации образцы промывали и высушивали при температуре 60 °С до постоянной массы. В качестве модельного корма были использованы пшеничные отруби в натуральном виде (контрольный образец). Расчет

коэффициента переваримости сухого вещества кормового субстрата (x) проводили по формуле:

$$X = \frac{\left[m \times \left(\frac{100 - m_2}{100} \right) - m_1 \right] \times 100}{m \left(\frac{100 - m_2}{100} \right)}, \quad (1)$$

где m – масса навески корма, мг; m_1 – масса высушенного неперева-ренного остатка кормового субстрата, мг; m_2 – массовая доля влаги в кор-мовом субстрате, %.

Приготовление ДНК-библиотек, секвенирование и биоинформатиче-ская обработка выполнены в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Ин-ститута клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (Оренбург, Россия). Тотальную ДНК из образцов выделяли с использованием коммер-ческого набора FastDNA® SPIN Kit for Faeces (MP Biomedicals Inc., США) в соответствии с инструкциями изготовителя. Концентрацию ДНК измеряли на приборе Qubit 4 Fluorometer (Life Technologies, USA). ДНК-библиотеки генов 16S-rPHK приготовлены в соответствии с протоколом Illumina (Part #15044223, Rev. B.), а секвенирование выполнено на платформе Illumina MiSeq с набором реактивов MiSeq Reagent Kit v.2 (500-cycle) (Illumina, США). Биоинформатический анализ данных проведен с использованием программы USEARCH V.10.0.240. Таксономическая принадлежность на уровне филума, класса, порядка, семейства и рода определена на основе базы данных NCBI и Genome taxonomy database (GTDB).

Полученные результаты обработаны с использованием пакета компью-терных программ Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США) и Statistica V8 (StatSoft Inc., США). Относительная численность бактерий, идентифи-цированных в образцах, была представлена в виде столбчатых диаграмм.

Результаты исследования

В ходе исследований установлено, что добавление ванилина и квер-цетина приводит к изменению переваримости корма, значение которого в контрольном образце составило $61,32 \pm 0,87\%$. Переваримость сухого ве-щества кормового субстрата в I опытном образце увеличилась на 1,25%, а во II опытном образце на 2,71% относительно контрольного образца (рис. 1). Уровень pH при этом не изменялся.

При изучении микробного разнообразия рубцовой жидкости КРС на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomycetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Fusobacteriota*, *Patescibacteriota* и *Pseudomonadota*. При этом большую часть микробиома рубца состави-

ли представители филума *Bacillota* (41,76%), *Pseudomonadota* (36,82%) и *Bacteroidota* (9,29%). Филум *Actinomycetota* и *Fusobacteriota* были представлены меньшим количеством бактерий (1,88% и 6,04%, соответственно), а представители филума *Patescibacteriota* составили менее 1% (рис. 2).

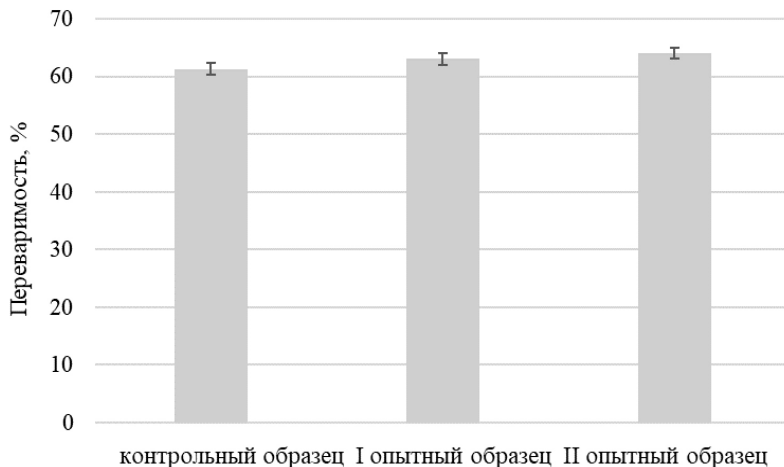


Рис. 1. Переваримость сухого вещества кормового субстрата *in vitro*

После инкубации рубцовой жидкости КРС с ванилином и кварцетином наблюдались общие признаки изменения микробиома рубца КРС и специфические – выявленные при использовании одного из веществ. В опытных образцах значительно увеличилось количество представителей филума *Bacillota* и снилось число бактерий, относящихся к филуму *Bacteroidota* и *Pseudomonadota* (рис. 2). Так, в I опытном образце количество бактерий филума *Bacillota* увеличилось в 1,94 раза (81,16% против 41,76% в контрольном образце, $p < 0,001$) на фоне снижения представителей *Bacteroidota* в 10,96 раз (0,85% против 9,29% в контрольном образце, $p < 0,05$) и *Pseudomonadota* в 4,12 раз (8,94% против 36,82% в контрольном образце, $p < 0,001$).

Во II опытном образце наблюдали аналогичные результаты: увеличение количества бактерий филума *Bacillota* в 2,02 раза (84,40% против 41,76% в контрольном образце, $p < 0,001$) и снижение количества представителей *Bacteroidota* в 13,62 раз (0,68% против 9,29% в контрольном образце, $p < 0,05$) и *Pseudomonadota* в 5,94 раз (6,20% против 36,82% в контрольном образце, $p < 0,01$).

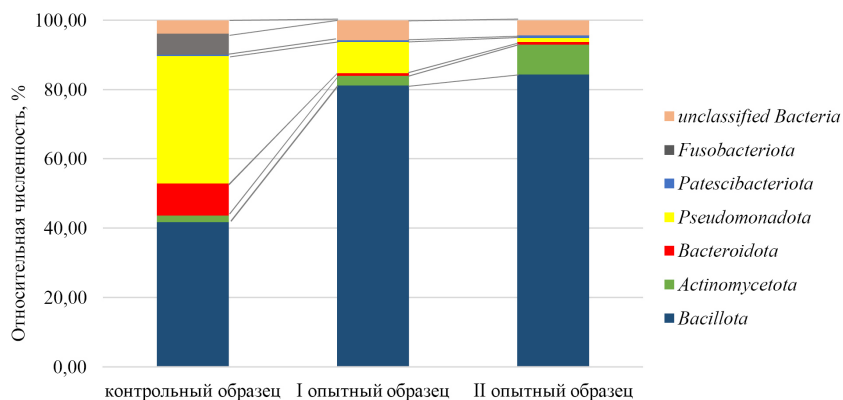


Рис. 2. Относительная численность бактериальных филумов в микробиоме рубца КРС

Сравнительный анализ родов бактерий показал значительное увеличение численности представителей рода *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrvibrio* (особенно в I опытном образце), принадлежащих к семейству *Lachnospiraceae*, а также неклассифицированных представителей семейства *Lachnospiraceae* и *Oscillospiraceae* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*). На этом фоне наблюдалось уменьшение количества представителей рода *Cellulosilyticum*, *Anaerostignum*, *Tissierella* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*). Количество бактерий семейства *Bacteroidales* было равно количеству бактерий филума *Bacteroidota* и значительно снизилось во всех опытных образцах. Также при добавлении ванилина и кверцетина было зарегистрировано снижение количества представителей семейства *Fusobacteriaceae* (филум *Fusobacteriota*).

Обсуждение

Разработка эффективной альтернативы антибиотикам для поддержания здоровья сельскохозяйственных животных на фоне увеличения спроса на продукцию животноводства является одной из важнейших задач. Наиболее перспективными веществами в этом отношении выступают малые молекулы растительного происхождения [9; 11].

Целью данного исследования была оценка воздействия ванилина и кверцетина на степень переваримости корма и микробиом рубца крупно-го рогатого скота.

В ходе данного исследования установлено, что добавление ванилина и кверцетина способствует улучшению переваримости сухого вещества

кормового субстрата. Полученные результаты согласуются с известными данными о действии фитохимических веществ на процесс ферментации в рубце животных, приводящее к повышению эффективности использования питательных составляющих рациона [5].

На основании данных секвенирования 16S-рРНК в рубцовой жидкости КРС на уровне филума в контрольном образце определены 6 таксонов: *Actinomycetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota*, *Fusobacteriota*, *Patescibacteriota* и *Pseudomonadota*, что также согласуется с результатами проведенных ранее исследований [8; 19]. Основные представители данных филумов участвуют в переваривании углеводов: бактерии филума *Bacillota* обладают фибролитической и целлюлолитической активностью, а *Actinomycetota* и *Pseudomonadota* расщепляют целлюлозу и гемицеллюлозу [17].

Доминирующее положение в контрольном образце занимали представители филумов *Bacillota*, *Pseudomonadota* и *Bacteroidota*, в то время как инкубирование рубцовой жидкости с ванилином и кверцетином приводило к значительному уменьшению количества бактерий филума *Bacteroidota* и *Pseudomonadota*, а также увеличению численности бактерий филума *Bacillota* (особенно представителей класса *Clostridia*, включая род *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrvibrio*). Установлено, что бактерии рода *Butyrivibrio* и *Pseudobutyrvibrio* (филум *Bacillota*, класс *Clostridia*, семейство *Lachnospiraceae*) участвуют в процессе деградации клетчатки и белков, биогидрирования липидов [21]. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными о влиянии танинов на микробиом КРС [11].

Заключение

Полученные результаты определяют применение малых молекул растительного происхождения (ванилина и кверцетина) в рационе КРС для улучшения системы кормления животных, обеспечивающей большую эффективность использования питательных составляющих рациона и изменение микробного разнообразия рубца (в частности, увеличения бактерий филума *Bacillota*), что в совокупности может положительно отразиться на продуктивных качествах сельскохозяйственных животных.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с Руководством по работе с лабораторными животными для сотрудников ФНЦ БСТ РАН (2018 г.). При проведении исследований были предприняты меры, сводящие страдания животных к минимуму.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-76-10008.

Список литературы / References

1. Дускаев Г.К., Власенко Л.В., Косян Д.Б., Курилкина М.Я. Влияние малых молекул растительного происхождения на микробное разнообразие слепого отдела кишечника цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2023. № 4. С. 6-51. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-4-46-51> (Duskaev G.K., Vlasenko L.V., Kosyan D.B., Kurilkina M.Ya. The effect of small molecules of plant origin on the cecal microbial diversity in broilers. *Ptitsevodstvo*, 2023, no. 4, pp. 46-51. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-4-46-51>)
2. Abecia L., Jiménez E., Martínez-Fernandez G., Martín-García A.I., Ramos-Morales E., Pinloche E., Denman S.E., Newbold C.J., Yáñez-Ruiz D.R. Natural and artificial feeding management before weaning promote different rumen microbial colonization but not differences in gene expression levels at the rumen epithelium of newborn goats. *PLOS One*, 2017, vol. 12, no. 8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182235>
3. Aguerre M.J., Capozzolo M.C., Lencioni P., Cabral C., Wattiaux M.A. Effect of quebracho-chestnut tannin extracts at 2 dietary crude protein levels on performance, rumen fermentation, and nitrogen partitioning in dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 2016, vol. 99, no. 6, pp. 4476-4486. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10745>
4. Atlanderova K., Makaeva A., Miroshnikov S., Duskaev G. Change In The Taxonomic Composition Of Ruminant Microflora Against The Background Of Copper And Plant Extract. *Journal of Animal Science*, 2021, vol. 99, no. S3, pp. 235-236. <https://doi.org/10.1093/jas/skab235.430>
5. Benchaar C., Calsamiglia S., Chaves A.V., Fraser G.R., Colombatto D., McAllister T.A., Beauchemin K.A. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Animal Feed Science and Technology*, 2008, vol. 145, no. 1-4, pp. 209-228. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014>
6. Bodas R., Prieto N., Garcia-Gonzalez R., Andres S., Giraldez F.J., Lopez S. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2012, vol. 176, pp. 78-93. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>
7. Calsamiglia S., Busquet M., Cardozo P., Castillejos L., Ferret A. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 90, pp. 2580-2595. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>

8. Chuang S-T., Ho S-T., Tu P-W., Li K-Y., Kuo Y-L., Shiu J-S., Wang S-Y., Chen M-J. The Rumen Specific Bacteriome in Dry Dairy Cows and Its Possible Relationship with Phenotypes. *Animals (Basel)*, 2020, vol. 10, no. 10. <https://doi.org/10.3390/ani10101791>
9. Hassan F., Arshad M.A., Ebeid H.M., Rehman M.S., Khan M.S., Shahid S., Yang C. Phytogetic Additives Can Modulate Rumen Microbiome to Mediate Fermentation Kinetics and Methanogenesis Through Exploiting Diet–Microbe Interaction. *Front Vet Sci.*, 2020, vol. 7, pp. 575801. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.575801>
10. Henderson G., Cox F., Ganesh S., Jonker A., Young W., Global Rumen Census Collaborators, Janssen P.H. Rumen microbial community composition varies with diet and host, but a core microbiome is found across a wide geographical range. *Sci Rep.*, 2015, vol. 5. <https://doi.org/10.1038/srep14567>
11. Lillehoj H., Liu Y., Calsamiglia S., Fernandez-Miyakawa M.E., Chi F., Cravens R.L., Oh S., Gay C.G. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Vet Res.*, 2018, vol. 49, no. 1, pp. 76. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>
12. Malmuthuge N., Guan L.L. Understanding host-microbial interactions in rumen: searching the best opportunity for microbiota manipulation. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2017, vol. 8. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0135-3>
13. Min Y.W., Rhee P-L. The role of microbiota on the gut immunology. *Clin. Ther.*, 2015, vol. 37, no. 5, pp. 968-975. [tps://doi.org/10.1016/j.clinthera.2015.03.009](https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2015.03.009)
14. O'Hara E., Neves A.L.A., Song Y., Guan L.L. The Role of the Gut Microbiome in Cattle Production and Health: Driver or Passenger? *Annu Rev Anim Biosci.*, 2020, vol. 8, pp. 199-220. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083952>
15. Ornaghi M., Prado R.M., Ramos T.R., Catalano F.R., Mottin C., Creevey C.J., Huws S.A., Prado I.N. Natural plant-based additives can improve ruminant performance by influencing the rumen microbiome. *Research square*, 2020. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-29748/v1>
16. Ozbayram E.G., Ince O., Ince B., Harms H., Kleinsteuber S. Comparison of Rumen and Manure Microbiomes and Implications for the Inoculation of Anaerobic Digesters. *Microorganisms*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 15. <https://doi.org/10.3390/microorganisms6010015>
17. Patel D.D., Patel A.K., Parmar N.R. Shah M.T., Patel J.B., Pandya P.R., Joshi C.G. Microbial and carbohydrate active enzyme profile of buffalo rumen metagenome and their alteration in response to variation in the diet. *Gene*, 2014, vol. 545, pp. 88-94. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2014.05.003>

18. Tong J., Zhang H., Yang D., Zhang Y., Xiong B., Jiang L. Illumina sequencing analysis of the ruminal microbiota in high-yield and low-yield lactating dairy cows. *PLoS One*, 2018, vol. 13, no. 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198225>
19. Torres Manno M.A., Gizzi F.O., Martin M., Espariz M., Magni C., Blancato S.V. Metagenomic approach to infer rumen microbiome derived traits of cattle. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2023, vol. 39. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03694-1>
20. Vlasenko L., Atlanderova K. Assessment (*in vitro*) toxicity of small molecules of plant origin. *E3S Web of Conf. VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023)*, 2023, vol. 390. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202339007022>
21. Wallace R.J., Chaudhary L.C., McKain N., McEwan N.R., Richardson A.J., Vercoe P.E., Walker N.D., Paillard D. *Clostridium proteoclasticum*: A ruminal bacterium that forms stearic acid from linoleic acid. *FEMS Microbiol. Lett.*, 2006, vol. 265, pp. 195-201. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2006.00487.x>
22. Xue M., Sun H., Wu X., Guan L.L., Liu J. Assessment of Rumen Microbiota from a Large Dairy Cattle Cohort Reveals the Pan and Core Bacteriomes Contributing to Varied Phenotypes. *Appl Environ Microbiol.*, 2018, vol. 84, no. 19. <https://doi.org/10.1128/AEM.00970-18>
23. Yáñez-Ruiz D.R., Abecia L., Newbold C.J. Manipulating rumen microbiome and fermentation through interventions during early life: a review. *Front. Microbiol.*, 2015, vol. 6, pp. 1133. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01133>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Власенко Людмила Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в животноводстве

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий» Российской академии наук
ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация
lv.efremova@yandex.ru*

Атландерова Ксения Николаевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник испытательного центра

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехно-
логий» Российской академии наук
ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация
atlander-kn@mail.ru*

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биологических наук, доцент,
профессор РАН, ведущий научный сотрудник отдела кормления
сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С.Г. Ле-
ушина
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр биологических систем и агротехно-
логий» Российской академии наук
ул. 9 января, 29, г. Оренбург, 460000, Российская федерация
gduskaev@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ludmila V. Vlasenko, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Labora-
tory of Breeding and Genetic Research in Animal Husbandry
*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
lv.efremova@yandex.ru
SPIN-code: 2484-2215
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3790-2783>
ResearcherID: F-2037-2015
Scopus Author ID: 55344908600*

Kseniya N. Atlanderova, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Test-
ing Centre
*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
atlander-kn@mail.ru
SPIN-code: 9463-1130
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3977-4831>
ResearcherID: AAD-1680-2021
Scopus Author ID: 55344908600*

Galimzhan K. Duskaev, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor,
Professor RAS, Leading Researcher, Department of Feeding for Farm
Animals and Feed Technology named after S.G. Leushin
*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences*
29, 9 Yanvarya Str., Orenburg, 460000, Russian Federation
gduskaev@mail.ru
SPIN-code: 7297-3319
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>
ResearcherID: N-4454-2014
Scopus Author ID: 56192764700

Поступила 28.03.2024

После рецензирования 15.05.2024

Принята 23.05.2024

Received 28.03.2024

Revised 15.05.2024

Accepted 23.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1316

EDN: EKAAIX

UDC 636.59:636.084:612.6



Original article

INVESTIGATING THE EFFECT OF STRESS FACTOR ON HOMEOSTASIS AND FERTILITY OF FERTILE QUAILS

A.A. Taghiyev, A.Ya. Mammadova

Abstract

During the study, the influence of stress factors on the physiological state and productivity of quails was clarified and measures were taken to prevent such situations from occurring. For the first time, the research work was carried out on the “Texas albino” breed of quails created in the USA with a high live mass. Measures were taken to prevent the causes of diseases among quails and changes in homeostasis caused by temperature stress in spring and summer.

Purpose. Taking into account the above, we aimed to investigate the causes of diseases and changes in homeostasis among quails as a result of temperature stress in spring and summer.

Materials and methods. During the study, when the quails were kept in open-air 3-story cages under the shed, the air temperature, humidity, and air current speed, which affect the clinical-physiological condition of the quails, were determined 3 times a day. To control these indicators, a barothermohygrometer was used. Quails suspected of having the disease and less active in the cage were selected and it was clarified how leukocytes, which are indicators of homeostasis, change in the quail body. The effect of temperature stress caused by high temperature in June, July, August on homeostasis indicators was determined in quails, and measures were taken to reduce this abnormal effect.

Results. “Betafin”, “MikitoV”, “Anti stress Forte Wsp” preparations were used to prevent changes in homeostasis when quails were kept during temperature stress. Those preparations were added to the water and feed taken by the quails 3-4 hours before the start of temperature stress. During the study, the morphobiological indicators of the quails’ blood and the quality indicators of the eggs obtained from quails were also determined, and it was determined that the applied preparations were effective during temperature stress.

Conclusion. In order to prevent changes caused by temperature stress in homeostasis when quails are kept outdoors under a shed during the summer months, on the days when the air temperature rises, “Betafin”, “MikitoV”, “Anti stress Forte Wsp” should be added to the food and water they drink before 10:00 a.m.

Keywords: quail; homeostasis; disease; diagnose; leukocytes; stress; temperature; fertility; quail’s egg; anomalies

For citation. Taghiyev A.A., Mammadova A.Ya. Investigating the Effect of Stress Factor on Homeostasis and Fertility of Fertile Quails. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 66-77. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1316

Научная статья

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СТРЕССА НА ГОМЕОСТАЗ И ПЛОДОВИТОСТЬ ПЕРЕПЕЛОК-НЕСУШЕК

А.А. Тагиев, А.Я. Мамедова

Аннотация

В ходе исследования установлено влияние стрессовых факторов на физиологическое состояние и продуктивность перепелов и приняты меры по предотвращению возникновения подобных ситуаций. Впервые исследовательская работа проведена на выведенной в США породе перепелов «Техасский альбинос» с высокой живой массой. Приняты меры по предупреждению причин заболеваний перепелов и изменений гомеостаза, вызванных температурным стрессом в весенне-летний период.

Цель. Изучить причины заболеваний и изменений гомеостаза перепелов в результате температурного стресса в весенне-летний период.

Материалы и методы. В ходе исследования при содержании перепелов в открытых 3-этажных клетках под навесом 3 раза в сутки определяли температуру воздуха, влажность и скорость воздушного потока, влияющие на клинико-физиологическое состояние перепелов. Для контроля этих показателей использовали баротермогигрометр.

Отобраны перепела с подозрением на заболевание и менее активные в клетке и выяснено, как в организме перепелов изменяются лейкоциты, являющиеся показателями гомеостаза. У перепелов определено влияние температурного стресса, вызванного высокой температурой в июне, июле, августе,

на показатели гомеостаза и приняты меры по снижению этого аномального эффекта.

Результаты. Препараты «Бетафин», «Микитов», «Антистресс Форте Wsp» использовали для предотвращения изменений гомеостаза при содержании перепелов в условиях температурного стресса. Данные препараты добавляли в воду и корм, принимаемые перепелками, за 3-4 часа до начала температурного стресса. В ходе исследования также были определены морфобиологические показатели крови перепелов и качественные показатели яиц, полученных от перепелов, и установлено, что применяемые препараты эффективны при температурном стрессе.

Заключение. Для предотвращения вызванных температурным стрессом изменений гомеостаза при содержании перепелов на открытом воздухе под навесом в летние месяцы, в дни повышения температуры воздуха следует применять препараты «Бетафин», «Микитов», «Антистресс Форте Wsp». добавлять в пищу и воду, которую они пьют до 10:00.

Ключевые слова: перепелка; гомеостаз; болезнь; диагностика; лейкоциты; стресс; температура; плодовитость; перепелиное яйцо; отклонения

Для цитирования. Тагиев А.А., Мамедова А.Я. Исследование влияния факторов стресса на гомеостаз и плодовитость перепелок-несушек // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 66-77. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1316

Introduction

A lot of scientific research work has been conducted on the effects of temperature stress on birds and it has been proven that under the influence of temperature stress, various productivity indicators (meat, eggs, bird's feather) in birds are low and great changes occur in the clinical-physiological state of the body. Many scientists [1; 2; 3; 12] show that stress occurs not only due to temperature changes, but also during transportation of quails from one area to another. They explained this by the variations that occur when determining the leukoformula during the blood examination. A researcher working in the field of physiology shows that [8] if the stress continues for a long time, due to the fact that the coefficient of tolerance against heat decreases, great changes occur in the body, which is reflected in the blood.

Homeostasis is a Greek word derived from the words “homois” and “stasis”, which means that the body remains unchanged in the same form. For the first time, this term - the word homeostasis - was used by Walter Cannon in 1932 [6; 7].

Homeostas hormones in birds, as in all mammals, is usually understood as a combination of internal processes involving the endocrine system, and metabolism. A lot of research work has been carried out in this field, the negative effects of high temperature on birds in the countries where temperature is monitored have been researched, and the changes in homeostasis in the body have been studied. Many scientists [5; 9; 10; 14] used to show that homeostasis means only the internal environment of the body - blood, lymph, intercellular fluid, and nowadays these indicators mean the content of all physiological processes occurring in the body. Farmers and private farm owners in Azerbaijan who keep quails in spring and summer keep quails in outdoor cages from May 15 to October 15. Cages are usually made of light construction material and placed under the shed in areas without two-way air flow.

During the first days, under the influence of temperature stress, internal diseases of a non-infectious nature and non-contagious due to violations of zoohygienic sanitary rules are often observed among quails [4; 11; 12; 13].

Many researchers working in this field [7] indicate that noise, nutrients, storage conditions, air pressure indicators, changes in body PH and vibration cause stress in birds. They came to the conclusion that when the movement of vibrations is 140-160 times per minute, stress occurs in birds. Scientists clarified the formation of stress when determining the leukocyte formula. When the vibrations in the area where the birds are kept are 140-160 times per minute, the amount of eosinophils increases by 69.9%, the amount of basophils by 58.06%, the amount of lymphocytes by 19.4%, and the amount of nucleated neutrophils by 70.6% exceeds the physiological norm.

Purpose

Taking into account the above, we aimed to investigate the causes of diseases and changes in homeostasis among quails as a result of temperature stress in spring and summer.

Materials and methods

The study was conducted in the Azerbaijan State Agrarian University's "Education-Experimental Center for Quail Breeding", in the vivarium of the "Veterinary Medicine" Faculty, and laboratory examinations in the laboratory No. 23 of the Department of Anatomy, Pathanatomy and Pathophysiology. During the study, when the quails were kept in open-air 3-story cages, under the shed, the air temperature, humidity, and air current speed, which affect the clinical-physiological condition of the quails due to changes in atmosphere, were

determined 3 times a day. A barothermohygrometer was used to monitor these indicators. Suspected diseased quails, which were less active in the cage, were selected, and how leukocytes, which are indicators of homeostasis, change in the quail body was determined.

When determining the amount of leukocytes in the blood, leukocyte index and the index of adaptation to stress, it was determined using accordingly

$X = \frac{A \times 4000 \times M}{H}$, here: X - amount of leukocytes in 1 µl of blood, A - the amount of leukocytes counted in 100 large squares, M - degree of dilution of blood (20), H - the number of small squares (16x25=400) in 25 large squares, 4000 - the volume of the counting chamber on the small square - 1/4000 µl;

$Li = \frac{L}{H}$, here: Li - leukocyte index, L - lymphocyte leukocytes, H - were neutrophilic leukocytes;

$LiQ = \frac{L}{G}$, here: LiQ - lymphocytic granulocyte index, L – lymphocyte leukocytes, G - the ratio of granulocytes to the total number formulas. Urit - 332 and Urit - 800 Vet equipment were used during the blood examination to prevent temperature stress that may occur as a result of high temperature. Weather information was used from publicly available internet resources to determine when temperature stress would occur, so the amount of temperature in the environment.

In order to eliminate the danger during temperature stress, we set the safety index (SI(security index)) in quails every time. The safety index was determined by the following formula. The experiment was conducted according to the following scheme.

$$SI = (1,8 T^0 + 32) + \text{relative humidity}\%$$

Table 1.

Scheme of conducting the experiment

Groups	Feed additives	Substances used to reduce the effects of temperature stress
I experiment group	MR + Mikitov	0,5 qr - for 1 kq food
II experiment group	MR + Betafin	0,1qr -for1 litr water
III experiment group	MR +Anti stress forte WSP	0,8 qr - for 1 litr water

Note: MR-main ration

The applied substances were applied 2 h before the onset of temperature stress. In order to increase the nutritional value of the feed in all groups, 5 g

of sprouted wheat and 2 g of Aydag zeolite were added to the feed ration in all groups.

During the study, the productivity of quail birds during high temperature stress was also determined. Productivity of older quails before stress and after taking preventive measures, their live weight and ovarian productivity were determined based on generally accepted methods.

Results and discussion

We first determined how the safety index changed in fertile quails under the shed during the temperature stress period when the air temperature was 36-38 °C. When determining the safety index (SI), the temperature and relative humidity were examined at a distance of 20 cm from the cages and between the first, third floors of the cage. When clarifying the safety index in all three groups with the formula specified in the methodology of the research, it was found that the safety index in all groups varied from the norm (normally 150) to 166 in the first group, 169 in the second group, and 167 in the third group, which means that the fertile quails are stressed during the temperature stress period. The temperature tolerance and safety index against temperature stress were determined that the safety index was higher in the quails kept on the third floor of the cages, because temperature was hotter in above than floor. This caused more changes in the blood and productivity indicators of the quails. During the period when the temperature is high under the shed, at the same time, the heat resistance index (HRI) of quails was measured by Yu.A. Rauschenbach's methodology. From the obtained results, it was clear that the heat resistance index (HSI) was 81.72; 80.36 and 80.93 in all three groups and it causes temperature stress in quails. During this period, the quails were inactive and refused to eat food, they tried to drink a lot of the cool water provided for them. Usually, the heat resistance index is considered normal when it varies between 83-85. From the results obtained above, it is clear that temperature stress makes the heat resistance index significantly lower than the physiological norm, so it is 1,28-3,28 in the first experimental group; 2,64-4,64 in the second and 2,07-4,07 in the third experimental group. In this period, the effect of the substances applied during temperature stress on the morphological parameters of the blood of fertile quails was also investigated.

Taking into account the above, the feed additives «Betafin», «Mikitov» and «Anti stress forte WSP» were added to the feed and water of the quails, starting from around 10:00 a.m during the period when the temperature would be at a high level, in order to increase the resistance of the quails to temperature stress.

Table 2.

**The effect of the substances applied during temperature stress
on the morphological parameters of the fertile quail's blood (M ± m)**

Indicators	Groups		
	I	II	III
Erythrocytes, $10^{12}/l$	$3,06 \pm 0,21$	$2,86 \pm 0,19$	$3,04 \pm 0,12$
Leucocytes, $10^9/l$	$26,11 \pm 0,71$	$27,31 \pm 0,54$	$26,42 \pm 0,34$
Hemoglobin, g/l	$94,4 \pm 2,19$	$91,7 \pm 3,09$	$93,7 \pm 1,93$
Hematocrit, g/l	$38,11 \pm 2,04$	$38,66 \pm 2,17$	$38,89 \pm 1,49$

In order to get more accurate information about the changes that occur in the body of quails during temperature stress, we investigated how the leukocyte formula of quails is affected during temperature stress. The obtained results are shown in table No. 3.

Table 3.

**The effect of the substances applied on leukocyte indicators
of fertile quail's blood (M±m)**

Indicators	Groups		
	I	II	III
Leucocyte, $10^9/l$	$26,11 \pm 0,41$	$27,31 \pm 0,54$	$26,42 \pm 0,34$
Pseudoeosinophils, %	$20,2 \pm 1,68$	$20,9 \pm 1,19$	$20,1 \pm 1,7$
Eosinophils, %	$3,3 \pm 0,42$	$3,1 \pm 0,53$	$3,4 \pm 0,71$
Monocytes, %	$3,7 \pm 0,32$	$2,2 \pm 0,36$	$3,4 \pm 0,25$
Basophils, %	$0,5 \pm 0,51$	$0,5 \pm 0,53$	$0,6 \pm 0,52$
Lymphocytes, %	$72,31 \pm 2,12$	$73,3 \pm 2,17$	$72,5 \pm 2,49$

As can be seen from table No. 3, all the applied preparations caused the physiological parameters of blood to be maintained around physiological norms, especially in groups I and III, despite the high temperature in the area where the quails were kept. It was determined that the morphological indicators of the blood of the fertile quails kept in the II group were at the lower limit of the physiological norms. Determination of morphological indicators of blood showed that all three preparations applied in June and July showed that the homeostasis of quails changed suitable to the physiological norm. As can be seen from Table 3, the amount of leukocytes in all groups was found to be at the upper limit of the physiological norm. The amount of leukocytes in experimental group I was equal to $26.11 \times 10^9/l$, in experimental group II $27.31 \times 10^9/l$, and in experimental group III $26.42 \times 10^9/l$. Here, it was

clarified that the amount of leukocytes in mother quail kept in group II was 1.2×10^9 /l higher than group I, and 0.89×10^9 /l higher than group III. At the same time, it was determined that the number of lymphocytes was higher in experimental group II than in experimental groups I and III (73.3%). In this period, we determined that the blood of fertile quails in the I group was 72.3% and in the III group it was 72.5%. Again, it was clarified that the substance applied in experimental group II could not fully prevent stress during temperature stress. Therefore, it is better to use «Betafin» and «Anti stress forte Wsp» substances in experimental groups I and III. Nevertheless, all three drugs can be used to prevent temperature stress of quails. During the study, the biochemical parameters of quails were investigated after the application of substances used to prevent temperature stress. The obtained results are shown in table No.4.

Table 4.

Effect of substances applied during temperature stress on biochemical parameters of blood of fertile quails (M $\pm$ m)

Indicators	Groups		
	I	II	III
The protein, g/l	35,1 $\pm$ 0,04	34,8 $\pm$ 0,03	35,9 $\pm$ 0,04
Albumin, %	41,34 $\pm$ 0,04	40,9 $\pm$ 0,02	41,71 $\pm$ 0,02
Globulins, %	58,43 $\pm$ 0,02	58,96 $\pm$ 0,01	58,14 $\pm$ 0,03
Glucose, mmol/l	10,88 $\pm$ 0,02	10,74 $\pm$ 0,03	11,04 $\pm$ 0,03
Urea, mmol/l	0,43 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,02	0,47 $\pm$ 0,01
Calcium(Ca), mmol/l	1,0 $\pm$ 0,01	0,9 $\pm$ 0,02	1,1 $\pm$ 0,12
Phosphorus (P), mmol/l	1,59 $\pm$ 0,02	1,58 $\pm$ 0,01	1,62 $\pm$ 0,02

During the period when the quails were kept under the shed in June and July, the examination of biochemical indicators after the application of substances on the days of temperature stress showed that the amount of total protein, albumin, globulin, glucose, urea, calcium and phosphorus in experimental groups I and III was around the physiological norm. However, as in the morphological indicators of the blood, the indicators in the II experimental group were again at the lowest limit of the physiological norm. The study of biochemical indicators once again showed that all three applied preparations are reflected in the prevention of temperature stress in quails.

The effect of substances applied during the period of temperature stress on productivity and quality indicators of eggs obtained from them was also investigated. The obtained results are shown in table No. 5.

Table 5.

Morphological indicators of the eggs taken from the White Texas bred quails during temperature stress ($M \pm m$)

Indicators	Groups					
	I		II		III	
	June (daily)	July (daily)	June (daily)	July (daily)	June (daily)	July (daily)
	150-160	280-210	150-180	210-250	150-180	180-210
Weight of egg, gr	11,06 $\pm$ 0,2	11,02 $\pm$ 0,3	11,34 $\pm$ 0,2	11,29 $\pm$ 0,3	11,08 $\pm$ 0,2	11,07 $\pm$ 0,3
Weight of egg yolk, gr	3,51 $\pm$ 0,1	3,44 $\pm$ 0,2	3,72 $\pm$ 0,2	3,61 $\pm$ 0,2	3,50 $\pm$ 0,3	3,47 $\pm$ 0,3
Weight of albumen(egg white),gr	6,38 $\pm$ 0,3	6,37 $\pm$ 0,1	6,40 $\pm$ 0,2	6,48 $\pm$ 0,3	6,39 $\pm$ 0,1	6,43 $\pm$ 0,2
Weight of egg-shell,gr	1,17 $\pm$ 0,02	1,16 $\pm$ 0,01	1,22 $\pm$ 0,01	1,20 $\pm$ 0,01	1,19 $\pm$ 0,01	1,17 $\pm$ 0,1

As can be seen from table No. 5, the Mikitov feed supplement applied in experimental group II during the period of temperature stress had a positive effect on the productivity of quails during temperature stress and the quality indicator of the eggs. Thus, the weight of the eggs from the II experimental group is 11.29-11.34 g, the weight of the yolk is 3.61-3.72 g, the weight of the egg white is 6.40-6.48 g, and the weight of the egg shell is 1.20-1.22 g, it was determined that the indicators of egg quality were low in experiment groups I and III. The highest variability was found to be significantly lower in the weight of egg yolk and eggshell in experimental groups I and III. From the obtained results, it became clear that in the experiment group where “Mikitov” feed supplement was applied, despite the fact that the blood indicators were at the lower limit of the physiological norm during the period of temperature stress, the egg productivity of the fertile quails kept in this group was high.

Conclusion

In order to prevent changes caused by temperature stress in homeostasis when quails are kept outdoors under a shed during the summer months, on the days when the air temperature rises, “Betafin”, “Mikitov”, “Anti stress Forte Wsp” should be added to the food and water they drink before 10:00 a.m.

References

1. Aliyev A.I. *Physiology of farm animals*. Baku: Elm, 2008, pp. 31-34.
2. Allahverdiyev R.N., Guliyeva K.A. Practical lessons from pathological physiology. *Science and Education*. Baku, 2016, pp. 37-43.

3. Fatma Eti Aslan, Nermin Olgun. *Fizyopatoloji* / ed. Fatma Eti Aslan, Nermin Olgun. Ankara: Akademisyen, 2017, 582 p.
4. Kahramanov T.F., Brezginova T.N. et al. Modern approaches, diagnosis and therapy of diseases of exotic birds in captivity. *Hippology of veterinary medicine*, 2017, no. 1 (23), pp. 61-62.
5. Kavtarashvili A.Sh., Kolokolnikova T.N. Physiology and productivity of poultry under stress (review). *Agricultural Biology*, 2010, no. 4, pp. 25-37.
6. Khamitova L.E. Comparative dynamics of indicators of programmed cell death and hepatocyte proliferation in broiler embryos. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 2, pp. 20-22.
7. Khlebovich V.V. Levels of homeostasis. *Priroda*, 2007, no. 2, pp. 16-24.
8. Kolesnik E.A., Ksenofontov D.A. *Physiology of the blood system*. St. Petersburg: Lan, 2023, 116 p.
9. Kotesha N.Ya. Correction of homeostasis in the organism of agricultural animals under the influence of extractal factors / N.Ya. Kotesha, V.E. Runov, E.S. Dementieva. *Information and Education*, 2014, no. 6 (14), pp 150-151.
10. Maximov V.I. *Physiology and ethology of agricultural birds*. St. Petersburg: Lan, 2021, 333 p.
11. Mamedova A.Yu. Dynamics of growth and development of quails under temperature stress / A.A. Tagiev, A.Yu. Mammadova. *Nakhchivan State University "Scientific Works". Series "Natural Sciences and Medicine"*, 2019, no. 3(100), pp. 217-222.
12. Tagiev A.A. Prevention of heat stress in keeping ornamental meat chickens for meat production / A.A. Tagiev, A.A. Aliev, A.G. Kerimov. *Young Scientist*, 2016, no. 6(110), pp 99-102.
13. Tagiyev A. E., Demirulus H., Memmedov R. *Farming, Snow, Turkey, Pheasant, Partridge, Pigeon and Ostrich Breeding*. Istanbul: Academi Publications, 2022, 190 p.
14. Vachanov E.G., Tikhonov S.L. et al. Stress diagnostics in poultry farming and quality of chicken meat with different stress resistance. *Polzunov Bulletin*, 2016, no. 1, pp. 34-38.

Список литературы

1. Алиев А.И. Физиология сельскохозяйственных животных. Баку: Вяз, 2008. С. 31-34.
2. Аллахвердиев Р.Н. Практические занятия из патологической физиологии / Р.Н. Аллахвердиев, К.А. Гулиева // Наука и образование. Баку, 2016. С. 37-43.

3. Fatma Eti Aslan, Nermin Olgun. Fیزیopatoloji / ed. Fatma Eti Aslan, Nermin Olgun. Ankara: Akademisyen, 2017. 582 s.
4. Кахраманов Ц.Ф. Современные подходы, диагностика и терапия болезней экзотических птиц в неволе / Ц.Ф. Кахраманов, Т.Н. Брезгинова и др. // Журнал. Иппология ветеринарной медицины. 2017. № 1 (23). С. 61-62.
5. Кавтарашвили А.Ш. Физиология и продуктивность птицы в условиях стресса (обзор) / А.Ш. Кавтарашвили, Т.Н. Колокольникова // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 4. С. 25-37.
6. Хамитова Л.Е. Сравнительная динамика показателей запрограммированной гибели клеток и пролиферации гепатоцитов у эмбрионов бройлеров // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 20-22.
7. Хлебович В.В. Уровни гомеостаза // Природа. 2007. № 2. С. 16-24.
8. Колесник Е.А. Физиология системы крови / Е.А. Колесник, Д.А. Ксенофонов. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 116 с.
9. Костеша Н.Я. Коррекция гомеостаза в организме сельскохозяйственных животных под влиянием экстратальных факторов / Н.Я. Костеша, В.Е. Рунов, Е.С. Дементьева // Информация и образование. 2014. №6 (14). С. 150-151.
10. Максимов В.И. Физиология и этология сельскохозяйственных птиц. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 333 с.
11. Мамедова А.Ю. Динамика роста и развития перепелов при температурном стрессе / А.А. Тагиев, А.Ю. Мамедова // Нахчыванский государственный университет «Научные труды». Серия «Естественные науки и медицина». 2019. № 3(100). С. 217-222.
12. Тагиев А.А. Профилактика теплового стресса при содержании декоративных мясных кур для мясного производства / А.А. Тагиев, А.А. Алиев А.Г. Керимов // Молодой учёный. 2016. № 6(110). С. 99-102.
13. Tagiyev A. E., Demirulus H., Memmedov R. Farming, Snow, Turkey, Pheasant, Partridge, Pigeon and Ostrich Breeding. Istanbul: Academi Publications, 2022. 190 p.
14. Вачанов Е.Г. Диагностика стресса в птицеводстве и качество куриного мяса с различной стрессоустойчивостью / Е.Г. Вачанов, С.Л. Тихонов и др. // Ползуновский вестник. 2016. № 1. С. 34-38.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Arif Alirza Taghiyev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Azerbaijan State Agrarian University
450, Ataturk Ave, Ganja, AZ2000, Azerbaijan
tagiev1951@mail.ru

Aytaj Yasin Mammadova, Ph.D. Student, Lecturer, Department of Anatomy, Physiology and Zoology
Ganja State University
425, Heydar Aliyev Ave., Ganja, AZ2001, Azerbaijan
aytasmamedova2012@gmail.com

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тагиев Ариф Алирза оглы, доктор аграрных наук, профессор
Азербайджанский государственный аграрный университет
пр. Атаатюрка, 450, г. Гянджа, AZ2000, Азербайджан
tagiev1951@mail.ru

Мамедова Айтадж Ясин кызы, докторант, преподаватель кафедры
Анатомии, физиологии и зоологии
Гянджинский государственный университет
пр. Гейдара Алиева, 425, г. Гянджа, AZ2001, Азербайджан
aytasmamedova2012@gmail.com

Поступила 21.02.2024

После рецензирования 17.04.2024

Принята 02.05.2024

Received 21.02.2024

Revised 17.04.2024

Accepted 02.05.2024

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1017

EDN: ETNKPM

УДК 502.53:581.5



Научная статья

К ВОПРОСУ ОБ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ БИОЛОГИЧЕСКИ ЦЕННЫХ ЛЕСОВ НА ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*А.А. Гайворонская, М.В. Долганова,
В.Т. Демихов, О.Н. Чиграй, Д.И. Чучин*

Аннотация

Обоснование. Работы по биомониторингу лесов, биологически ценных, в том числе относящихся к международной категории «леса высокой природоохранной ценности» актуальны, особенно в староосвоенном регионе, а также и слабо изучены в мониторинговом отношении. В работе проведено обобщение диагностических характеристик модельных лесных объектов, объединённых единым режимом охраны, лесоуправлением, разнородных по элементам, в значительной степени подвергшихся преобразованиям и имеющих разнообразный гомеостатический потенциал для выделения индикаторных показателей «сохранности» лесов, т.е. для решения проблемы локальных лесных участков с минимальной буферной зоной.

Цель – установить наличие показательных биодиагностических признаков в лесных биоценозах на охраняемых территориях для оценочных мероприятий и управления развитием ценных сообществ в Брянской области.

Материалы и методы. При обследовании биоценозов лесов (первый этап 2015 г., второй 2022-2023 гг.) на шести охраняемых территориях, в урочищах крупного города использовались маршрутные, геоботанические, цено-

популяционные методы, производился расчёт индекса Симпсона, выявлялось лесовозобновление.

Результаты исследований. Наибольшее видовое разнообразие выявлено для высокотравных ельников на небольших по площади участках памятника природы «Болото Рыжуха» (Навлинский район). Уникальные сообщества – заболоченные сосняки, черноольшаники с высоким видовым разнообразием (индекс разнообразия Симпсона = 20,2) описаны в лесах «Петровское болото» (Мглинский район). Все модельные исследуемые лесные биоценозы имеют элементы (группы) биологически ценных лесов. Полидоминантные ельники Навлинского района как рефугиум уникальных, в том числе и узкотолерантных видов рекомендуются к занесению в региональную Зелёную книгу. Наименьшей трансформации от стрессовых факторов подвержены леса и заболоченные леса «Петровское болото». Городские леса различной степени трансформации – старовозрастные насаждения сосны лесной в урочище Лесные сараи, дубовые леса, их производные, черноольшаники урочища Заставище – имеют самые низкие показатели индекса разнообразия Симпсона, отмечено упрощение видового состава, пространственной структуры – вертикальной и горизонтальной. Все городские леса, тем не менее, играют значительную средообразующую и рекреационную роль. Анализ фитоценотических (эколого-ботанических) элементов флоры показали, что в лесных урочищах городов не наблюдается «всплеска» инвазивных видов, однако чётко выделен переход из одной эколого-ботанической группы к другой. Таким образом способность к поддержанию гомеостаза сохранена. Наименьшее участие адвентов в сложении локальных флор представлены в охраняемых территориях «Орловские Дворики» (2 %), «Петровское болото» (3 %).

Заключение. Проведённые исследования позволили установить приоритетные факторы риска для биогеоценозов леса: недостаточная площадь для охраны и воспроизводства лесов; рекреация и расположение на освоенных территориях; отсутствие буферной зоны, необходимой для сохранения и воспроизводства видов-эдификаторов; внедрение адвентивных видов в биогеоценозы леса и их натурализация; особый рисковый фактор – фрагментация территории и, как следствие, мозаичность растительных сообществ, в том числе и замена эталонных (квазинативных) сообществ на производные, олигодоминантные. Таким образом, соотношение эколого-ботанических групп в составе локальной флоры исследуемых лесных массивов служит хорошим индикатором сохранности биогеоценозов леса или присутствия стрессовой нагрузки – рекреационной дигрессии. Также для индикации «сохранности» лесных биоценозов рекомендовано использовать индекс Симпсона и показатели α -разнообразия.

Ключевые слова: лесные сообщества; охраняемые природные территории; биологически ценные леса; индикаторные показатели; Брянская область

Для цитирования. Гайворонская А.А., Долганова М.В., Демихов В.Т., Чиграй О.Н., Чучин Д.И. К вопросу об индикаторных показателях биологически ценных лесов на охраняемых территориях // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 78-102. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1017

Original article

TO THE ISSUE OF INDICATORS OF BIOLOGICALLY VALUABLE FORESTS IN PROTECTED AREAS

*A.A. Gaivoronskaya, M.V. Dolganova,
V.T. Demikhov, O.N. Chigray, D.I. Chuchin*

Abstract

Background. Work on biomonitoring of biologically valuable forests, including those belonging to the international category of «forests of high conservation value», is relevant, especially in the old developed region, and is also poorly studied in terms of monitoring. The work summarizes the diagnostic characteristics of model forest objects, united by a single protection regime, forest management, heterogeneous in elements, largely subjected to transformations and having diverse homeostatic potential for identifying indicator indicators of forest «safety», i.e. to solve the problem of local forest areas with a minimum buffer zone.

The **purpose** of the article is to establish the presence of indicative biodiagnostic features in forest biocenoses in protected areas for assessment activities and management of the development of valuable communities in the Bryansk region.

Materials and methods. When surveying forest biocenoses (first stage 2015, second 2022-2023) in six protected areas, in the tracts of a large city, route, geobotanical, coenopopulation methods were used, the Simpson index was calculated, and reforestation was identified.

Results. The results were revealed: the greatest species diversity was revealed for tall grass spruce forests in small areas of the natural monument «Ryzhukha Swamp» (Navlinsky district). Unique communities - swampy pine forests, black alder forests with high species diversity (Simpson diversity index = 20.2) are described in the «Petrovskoe Swamp» forests (Mglinisky district). All model forest biocenoses under study have elements (groups) of biologically valuable forests.

Polydominant spruce forests of the Navlinsky district, as a refugium of unique, including narrowly tolerant species, are recommended for inclusion in the regional Green Book. Forests and swampy forests of the «Petrovskoe Swamp» are subject to the least transformation from stress factors. Urban forests of varying degrees of transformation - old-growth stands of pine in the forest sheds tract, oak forests, their derivatives, black alder forests of the Zastavische tract - have the lowest indicators of the Simpson diversity index, a simplification of species composition and spatial structure - vertical and horizontal - are noted. All urban forests, however, play a significant environment-forming and recreational role. Analysis of phytocenotic (ecological-botanical) elements of the flora showed that in the forest areas of cities there is no «surge» of invasive species, but the transition from one ecological-botanical group to another is clearly identified. Thus, the ability to maintain homeostasis is preserved. The smallest participation of advents in the composition of local floras is represented in the protected areas «Orlovskie Dvoriki» (2%) and «Petrovskoe Swamp » (3%).

Conclusion. The conducted research made it possible to establish priority risk factors for forest biogeocenoses: insufficient area for the protection and reproduction of forests; recreation and location in developed areas; lack of a buffer zone necessary for the conservation and reproduction of edificatory species; introduction of adventive species into forest biogeocenoses and their naturalization; A special risk factor is the fragmentation of the territory and, as a consequence, the mosaic nature of plant communities, including the replacement of standard (quasi-native) communities with derivative, oligodominant ones. Thus, the ratio of ecological and botanical groups in the local flora of the forest areas under study serves as a good indicator of the preservation of forest biogeocenoses or the presence of stress load - recreational digression. It is also recommended to use the Simpson index and α -diversity indicators to indicate the «safety» of forest biocenoses.

Keywords: forest communities; protected natural areas; biologically valuable forests; indicator indicators; Bryansk region

For citation. Gaivoronskaya A.A., Dolganova M.V., Demikhov V.T., Chigray O.N., Chuchin D.I. To the Issue of Indicators of Biologically Valuable Forests in Protected Areas. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 78-102. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1017

Брянская область – лесной регион, который характеризуют разнообразные лесные сообщества в различной степени сохранности, для которого известны немногочисленные работы, описывающие леса, входящие в международный мониторинговый список – с уникальной для географических

условий структурой, как рефугиумы различных элементов биоразнообразия [4; 9]. Для этой биологической группы лесов важно осуществление длительных, комплексных, методически обоснованных, систематических наблюдений, их анализа и прогнозирования, т.е. проведение лесного мониторинга, основные положения которого закреплены в Лесном кодексе РФ, национальной программе «Леса России», многих нормативных и правовых актах [1; 5].

Лесной мониторинг, актуальный для любой «лесной» страны Европы, предусматривает наблюдение за видовым и структурным разнообразием, распространением возбудителей патологий, вредителями, последствиями рекреационного природопользования. Самое актуальное направление долгосрочных исследований – «эколого-биологическое», развивающаяся в виде государственного и общественного мониторинга в последние пятьдесят лет как в отечественном лесоведении, так и зарубежной биоэкологии, лесной экологии [10; 12; 16; 18-22]. Актуальность настоящего исследования определяется созданием динамичной базы данных, обобщением экспертных заключений для выделения «узлов» экокаркаса в регионе с высокой природопользовательской нагрузкой, также присвоения статусам: «региональный», «национальный». Каждый учётный год – с 2015 по 2023 – биомониторинговые сведения о лесах на ОТ обновляются с учётом последствий антропогенного воздействия в системе «лес – окружающая среда» в дополнение к ранее обнародованным материалам [2; 6]. Собраны и интерпретированы сведения, рекомендуемые ведущими исследователями лесов: видовой и пространственной структуры, элементов экологических ниш и их заполненность, показателей «коренных лесов» по элементам биоразнообразия, характере лесовозобновления, геоботанической характеристике и классификации лесных сообществ в свете международного кодекса номенклатуры ценозов [3; 4; 11]. На некоторых ОТ Брянской области сохранились небольшие в территориальном отношении лесные участки, мало затронутые изменениями в результате освоения территорий и представляющие несомненную ценность как элемент «коренных лесов»: с ключевыми для воспроизводства биоразнообразия территориями. Обоснование критериев диагностики лесных биоценозов, выполняющих биосферные средообразующие и средоподдерживающие функции позволит не только создать «экокаркас», но и сравнить с результатами реализации международных программ в западноевропейских «лесных» странах, которые сохраняют небольшие по площади лесные участки, восстанавливают их функции в высокоурбанизированных районах [12; 16; 17; 20].

При обследовании лесных земель на охраняемых территориях (ОТ) поставлена цель – установить наличие показательных биодиагностических признаков в лесных биоценозах на охраняемых территориях для оценочных мероприятий и управления развитием ценных сообществ в Брянской области. Показатели, намеченные для базового биомониторингового исследования, соответствуют «Критериям и индикаторам устойчивого управления лесами» (Хельсинские и Монреальские рекомендации, семь критериев), полученные диагностические показатели соотносятся с указаниями Глобальной оценки лесных ресурсов. Восьмилетние наблюдения за лесными сообществами учитывали состояние и изменение критериев: «биоразнообразие», «жизнеспособность», «горизонтальная и вертикальная структура», «видовая насыщенность».

Методы, методики и материалы для исследования

При сборе и обобщении биодиагностических показателей осуществлялось сплошное обследование лесных участков на ОТ, пробные площади (ПП) – стационарные, исследования с полной инвентаризацией флоры и растительности, камеральной обработкой и учётом рекомендаций, предложенных А.А. Нотовым для установления и обоснования «биологически ценных лесов». Для отработки приёмов по выделению таких участков лесных сообществ нами рассмотрены модельные объекты, находящиеся на охраняемых природных территориях, представляющих нефрагментированные участки, изученные или малоизученные с точки зрения локальных лесных флор, находящиеся в территориально различных участках области [8; 9].

При рекогносцировочных исследованиях во всех лесных объектах установлены биоценозы различного сукцессионного состояния, в том числе категорий «субклаймаксовые», «клаймаксовые» [9].

Все ОТ имеют различную площадь, модельные объекты – памятники природы: Орловские дворики (4,2 га, лесной); Леса вдоль реки Болва (1164 га, ботанический); Болото Рыжуха (2922 га, ландшафтный); Рёвны (18 га, ландшафтный); Хутор Любин (164 га, лесной); Петровское болото (143 га, гидрологический). Сбор данных проводился маршрутным методом на временных пробных площадках стандартного размера; визуальные геоботанические описания сопровождалось и инструментальными методами лесной таксации.

Учитывались характеристики лесов, относящихся к категориям классификации МСРПЕ – Монреальского процесса (конференции) по защите лесов Европы. Составлялись спектры эколого-ботанических (фитоцено-

тических) элементов – индикаторных групп видов, отражающие аутоэкологические характеристики видов, слагающих биоценозы. В условиях Нечерноземья РФ нами приняты во внимание: кверцетальный (дубравный элемент), бетулярный элемент (элемент мелколиственных березовых, осиновых, липовых, кленовых, ясеневых лесов), боровый элемент (элемент сосновых лесов разного состава, включая бореальные элементы флоры), адвентивный элементу (инвазивным видам).

Рассчитывались показатели α - и β -разнообразия [7]. Проводили учёт сообществ региональной Зелёной книги [4].

Результаты исследований и обсуждение

Исследования элементов биоразнообразия отражено на рисунках 1-4. Общее число видов в лесах, различающихся по элементам структуры, видовому богатству, факторам биотопа значительно; показатель числа видов в местообитаниях превышает обнародованные данные для лесов сходного сложения зарубежья [15; 19; 21; 22]. Для сложных ельников (леса 1), дубовых лесов (леса 2, 4), сосновых лесов лесного памятника природы (Ппр) Хутор Любин общее число видов, регистрируемое в 2015 г., превышало аналогичный показатель для 2022-2023 гг.

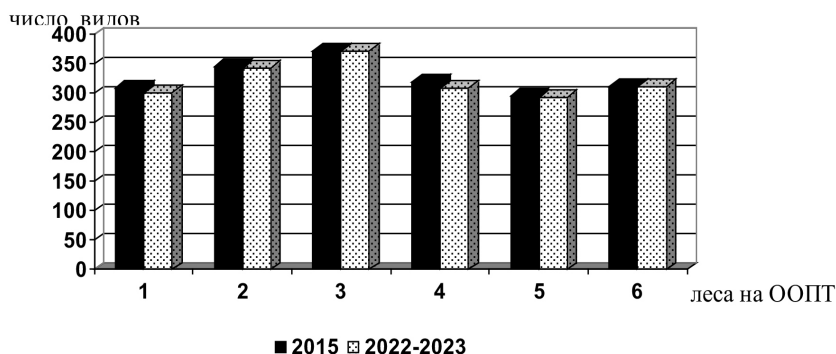


Рис. 1. Число видов в местообитаниях лесных сообществ

Примечание. Леса на ООПТ: 1 – ельники сложные в Ппр Орловские Дворики, 2 – дубовые леса в Ппр Леса вдоль реки Болва, 3 – высокотравные еловые леса в Ппр Болото Рыжуха, 4 – дубовые леса в Ппр Рёвны, 5 – сосновые леса в Ппр Хутор Любин, 6 – еловые леса в Ппр Петровское болото.

Для высокотравных ельников Ппр Болото Рыжуха, ельников Ппр Петровское болото показатель числа видов в местообитаниях не изменилось.

Лесные сообщества двух ОТ находятся в отдалении от рекреационных маршрутов, в заболоченных местообитаниях, с труднодоступными для освоения территориями буферных зон.

Так как сосновые леса Ппр Хутор Любин сформировались на месте старинного парка XIX века, видовое разнообразие восстанавливается в ходе сукцессионных смен сообществ, насыщенных видами-интродуцентами, широко расселяющимися кустарниками. Поэтому леса на ОТ характеризуются наименьшими показателями категории «число видов».

Еловые леса, изученные на модельных ОТ, отличаются полидоминантностью, ярко выраженной в Ппр Орловские Дворики, Болото Рыжуха. В лесных местообитаниях сложились и поддерживаются благоприятные экоусловия для гомеостаза лесов: влажности, обеспеченности азотом. Группа неморальнотравных ельников – уникальные сообщества, редкие для растительного покрова Брянской области, в дальнейшем будет рассматриваться вопрос о занесении их эталонных описаний в региональную Зелёную книгу. Полидоминантный еловый лес характеризуется сложной структурой, в составе которых выделены шесть полноценных пологов.

Дубовые лесные сообщества в Ппр Леса вдоль реки Болва, Рёвны также характеризуются значительным числом видов, образованы биоценозами с чиной чёрной (группа дубняков разнотравных), занесёнными в региональную Зелёную книгу; уникальны и дубовые леса с лабазником вязолистным. Дубовые сообщества сложены неморальными видами, ярусность – от 4 до 6 пологов, создаются экологические условия для местообитаний редких и узкотолерантных видов. Однако в Ппр Рёвны зарегистрирована убыль общего числа видов ввиду сокращения буферной зоны и смены погодных условий, определяющих сток реки Болвы, Ревны, в пойме которых формируются леса.

Возобновление древесного и кустарникового яруса проходит хорошо, но для многих лесов зарегистрировано снижение численности подроста: леса на ОТ 1, 2, 4, 6 (таблица 1). Эти различия статистически недостоверны. Наибольшая численность подроста выявлена для лесов Ппр Болото Рыжуха, Любин Хутор, Петровское болото.

Показатели α -разнообразия (число видов на ПП) наиболее значительны для лесов Ппр Болото Рыжуха и Рёвны, наименьшее – в еловых лесах Ппр Петровское болото в связи с неблагоприятным световым режимом и заболачиванием.

Динамические значения β -разнообразия отражены на рисунке 2.

Таблица 1.

Данные динамики возобновления древесного и кустарникового яруса
и α -разнообразия лесов на охраняемых территориях

Показатели	Лесные сообщества		
	1	2	3
Элемент возобновления – численность подроста ($M \pm m$), экз./га)	2115,2 $\pm$ 18,9*	1884,8 $\pm$ 19,3	2989,5 $\pm$ 22,1
	2043,2 $\pm$ 18,0	1872,5 $\pm$ 18,7	2899,7 $\pm$ 21,8
α -разнообразие	$\frac{29}{23}$	$\frac{30}{28}$	$\frac{38}{38}$
Показатели	Лесные сообщества		
	4	5	6
Элемент возобновления – численность подроста ($M \pm m$), экз./га)	2386,4 $\pm$ 17,7	2982,9 $\pm$ 19,7	2983,2 $\pm$ 19,3
	2176,2 $\pm$ 16,3	2998,4 $\pm$ 19,9	2972,1 $\pm$ 19,8
α -разнообразие	$\frac{31}{25}$	$\frac{21}{22}$	$\frac{19}{19}$

Примечание. Лесные сообщества аналогичны обозначениям на рисунке 1.

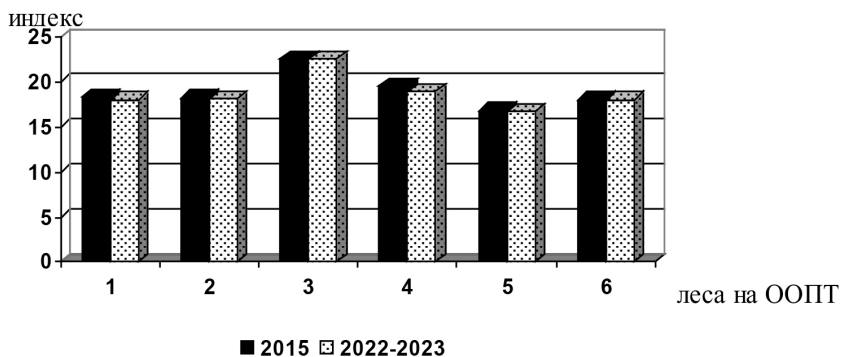


Рис. 2. Индекс Симпсона (β -разнообразие) в местообитаниях лесных сообществ

Примечание. Леса на ООПТ аналогичны обозначениям на рисунке 1.

Значительное видовое разнообразие (по: индекс Симпсона) выделено за период наблюдений для Ппр Болото Рыжуха в связи с разнообразными экоусловиями местообитаний и мозаичностью растительного покрова; лесные сообщества ОТ поддерживают водный баланс территории, малой реки. Индекс Симпсона, рассчитанный для лесов Ппр Рёвны один из самых высоких, но его убыль по результатам исследований 2022-2023 гг. косвенно свидетельствует об ответной реакции сообществ на нарушение режима местообитаний. Дубовые биоценозы Ппр Рёвны насыщены видами и благодаря уникальным карбонатным субстратам для произрастания

видов с разной экологической толерантностью. Высоковозрастные дубравы на мелах также формируют рефугиум для видов, узкотребовательных к реакции субстрата, влажности и содержанию биогенных элементов. Изменение индекса Симпсона за период наблюдений аналогично динамическим показателям общего числа видов в местообитаниях.

В местообитаниях лесных сообществ описаны популяции редких видов и видов мониторингового списка региональной Красной книги (Ккн) (рисунок 3).

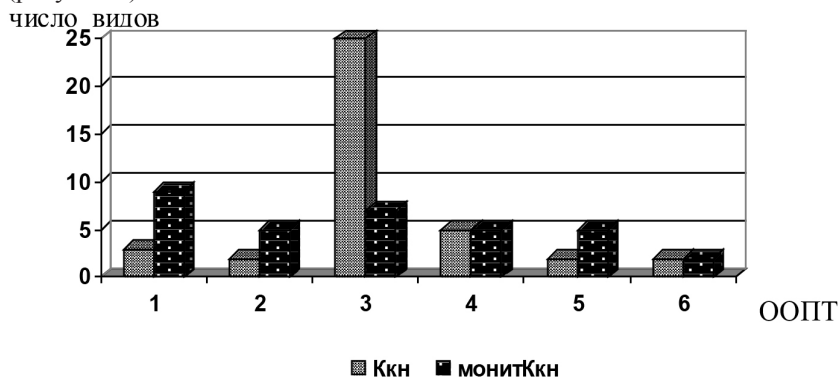


Рис. 3. Число видов региональной Ккн в местообитаниях лесных сообществ
Примечание. Ккн – редкие виды регионального списка,
монит Ккн – виды мониторингового списка
Леса на ООПТ аналогичны обозначениям на рисунке 1.

Наибольшее число редких и видов мониторингового списка выявлено в высокотравных ельниках Ппр Болото Рыжуха, полидоминантных ельниках Ппр Орловские Дворики, дубовых лесах Ппр Рёвны. За период наблюдений численных и возрастной состав ценопопуляций не изменился, следовательно, условия местообитаний сохранены. Несмотря на островной характер Ппр Орловские Дворики, в местообитаниях устойчиво существуют популяции семейства Орхидные, возобновляясь вегетативно. Значительная территория двух других Ппр, наличие буферных зон, смягчающих внешние воздействия, а также близость других ОТ, позволили остаться неизменными условия для возобновления ценопопуляций.

Индикаторами внешних воздействий, изменяющих условия гомеостаза сообществ, выступает число инвазивных видов и синантропных видов мхов, зарегистрированных в лесах (рисунок 4).

Число инвазивных сосудистых растений, как и синантропных мхов зависит от площади ОТ, эти показатели изменяются от 7 до 14 видов (адвентивные виды), от 14 до 22 видов (мхи).

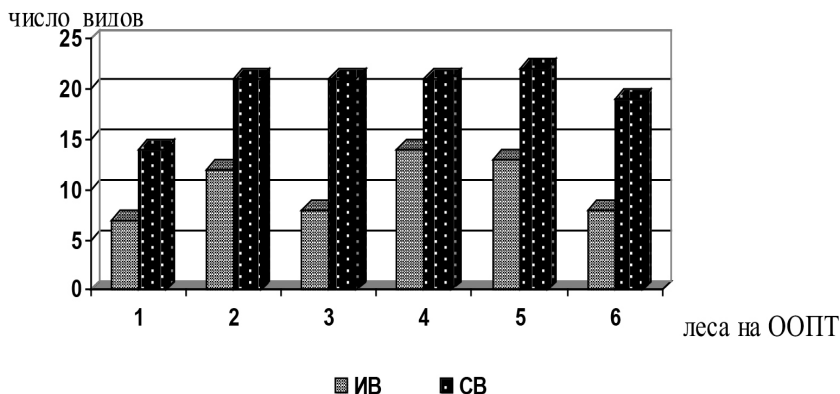


Рис. 4. Число инвазивных и синантропных видов мохообразных в местообитаниях лесных сообществ

Примечание. Леса на ООПТ аналогичны обозначениям на рисунке 1.

Наибольшее число мхов-синантропов выявлено в описаниях лесов Ппр Хутор Любин в связи с восстановительными (демутационными) сменами лесов: синантропные виды произрастают в колеях лесополос, на некоторых постройках, валунах и других субстратах, оставшихся от построек позапрошлого века. В лесных местообитаниях самых больших по площади ОТ отмечено и наибольшее число инвазивных видов: Ппр Леса вдоль реки Болва, Рёвны.

Помимо доминантных лесных сообществ, динамические данные по которым описаны для 2015 и 2022-2023 гг., в местообитаниях ОТ формируются и производные дубовых лесов, а также заболоченные черноольшаники, заболоченные сосняки, верховые болота с сосной. Данные по α и β -разнообразию показывают меньшие значения по сравнению с эталонными и говорит о среднем видовом богатстве лесов. Однако индекс Симпсона этих производных лесов отличается недостоверно от показателей дубовых, еловых лесных сообществ; одна из самых важных характеристик – наличие полидоминантности в сложении ярусов, мозаичности. Показатели этих лесных сообществ ниже, чем для дубовых, еловых и сосновых сообществ. Однако при описаниях выявлены леса категории II, III по рекомендациям МСРПЕЕ. Отмечены лесные сообщества, относящиеся

к биологически ценным, включающие биоресурсы растительного и животного происхождения.

Проведённые исследования позволили установить приоритетные факторы риска для лесов: недостаточная площадь для охраны и воспроизводства лесов, зависящая от границ ОТ; рекреация и расположение на освоенных территориях; отсутствие буферной зоны как элемента протекторной защиты для стрессовых факторов, необходимой для сохранения и воспроизводства видов-эпифитов; внедрение адвентивных видов в леса и их натурализация из-за слабых конкурентных отношений, свободных экониш; особый рискованный фактор – фрагментация территории и, как следствие, мозаичность растительных сообществ, в том числе и замена эталонных (квазинативных) сообществ на производные, олигодоминантные.

Для сравнительной характеристики групп индикаторов в лесных сообществах, позволяющих выделить границы изменений, исследовались городские леса различной степени трансформации. Помимо натуральных изысканий учитывались и данные обновлённых лесохозяйственного регламента для лесных территорий города (2019 г.). Урочище Лесные сараи (ЛС) расположено по периметру глубокой балки Судки в центральном административном районе Брянска, площадью в 5 га, испытывающего наибольшее рекреационное воздействие, растительный покров которого сложен высоковозрастными сосняками, значительно изменившими видовой состав по сравнению с эталонными сообществами [6]. Урочище Заставище (УЗ) (площадью в 3 га) составляет основу пригородных лесов с расположенным на территории промышленным предприятием, растительный покров которого видоизменён исключительно рекреацией.

Урочище Заставище – ценные лесные сообщества – неморальнотравные дубравы отнесены к классу дубово-буковых лесов, описаны в региональной Зелёной книге. В урочище преобладают леса III класса возраста, однако встречаются и высоковозрастные экземпляры, особенно дуба черешчатого; среднеполнотные (55,3%), с высокой продуктивностью и средней продуктивностью (72,8 %). Согласно шкале оценки степени рекреационной дигрессии выявлены леса 2 степени нарушенности (72,7 %); типы лесных сообществ со средней и высокой антропогенной устойчивостью описаны на значительной площади – 63,4 %.

Урочище Лесные Сараи – лесные сообщества высоковозрастных сосновых лесов. В урочище преобладают леса IV класса возраста, сред-

неполнотные (62,7 %), со средней и малой продуктивностью – 63,8 %. При обследовании согласно шкале рекреационной дигрессии отмечено преобладание лесов 3 и 4 степени нарушенности (78,9 %); типы лесных сообществ со средней и высокой степени антропогенной устойчивости зарегистрированы на 35,7 % площади.

Основные данные по числу видов в сообществах лесов города отражены на рисунке 5, 6.

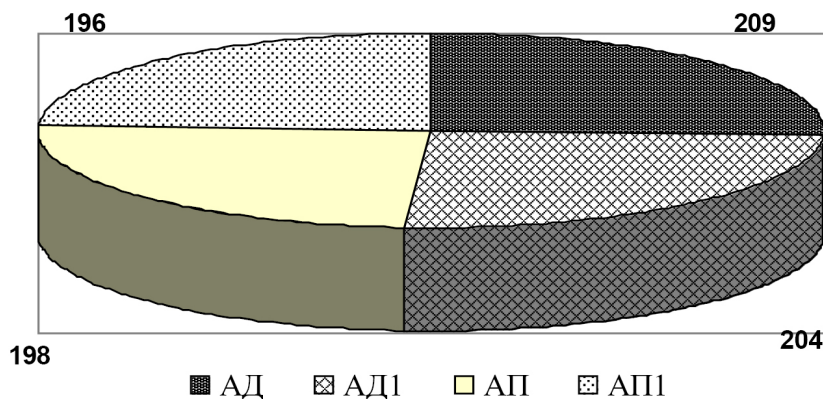


Рис. 5. Число видов в местообитаниях лесных сообществ урочище Заставище
 АД – число видов в дубовых лесах (2015 г.), АД1 – число видов в дубовых лесах (2022-2023 гг.), AP – число видов в производных дубовых лесах и черноольшаниках (2015 г.), AP – число видов в производных дубовых лесах и черноольшаниках (2022-2023 гг.)

Дубовые сообщества также имеют комплекс неморальнотравья, с благоприятным световым режимом и обеспеченностью почвы биогенными элементами. Липо-дубовые и клёно-дубовые производные сообществ олигодоминантные, развит комплекс эфемероидов. Также на площади в 450 м² выявлено сообщество региональной Зелёной книги – дубовый лес с лабазником вязолистным, числом ярусов 5, неразвитостью мозаичности напочвенного покрова.

Лесовозобновление в урочищах идёт незначительное (таблица 2).

В сосновом урочище ЛС зарегистрированы ксеноценные виды, число видов в местообитаниях незначительное (рисунок 6).

Многочисленные инвазивные виды (рисунок 7) в урочищах распространены по кострищам, дорожкам, по местам несанкционированных свалок.

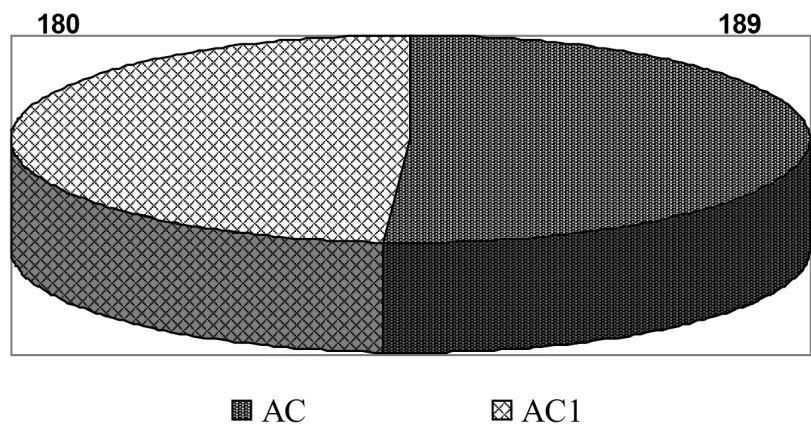


Рис. 6. Число видов в местообитаниях лесных сообществ урочище Лесные Сараи
АС – число видов в сосновых лесах (2015 г.), АС1 – число видов в сосновых
лесах (2022-2023 гг.)

Таблица 2.

**Данные динамики возобновления древесного и кустарникового яруса
лесов крупного города**

Показатель	Показатели для местообитаний лесов		
	1*	2	ЛС
Элемент возобновления – численность подроста (М ±m), экз./га)	1087,4±12,7*	997,3±10,1	679,8±14,1
	1007,8±12,5	973,6±11,3	582,4±12,6

Примечание. Показатели. 1 – урочище Заставище, дубовые сообщества, 2 – урочище Заставище, производные дубовых сообществ, черноольшаников, 3 урочище Лесные сараи, сосновые сообщества.

Для дубовых и сосновых лесов городских урочищ изменены не только количественные, но и качественные показатели структуры сообществ. Число ярусов уменьшено, показатели α - и β -разнообразия не соответствуют видам лесов – они характерны для пионерных мелколиственных сообществ или для негомеостатических макробиосистем (рисунок 7). Индексы Симпсона ниже, чем для аналогичных лесных сообществ на ОТ: различия статистически достоверны с биоценозами Любин Хутор. Бореальный комплекс видов отсутствует.

Лесные сообщества на территории крупного города не имеют буферной зоны, относительно малы по площади, которая неуклонно сокращается, несмотря на принятые постановления об охране и особом статусе

городских лесов. Однако и УЗ и ЛС имеют рекреационно-ценные насаждения, обладающие особой биосферной ценностью.

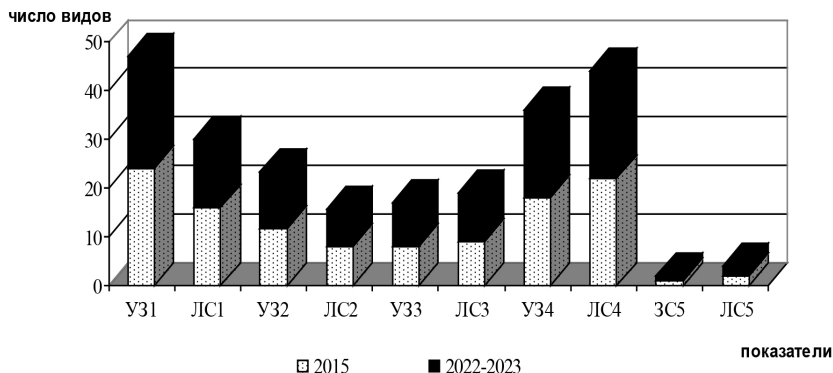


Рис. 7. Показатели наблюдений за состоянием биоразнообразия городских лесов

Показатели. УЗ1 – α -разнообразие в дубовых лесах, ЛС1 – α -разнообразие в сосновых лесах, УЗ2 – β -разнообразие в дубовых лесах, ЛС2 – β -разнообразие в сосновых лесах, УЗ3, ЛС3 – инвазивные виды, УЗ4, ЛС4 – число синантропных видов мохообразных, УЗ5, ЛС5 – число видов региональной Ккн.

Сравнительная характеристика лесов на охраняемых территориях (ОТ) и лесов значительной антропогенной трансформации позволила установить приоритетные индикаторные признаки. Это индекс Симпсона, отражающий общее видовое разнообразие и видовое богатство в сообществах: различия в этих индексах статистически значимы для исследованных биоценозов.

При анализе флористических списков при описании сообществ, принадлежащих к разным ассоциациям, необходимо уделять внимание эколого-ботаническим элементам флоры (рисунок 7). Число инвазивных видов невелико, так же как и редких, и входящих в мониторинговый список видов региональной Красной книги. Число синантропных видов мхов не превышает аналогичного показателя в лесах на ОТ.

На основе элементов флоры в описаниях БЛ построены диаграмма всех эколого-ботанических элементов (рисунок 8-11).

Наибольшую долю (в %) адвентивный элемент занимает в урочище Заставище (11 %). Наименьшее участие адвентов в сложении локальных флор представлены в ОТ «Орловские Дворики» (2 %), Петровское болото (3 %). В урочище Лесные сараи и ОТ «Хутор Любин» адвентивный элемент участвует во флоре в количестве 5 %.

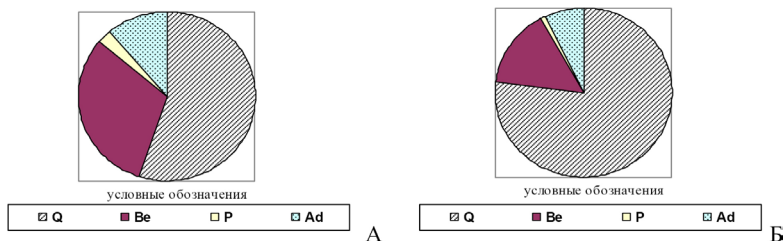


Рис. 8. Диаграмма эколого-ботанических элементов в составе локальной флоры урочища «Заставище» (А), локальной флоры «Рёвны» (Б)

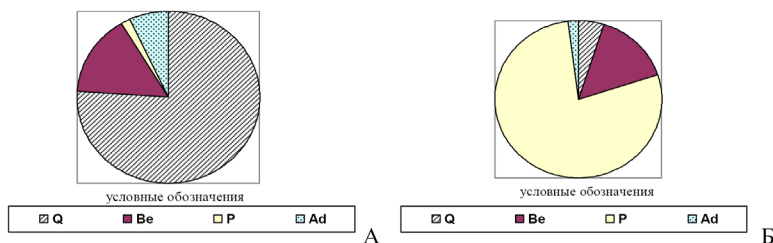


Рис. 9. Диаграмма эколого-ботанических элементов в составе локальной флоры «Леса вдоль реки Болва» (А), локальной флоры «Орловские Дворики» (Б)

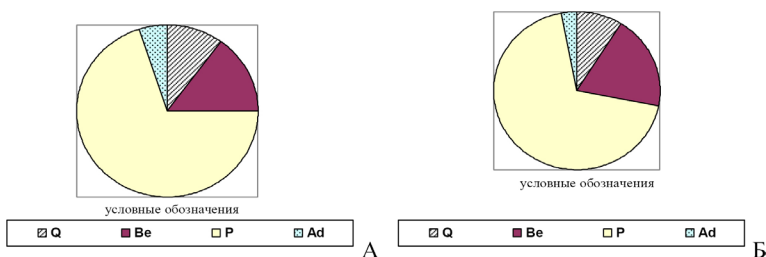


Рис. 10. Диаграмма эколого-ботанических элементов в составе локальной флоры «Хутор Любин» (А), локальной флоры «Петровское болото» (Б)



Рис. 11. Диаграмма эколого-ботанических элементов в составе локальной флоры урочища «Лесные сарай»

Все исследованные дубовые леса, находящиеся на охраняемых территориях не претерпели значительной трансформации в составе локальной флоры: в них преобладает кверцетальная группа: в ПП «Леса вдоль реки Болва» 76 %, «Рёвны» – 77 %. В дубовых насаждениях урочища Заставище также сохраняется доминирование кверцетального элемента – 55 %. В этих лесах невелика роль борového элемента – от 0,9 % до 3 %. Так как при описаниях выявлены трансформированные леса – производные дубовых – по мере увеличения стрессовой нагрузки на сообщества возрастает роль бетулярного эколого-ботанического элемента: от 15 % до 31 % (урочище Заставище). В памятниках природы с сосновыми лесами различных видов и сложными ельниками («Орловские Дворики») доминируют виды боровой группы от 69 % до 78 %. В урочище «Лесные сараи» при 4 стадии рекреационной дигрессии борového элемента 45 % от общего числа видов с преобладанием бетулярного элемента – 40 %. Таким образом, соотношение эколого-ботанических групп в составе локальной флоры исследуемых лесных массивов служит хорошим индикатором сохранности биоразнообразия или присутствия стрессовой нагрузки – рекреационной дигрессии.

Мониторинговый анализ лесов в регионе с высокой антропогенной и техногенной нагрузкой и значительной степенью преобразованности проведён в соответствии с международной программой по «лесам высокой природоохранной ценности»: по всем рекомендованным для анализа признакам сходны с аналогичными категориями лесов в Швеции, Германии, Канаде [15; 19-21]. Все лесные биоценозы укрепят сеть зелёной инфраструктуры, о каркасе которой активно дискутируют зарубежные авторы: средообразующая функция насаждений сохранена, элементы α - и β -разнообразия достаточно высоки. Оцененная через элементы разнообразия сукцессионная стадия развития лесов, свидетельствует о значительной самоподдерживающей способности естественных сообществ на охраняемых территориях, что может использоваться как инструмент управления ландшафтами в целях сохранения, например, через создание экологических каркасов [14-16, 18; 19]. Анализ современных работ по лесоведению, в том числе посвящённых глобальным охраняемым территориям, позволил выделить сходные факторы потери биоразнообразия и элементов устойчивости: рекреационное воздействие, как следствие, нарушение биоценологических связей, гар-мозаики – микрозониш, отсутствие буферной зоны в небольших по площади охраняемых лесных территориях, слабое развитие экологических коридоров для миграций диаспор основных лесообразующих видов [13; 21; 22].

Выводы

Изучены участки лесов на шести охраняемых природных территориях местного значения, площадью от 4,2 га до 2922 га. Наибольшее видовое разнообразие исследовано для высокотравных ельников на небольших по площади участках памятника природы Навлинского района «Болото Рыжуха». «Петровское болото» Мглинского района имеет уникальные сообщества – заболоченные сосняки, черноольшаники с высоким видовым разнообразием (индекс разнообразия Симпсона = 20,2). Дубовые леса, сохранившиеся в Навлинском, Стародубском районе создают и поддерживают условия местообитаний биотопов для уникальных видов, в том числе и мониторингового списка региональной Красной книги.

Все модельные исследуемые лесные биоценозы имеют элементы (группы) биологически ценных лесов. Полидоминантные ельники Навлинского района как рефугиум уникальных, в том числе и узкотолерантных видов рекомендуются к занесению в региональную Зелёную книгу.

Наибольшие значения индекса нарушенности флоры рассчитаны для лесов охраняемой территории «Хутор Любин» в Новозыбковском районе (9,62). Наименьшей трансформации от стрессовых факторов подвержены леса и заболоченные леса «Петровское болото».

Проведённые исследования позволили установить приоритетные факторы риска для биогеоценозов леса: недостаточная площадь для охраны и воспроизводства лесов; рекреация и расположение на освоенных территориях; отсутствие буферной зоны, необходимой для сохранения и воспроизводства видов-эдификаторов; внедрение адвентивных видов в биогеоценозы леса и их натурализация; особый рисковый фактор – фрагментация территории и, как следствие, мозаичность растительных сообществ, в том числе и замена эталонных (квазинативных) сообществ на производные, олигодоминантные.

При обосновании индикаторных групп «сохранности» лесных сообществ проводились сравнения с биогеоценозами леса в черте крупного города: старовозрастные насаждения сосны лесной в урочище Лесные сараи (4 класс рекреационной дигрессии); дубовые леса, их производные, черноольшаники урочища Заставище (класс рекреационной дигрессии) на территории урбозкосистемы города Брянска. Биогеоценозы леса в урочищах Лесные сараи и Заставище, имеют самые низкие показатели индекса разнообразия Симпсона, а при описании сообществ отмечено упрощение видового состава, пространственной структуры – вертикальной и горизонтальной. Все городские леса, тем не менее, играют значительную средообразующую и рекреационную роль.

При анализе флористических списков при описании сообществ, принадлежащих к разным ассоциациям, необходимо уделять внимание эколого-ботаническим (фитоценотическим) элементам флоры: в лесах крупного города число инвазивных видов, синантропных видов мхов аналогичны сравниваемым показателям в лесах на ОТ. Однако число редких и мониторинговых видов региональной Красной книги на ОТ выше, чем в рекреационно-нарушенных лесах.

Повторные исследования лесных биогеоценозов в 2022-2023 гг. показали снижение видового разнообразия, видового богатства в местообитаниях, связанного, вероятно, с объективными причинами: уменьшением буферной зоны, ходом сукцессионных процессов.

Наибольшую долю (в %) адвентивный элемент занимает в урочище Заставище (11%). Наименьшее участие адвентов в сложении локальных флор представлены в охраняемых территориях «Орловские Дворики» (2%), «Петровское болото» (3%). В урочище Лесные сараи и памятнике природы «Хутор Любин» адвентивный элемент участвует во флоре в количестве 5%. Таким образом, соотношение эколого-ботанических групп в составе локальной флоры исследуемых лесных массивов служит хорошим индикатором сохранности биогеоценозов леса или присутствия стрессовой нагрузки – рекреационной дигрессии.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Браславская Т.Ю. О природоохранной ценности восточноевропейских широколиственных лесов // Вестник Тверского государственного университета. Сер. «Биология и экология». 2017. № 2. С. 278-286.
2. Гайворонская А.А. Характеристика лесных сообществ по элементам биоразнообразия на примере охраняемой территории памятника природы «Орловские Дворики» Брянской области // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: труды восьмой междунар. науч.-практ. конф. 2022. С. 92-95.
3. Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Тихонова Е.В., Браславская Т.Ю. и др. Вероятностная оценка распределения ключевых биотопов в лесах национального парка «Смоленское Поозерье» на основе спутниковых и топографических данных // Лесоведение. 2020. № 1. С. 17-34.

4. Зелёная книга Брянской области (растительные сообщества, нуждающиеся в охране): монография / А.Д. Булохов, Ю.А. Семенищенков, Н.Н. Панасенко, Л.Н. Анищенко, Е.А. Аверинова и др. Брянск: ГУП «Брянск. обл. полиграф. объединение», 2012. 142 с.
5. Лесной кодекс Российской Федерации. ФЗ от 04.12.2006. № 200-ФЗ. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/51c4b14ed452e52608b1ffa7d322b7f1ceca7a76/
6. Малежик Е.Е., Анищенко Л.Н. Показатели биоразнообразия городских лесов города Брянска // Геоэкологические проблемы современности и пути их решения: матер. I Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 100-летию Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева (23 мая 2019 г., г. Орёл). Орёл: ОГУ имени И.С. Тургенева», 2019. С. 41-50.
7. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992. 182 с.
8. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный Федеральный округ: Брянская область / Под ред. Н. Г. Рыбальского, Е. Д. Самотесова и А. Г. Митюкова. М.: НИА – Природа, 2007. 1144 с.
9. Постановление администрации Брянской области от 24 октября 2010 г. № 755 «Об утверждении положений и паспортов особо охраняемых природных территорий в Брянском, Гордеевском, Дятьковском, Злынковском, Карачевском, Климовском, Клинцовском, Комаричском, Красногорском, Навлинском, Новозыбковском, Почепском, Рогнединском, Севском, Стародубском, Суражском, Унечском районах Брянской области». 2010. <https://base.garant.ru/24311692/>
10. Савиных Н.П., Шабалкина С.В., Пересторонина О.Н. Особенности выделения высоких природоохранных ценностей типа «Редкие экосистемы и местообитания» для сертификации лесов Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 2. С. 229-234.
11. Яницкая Т. Практическое руководство по выделению лесов высокой природоохранной ценности в России // Всемирный фонд природы. М., 2008. 136 с.
12. Borghi C., Francini S., McRoberts R.E., Parisi F., Lombardi F., Susanna Nocentini S., Maltoni A., Travaglini D., Chirici G. Country-wide assessment of biodiversity, naturalness and old-growth status using national forest inventory data // European Journal of Forest Research. 2024. Vol. 143. P. 271–303. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01620-6>
13. Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Lemoine G., Avitabile V., Pilli R., et al. Abrupt increase in harvested forest area over Europe after (2015) // Nature. 2020. Vol. 83. P. 72–77. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2438-y>

14. Curtis P. G., Slay C. M., Harris N. L., Tyukavina A., Hansen M. C. Classifying drivers of global forest loss // *Science*. 2018. №361. P. 1108–1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>
15. De Meo I, Becagli C, Casagli A, Paletto A. Characteristics of deadwood and implications for biodiversity in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) planted forests in Italy // *Trees for People*. 2020. Vol. 10, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100341>
16. Ette J-S, Sallmannshofer M, Geburek T. Assessing forest biodiversity: a novel index to consider ecosystem, species, and genetic diversity // *Forests*. 2023. Vol. 14, 709. <https://doi.org/10.3390/f14040709>
17. Larrieu L, Courbaud B, Drénou C et al. Key factors determining the presence of tree-related microhabitats: a synthesis of potential factors at site, stand and tree scales, with perspectives for further research // *For Ecol Manage*. 2022. Vol. 515, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120235>
18. Marini L., Bartomeus, I., Rader, R., and Lami, F. Species–habitat networks: a tool to improve landscape management for conservation // *J. Appl. Ecol*. 2019. Vol. 56. P. 923–928. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13337>
19. Mikusiński G., Bubnicki J., Gunnar B., Svensson J. Strengthening the Network of High Conservation Value Forests in Boreal Landscapes // *Front. Ecol. Evol*. 2020. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.595730>
20. Svensson J., Bubnicki J. W., Jonsson B.-G., Andersson J., Mikusiński G. Conservation significance of intact forest landscapes in the Scandinavian mountains green belt // *Landscape Ecol*. 2020. №35. P. 2113–2131. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01088-4>
21. Ward M., et al. Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land // *Nature communications*. 2020. № 11. P. 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18457-x>
22. Watson J.E.M., et al. The exceptional value of intact forest ecosystems // *Nat Ecol Evol*. 2018. № 2. P. 599-610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>

References

1. Braslavskaya T.Y. On the conservation value of Eastern European broad-leaved forests. *Bulletin of Tver State University. Ser. "Biology and ecology"*, 2017, no. 2, pp. 278-286.
2. Gaivoronskaya A.A. Characterization of forest communities by elements of biodiversity on the example of the protected area of the natural monument "Orlovskie Dvoriki" of Bryansk region. *Environmental Indication: theory, practice, education: Proceedings of the eighth international scientific and practical conference*. 2022, pp. 92-95.

3. Ershov D.V., Gavriluk E.A., Tikhonova E.V., Braslavskaya T.Yu. et al. Probabilistic assessment of the distribution of key habitats in the forests of the national park “Smolensk Lakeland” based on satellite and topographic data. *Forest Science*, 2020, no. 1, pp. 17-34.
4. *Green Book of Bryansk region (plant communities in need of protection): monograph* / A.D. Bulokhov, Y.A. Semenishchenkov, N.N. Panasenko, L.N. Anishchenko, E.A. Averinova et al. Bryansk: Bryansk Regional Polygraphic Association, 2012, 142 p.
5. Forest Code of the Russian Federation. Federal Law of 04.12.2006. No. 200-FZ. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/51c4b14e-d452e52608b1ffa7d322b7f1ceca7a76/
6. Malezhik E.E., Anishchenko L.N. Biodiversity indicators of urban forests of the city of Bryansk. *Geoecological problems of modernity and ways of their solution: mater. I All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of I.S. Turgenev Oryol State University (May 23, 2019, Oryol)*. Oryol: OGU, 2019, pp. 41-50.
7. Magarran E. *Ecological diversity and its measurement*. M., 1992, 182 p.
8. *Natural Resources and Environment of the Subjects of the Russian Federation. Central Federal District: Bryansk Oblast* / Edited by N. G. Rybalsky, E. D. Samotesov and A. G. Mityukov. Moscow: NIA-Priroda, 2007, 1144 p.
9. Resolution of the Bryansk Oblast Administration of October 24, 2010, No. 755 “On Approval of the Regulations and Passports of Specially Protected Natural Areas in the Bryansk, Gordeevsky, Dyatkovsky, Zlynkovsky, Karachevsky, Klimovsky, Klintsovsky, Komarichsky, Krasnogorsky, Navlinsky, Novozybkovsky, Pochepsky, Rognedinsky, Sevsky, Starodubsky, Surazhsky, Unechsky Districts of the Bryansk Oblast”. 2010. <https://base.garant.ru/24311692/>.
10. Savinykh N.P., Shabalkina S.V., Perestoronina O.N. Features of the allocation of high conservation values of the type “Rare ecosystems and habitats” for the certification of forests of the Kirov region. *Theoretical and Applied Ecology*, 2021, no. 2, pp. 229-234.
11. Yanitskaya T. Practical Guide to the Allocation of High Conservation Value Forests in Russia. *World Wide Fund for Nature*. M., 2008, 136 p.
12. Borghi C., Francini S., McRoberts R.E., Parisi F., Lombardi F., Susanna Nocentini S., Maltoni A., Travaglini D., Chirici G. Country-wide assessment of biodiversity, naturalness and old-growth status using national forest inventory data. *European Journal of Forest Research*, 2024, vol. 143, pp. 271–303. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01620-6>

13. Ceccherini G., Duveiller G., Grassi G., Lemoine G., Avitabile V., Pilli R., et al. Abrupt increase in harvested forest area over Europe after (2015). *Nature*, 2020, vol. 83, pp. 72–77. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2438-y>
14. Curtis P. G., Slay C. M., Harris N. L., Tyukavina A., Hansen M. C. Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 2018, no. 361, pp. 1108–1111. <https://doi.org/10.1126/science.aau3445>
15. De Meo I, Becagli C, Casagli A, Paletto A. Characteristics of deadwood and implications for biodiversity in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) planted forests in Italy. *Trees for People*, 2020, vol. 10, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100341>
16. Ette J-S, Sallmannshofer M, Geburek T. Assessing forest biodiversity: a novel index to consider ecosystem, species, and genetic diversity. *Forests*, 2023, vol. 14, 709. <https://doi.org/10.3390/f14040709>
17. Larrieu L, Courbaud B, Drénou C et al. Key factors determining the presence of tree-related microhabitats: a synthesis of potential factors at site, stand and tree scales, with perspectives for further research. *For Ecol Manage*, 2022, vol. 515, 120235. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120235>
18. Marini L., Bartomeus, I., Rader, R., and Lami, F. Species–habitat networks: a tool to improve landscape management for conservation. *J. Appl. Ecol.*, 2019, vol. 56, pp. 923–928. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13337>
19. Mikusiński G., Bubnicki J., Gunnar B., Svensson J. Strengthening the Network of High Conservation Value Forests in Boreal Landscapes. *Front. Ecol. Evol.*, 2020, vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.595730>
20. Svensson J., Bubnicki J. W., Jonsson B.-G., Andersson J., Mikusiński G. Conservation significance of intact forest landscapes in the Scandinavian mountains green belt. *Landscape Ecol.*, 2020, no. 35, pp. 2113–2131. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01088-4>
21. Ward M., et al. Just ten percent of the global terrestrial protected area network is structurally connected via intact land. *Nature communications*, 2020, no. 11, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18457-x>
22. Watson J.E.M., et al. The exceptional value of intact forest ecosystems. *Nat Ecol Evol.*, 2018, no. 2, pp. 599–610. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0490-x>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гайворонская Анжелика Алексеевна, аспирант кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
gajvoronskaja.anzhelika@yandex.ru*

Долганова Марина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
dolganova0801@yandex.ru*

Демихов Владимир Тихонович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры географии, экологии и землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
fir-sasha@yandex.ru*

Чиграй Ольга Николаевна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры, экологии землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

*ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
chigrai-olga@mail.ru*

Чучин Дмитрий Иванович, кандидат географических наук, доцент, экологии землеустройства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»

ул. Бежицкая, 14, г. Брянск, 241036, Российская Федерация
chuchin.dmitrii@list.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Angelika A. Gaivoronslaya, Graduate Student of the Department of Geography, Ecology and Land Management
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
gajvoronskaja.anzhelika@yandex.ru

Marina V. Dolganova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
dolganova0801@yandex.ru

Vladimir T. Demikhov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
fir-sasha@yandex.ru

Olga N. Chigrai, Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Geography, Ecology and Land Management
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
chigrai-olga@mail.ru

Dmitry I. Chuchin, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Geography, Ecology and Land Management
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
chuchin.dmitrii@list.ru

Поступила 02.04.2024

После рецензирования 26.05.2024

Принята 09.06.2024

Received 02.04.2024

Revised 26.05.2024

Accepted 09.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1015

EDN: FGXUYZ

УДК 502.51:556.52(571.1)



Научная статья

ТРАНСГРАНИЧНАЯ РЕКА ИРТЫШ КАК ИСТОЧНИК ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

О.П. Баженова, В.В. Костерова, А.М. Адам

Аннотация

Состояние вопроса. Река Иртыш является важным водным ресурсом для трех стран, по территории которых она протекает – Китай, Казахстан, Россия. Она является поставщиком ценных экосистемных услуг, объем которых напрямую зависит от хозяйственной деятельности стран-пользователей. Для повышения эффективности использования водных ресурсов в рамках концепции устойчивого развития ООН предлагает применять экосистемный подход. Анализ литературы по данному вопросу показал, что оценка российского участка р. Иртыш с точки зрения предоставления ею экосистемных услуг на сегодняшний день еще не проводилась. Цель исследования состояла в том, чтобы определить состав, содержание и объемы экосистемных услуг российского участка трансграничной реки Иртыш.

Материалы и методы. Состав и содержание экосистемных услуг реки Иртыш были определены с помощью методики ООН (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Информация была собрана из официальных Интернет-источников и рецензируемых журналов.

Результаты. Исследование показало, что российский участок Иртыша, охватывающий его среднее и нижнее течение, предоставляет все виды экосистемных услуг. Из числа ресурсообеспечивающих услуг реки приоритет в хозяйственном отношении имеют забор воды и добыча песка, объемы которых достигли максимально возможного уровня. Выявлен высокий потенциал в развитии отдельных видов ресурсообеспечивающих и культурных экосистемных услуг. Раскрыто значение и содержание регулирующих и поддерживающих экосистемных услуг Иртыша, обозначена их роль в сохранении биологического разнообразия посредством функционирования особо охраняемых природных территорий, расположенных вблизи реки.

Заключение. Результаты могут быть применены для реализации потенциала экосистемных услуг реки Иртыш и повышения эффективности ее управления.

Ключевые слова: устойчивое развитие; экосистемные услуги; водные объекты; река Иртыш; Западная Сибирь

Для цитирования. Баженова О.П., Костерова В.В., Адам А.М. Трансграничная река Иртыш как источник экосистемных услуг // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 103-126. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1015

Original article

TRANSBOUNDARY IRTYSH RIVER AS A SOURCE OF ECOSYSTEM SERVICES

O.P. Bazhenova, V.V. Kosterova, A.M. Adam

Abstract

Background. The Irtysh River is an important water resource for the three countries through whose territory it flows – China, Kazakhstan, and Russia. It is a supplier of valuable ecosystem services, the volume of which directly depends on the economic activities of user countries. To improve the efficiency of water resource use within the framework of the concept of sustainable development, the UN proposes to use an ecosystem approach. An analysis of the literature on this issue showed that an assessment of the Russian section of the Irtysh River from the point of view of its provision of ecosystem services has not yet been carried out. The purpose of the research was to determine the composition, content and volumes of ecosystem services in the Russian section of the transboundary Irtysh River.

Materials and methods. The composition and content of ecosystem services of the Irtysh River were determined using the UN methodology (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Information was gathered from official Internet sources and peer-reviewed journals.

Results. The study showed that the Russian section of the Irtysh, covering its middle and lower reaches, provides all types of ecosystem services. Among the resource-providing services of the river, economic priority is given to water intake and sand extraction, the volumes of which have reached the maximum possible level. High potential for the development of certain types of resource-providing and cultural ecosystem services has been identified. The significance and content of the regulating and supporting ecosystem services of the Irtysh are revealed, their

role in the conservation of biological diversity through the functioning of specially protected natural areas located near the river is outlined.

Conclusion. The results can be applied to realize the potential of ecosystem services of the Irtysh River and improve the efficiency of its management.

Keywords: sustainable development; ecosystem services; water bodies; Irtysh River; West Siberia

For citation. Bazhenova O.P., Kosterova V.V., Adam A.M. Transboundary Irtysh River as a Source of Ecosystem Services. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 103-126. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1015

Введение

Иртыш – трансграничная река, протекающая по территории трех государств: Китая, Казахстана и России. Она является важным водным ресурсом для обеспечения населения питьевой водой и имеет наибольшее значение в социальной, экономической, промышленной, энергетической и ирригационной деятельности этих стран [27; 45]. Река Иртыш – самая длинная река-приток в мире, общая длина ее составляет 4212 км (по другим данным – 4248 км [47]), в том числе в пределах Китая – 527 км, Казахстана – 1637 км и России – 2048 км. Общая площадь бассейна составляет 1,6 млн км², в т. ч. в пределах России – 0,7 млн км² или 43,75 % [13]. На территории России Иртыш протекает по Омской и Тюменской областям, включая Ханты-Мансийский АО. Границу с Казахстаном река пересекает в Омской области в районе с. Татарка (рис. 1):



Рис. 1. Карта-схема трансграничной реки Иртыш

Возрастающее воздействие деятельности человека и глобальные изменения климата привели к значительным колебаниям стока Иртыша с конца XX века, что представляет существенную угрозу для обеспечения водой населения и экономики стран-пользователей [47]. Российский участок Иртыша простирается от 53°47'40.2» N 75°02'04.8» E на границе с Казахстаном до 61°04'50" N 68°49'50" E в устье и охватывает его среднее и нижнее течение, именно здесь наиболее полно проявляются все антропогенные воздействия, оказываемые на экосистему трансграничной реки [9].

Спрос на воду в бассейне Иртыша быстро растет, что приводит к таким проблемам, как распределение воды между странами-пользователями, трансграничное воздействие на окружающую среду и поддержание экологической безопасности. Особенно значительно на водность реки повлияло создание в ее верхнем течении на территории Казахстана каскада ГЭС [12].

В рамках концепции устойчивого развития особое значение в отношении управления водными ресурсами имеет экосистемный подход. Важным условием реализации такого подхода является изучение состава и объемов экосистемных услуг, предоставляемых водными объектами [41].

Экосистемные услуги – это выгоды, которые люди получают от экосистем, включая ресурсообеспечивающие, поддерживающие, регулирующие и культурные услуги [46]. Концепция экосистемных услуг предлагает новое видение связи между социально-экономическими и природными экосистемами, предлагая комплексную основу для определения более широкого списка выгод, связанных с водными ресурсами. Существующий объем экосистемных услуг, оказываемых водными объектами, не может удовлетворить возрастающие потребности человеческого общества. По оценкам ведущих гидрологов в 2035–2045 гг. мировая ситуация дефицита пресной воды станет критической [14; 15]. В связи с этим, оценка объема и качества экосистемных услуг водных объектов является весьма актуальной.

Оценка уровня реализации потенциала экосистемных услуг водными объектами региона способствует повышению эффективности управления процессами регионального развития [10; 22]. Однако, существующие методические подходы не учитывают весь спектр услуг, предоставляемых водными экосистемами, особенно их активной частью – биоценозами. Кроме того, в современных условиях развивающейся во всем мире антропогенной эвтрофикации поверхностных вод суши возникают новые услуги водных экосистем: увеличение биоразнообразия первичных продуцентов на начальных этапах эвтрофикации; перенос биомассы реками, текущими с

юга на север, в малопродуктивные экосистемы высоких широт, повышенный уровень углерододепонирования и др. [10].

Существующие модели водных экосистем до сих пор практически не исследованы в контексте взаимосвязи экосистемных услуг и устойчивого развития. При этом приоритет экономических целей над экологическими в управлении водными ресурсами региона может угрожать региональной безопасности, усиливая конфликт между экологическими и социально-экономическими аспектами устойчивого развития [41].

Цель работы

Оценить состав, содержание и объемы экосистемных услуг российской участка трансграничной реки Иртыш.

При проведении исследования использована классификация экосистемных услуг ООН [46]. Для написания статьи использовались данные из официальных источников (портал Правительства Омской области [32], портал органов государственной власти Тюменской области [31], Федеральный информационный портал «Вода России» [13]) и рецензируемых журналов.

Результаты исследования и обсуждение

Общепринятая классификация экосистемных услуг в настоящее время отсутствует, наиболее широко используемой является международная классификация ООН, представленная в Докладе «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» (The Millennium Ecosystem) [46]. Для анализа состава и содержания экосистемных услуг, предоставляемых рекой Иртыш, были использованы 4 основные категории из классификации ООН: ресурсообеспечивающие, регулирующие, поддерживающие и культурные.

С точки зрения приоритетности экосистемных услуг, оказываемых водными объектами для осуществления хозяйственной деятельности, ведущее место принадлежит ресурсообеспечивающим. Сущность данного вида услуг состоит в том, что водные объекты рассматриваются, прежде всего, как источник полезных продуктов и инфраструктурная среда:

- техническая и питьевая вода;
- биоресурсы, употребляемые в пищу (рыба, водоросли, моллюски и т.п.);
- пищевые добавки и косметические компоненты, получаемые из водных биоресурсов;
- лечебные (минеральная вода и грязи) и генетические ресурсы;
- органические удобрения (фитомасса водорослей, сапропель);
- драгоценные материалы (жемчуг и пр.);

- речной песок и гравий;
- грузоперевозки с помощью речного транспорта.

Из приведенного общего перечня ресурсообеспечивающих услуг, выделенных ранее для водных объектов бассейна Иртыша [22], российский участок трансграничной реки Иртыш является источником технической и питьевой воды, рыбы, генетических ресурсов, речного песка и гравия, а также используется для осуществления грузоперевозок. Далее рассмотрим более подробно содержание и объемы этих экосистемных услуг реки.

Важнейшей экосистемной услугой Иртыша является питьевое и промышленное водоснабжение множества населенных пунктов и городов, расположенных по течению реки. В 2022 г. водозабор из Иртыша в целом составил 2261,7 млн м³ или 19,0 % от общего забора воды из бассейна Карского моря [13]. Иртыш является единственным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения крупного промышленного центра – города-миллионника Омска. В южной части Омской области Иртыш обеспечивает водой более полумиллиона сельских жителей, проживающих в левобережной части реки [25]. Фактический объем забора пресной воды из водных объектов в Омской области в 2022 г. составил 213,35 млн м³, в том числе из поверхностных вод (среди которых основным является р. Иртыш) – 206,17 млн м³. За пятилетний период (2018–2022 гг.) общий объем забора пресной воды из поверхностных водных объектов региона увеличился на 0,37 % за счет деятельности АО «ОмскВодоканал» [17]. Забор воды из Иртыша в Тюменской области в 2022 г. составил 48,19 млн м³/год и по сравнению с 2021 г. также увеличился на 1,48 млн м³/год [18].

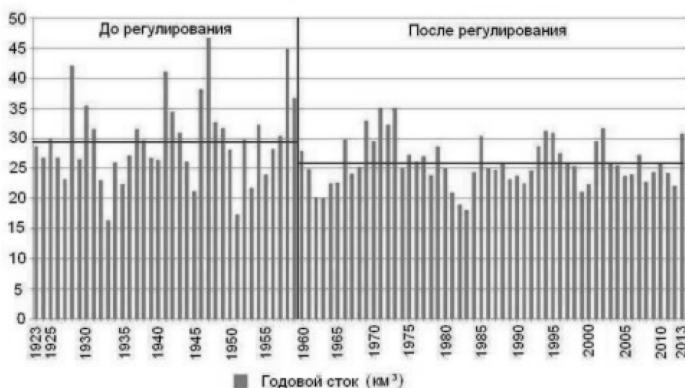


Рис. 2. Изменение годового стока р. Иртыш в районе г. Омска (1923–2013 гг.)

Главной экологической проблемой среднего течения Иртыша на территории Омской области является истощение водных ресурсов, возникшее в результате сочетания возрастающей деятельности человека на фоне глобальных изменений климата. Среднее многолетнее значение стока Иртыша в районе г. Омска после зарегулирования реки на территории Казахстана снизилось на 13 % (рис. 2) [3]:

Водность Иртыша в пределах Омской области в последние годы постепенно уменьшается. Например, в 2022 г. водность была в пределах или ниже нормы на 10 % (табл.) [17]:

Таблица.

Водность р. Иртыш в Омской области в 2022 году

Местоположение гидрологического поста	Средний годовой расход воды за 2022 год, м ³ /с	Средний многолетний расход, м ³ /с (норма)
с. Татарка	777	782
г. Омск	770	844
с. Екатеринбургское	864	919

В середине июля 2023 г. по данным Росгидромета [30] уровень воды в Иртыше вблизи от границы с Казахстаном, в районе пос. Черлак Омской области, опустился ниже 210 см и достиг критериев опасного гидрометеорологического явления «низкая межень». 29 июля уровень воды здесь составил уже 204 см. Это привело к проблемам с судоходством и водообеспечением в регионе.

К настоящему времени сложилось общепринятое мнение, что одной из главных причин нестабильности речного стока в бассейне Иртыша на период до 2025 г. будет являться антропогенное воздействие, зависящее от темпов освоения орошаемых земель и развития промышленности в Китае и Казахстане. Зарегулирование верхнего Иртыша на территории Казахстана каскадом гидроэлектростанций, забор воды мощными каналами в Китае и Казахстане, разветвленная сеть водоводов к многочисленным населенным пунктам, постоянно возрастающие масштабы добычи песка в русле реки – это лишь краткий перечень деятельности человека в бассейне реки, приведший к существенному истощению ее водных ресурсов [9]. Для решения этой проблемы в 2007 г. было принято решение о возведении низконапорного Красногорского гидроузла ниже г. Омска, который обеспечит подъем уровня воды в реке до оптимальных значений. Строительство гидроузла затянулось на многие годы, но с 2022 г. было возобновлено [17]. Кроме подъема уровня воды в Иртыше, гидроузел положительно повлияет

на возрождение естественного кормопроизводства на пойменных землях и поможет восстановить рыбные запасы за счет нереста в пойменных озерах, воссоединяющихся с рекой в период половодья [26].

Для предотвращения истощения водного ресурса следует также отметить важность такого инструмента экономии воды как внедрение оборотного водоснабжения, особенно на промышленных предприятиях. Здесь ситуация по регионам сложилась неоднозначная. Например, в Омской области по данным 2022 г. объем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения за пять лет в среднем уменьшился на 39,32 % (2018 г. – 1223,65 млн м³, 2022 г. – 742,47 млн м³) из-за уменьшения выработки тепло- и электроэнергии на предприятиях Омского филиала АО «ТГК № 11» [17]. В системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения Тюменской области в 2022 г. было задействовано 1740,44 млн м³/год, что на 40,46 млн м³ выше уровня 2021 г, при этом основная доля (99,24%) приходилась на оборотное водоснабжение [18].

Примером положительного влияния на качество воды Иртыша следует отметить опыт акционерного общества «Газпромнефть-ОНПЗ» в г. Омске. В рамках программы экологической модернизации предприятия в 2023 г. крупнейший нефтеперерабатывающий завод в России ввел в эксплуатацию уникальный комплекс биологических очистных сооружений «Биосфера». Благодаря предусмотренным в комплексе инновационным технологиям бережного потребления завод сможет на 70 % снизить использование речной воды [28]. По прогнозам экологов «Биосфера» может уже через два года существенно оздоровить Иртыш, уменьшить объем промышленных сточных вод и снизить нагрузку на реку, что, в свою очередь, благоприятно скажется на состоянии ее гидробиоценозов.

Таким образом, водность российского участка Иртыша в XXI веке имеет тенденцию к снижению, что, несомненно, повлияло на объем ресурсообеспечивающих экосистемных услуг реки в части обеспечения питьевого и промышленного водоснабжения и вызвало ряд действий на государственном и региональном уровнях для решения этой проблемы.

Одним из важных ресурсов, предоставляемых рекой Иртыш, является песок, широко используемый как материально-сырьевая база в стекольной промышленности, строительстве, для отсыпки автомобильных дорог и железнодорожных насыпей, при изготовлении силикатного кирпича и др. [17; 18; 31; 32]. Запасы песка, как в среднем, так и в нижнем течении Иртыша весьма значительны. Большая часть разведанных месторождений строительного песка в Омской области связана с современными ал-

лювиальными отложениями русла Иртыша и его пойменной террасы. По состоянию на 01.01.2023 г. на территории Омской области учтено 52 месторождения песка с общими балансовыми запасами 151 млн 769 тыс. м³, забалансовые запасы составляют еще 29 млн 459 тыс. м³. Предприятиями осваивается более 40 % запасов песков (62 млн 973 тыс. м³) из 27 месторождений, к государственному резерву отнесено еще 25 месторождений с общими балансовыми запасами 88 млн 795 тыс. м³. Регулярно разведываются новые месторождения, например, в 2022 г. ООО «СИМ» разведано Верхне-Новостановское месторождение с общими запасами песка 3 млн 624 тыс. м³ [17].

В Тюменской области по состоянию на 01.01.2021 г. добыча строительного песка и супеси в 2020 г. составила 10 млн м³. В ряде районов региона были открыты месторождения стекольных и формовочных песков, в 2020 г. их добыча составила 59,9 тыс. м³ [18]. Минерально-сырьевая база строительного сырья в регионе развивается опережающими темпами, прирост вновь разведанных запасов превышает уровни годовой добычи.

Однако необходимо отметить, что добыча песка в русловой части реки имеет ряд негативных последствий для водной экосистемы: влияние на рыб и гидробионтов вибрационно-шумового воздействия; изменение батиметрических и гидрологических характеристик русла; повышение мутности, вторичное загрязнение воды и донных отложений; ухудшение гидрохимического режима [2].

В связи с этим, использовать данную экосистемную услугу следует весьма осторожно, с учетом компенсационных мероприятий – запрет на добычу песка в период нереста рыб, организация его добычи в период осенней межени, когда наблюдается минимальная численность рыб, а также постоянный выпуск необходимого объема молоди ценных видов рыб [2]. Учитывая установившиеся высокие объемы добычи песка из Иртыша и угрозу истощения его водных ресурсов, считаем, что потенциал этой ресурсообеспечивающей услуги к настоящему времени исчерпан.

Еще одним важным показателем ресурсообеспечивающих услуг является объем водных биоресурсов, к которым относятся рыба, моллюски, ракообразные, водоросли и т.п. Речная экосистема Иртыша используется в качестве поставщика рыбы, другие виды биоресурсов здесь не добываются. Иртыш является основным источником рыбы среди водных объектов Омской области, но промышленный вылов рыбы из него имеет невысокие объемы. В 2022 г. здесь было добыто 69,27 т рыбы, а годовая продукция рыбы в реке может составить около 200 т. Необходимо отметить, что ры-

баками-любителями в Иртыше вылавливается до 100 т рыбы ежегодно. Таким образом, максимальный вылов рыбы организованными пользователями и рыбаками-любителями может достигать до 125 т, составляя 78 % от их годовой продукции, а в перспективе до 150 т в год, или 94 % от годовой продукции. Организованный промысел на Иртыше в настоящий период слабо развит, осваивается не более 23 % от годовой продукции рыбы. В целях оптимизации рыбного промысла рекомендуется максимизация среднесезонного вылова [19]. Для компенсации ущерба, нанесенного водным биоресурсам хозяйственной деятельностью предприятий, в Омской области регулярно осуществляется выпуск молоди осетровых видов рыб (стерлядь, осетр сибирский), например, в 2022 г. в Иртыш было выпущено более 100 тыс. экземпляров молоди [17].

В Тюменской области вылов рыбы из Иртыша выше, чем в Омской, в 3,6 раза, но фактический объем вылова здесь также значительно меньше рекомендованного: в 2022 г. он составил 249,43 т из 2080,55 установленных квотой. Нужно отметить, что в Тюменской области добываются многие высокоценные виды рыб (осетровые, сиговые), являющиеся уникальными биоресурсами [18].

В целом, ресурсообеспечивающая экосистемная услуга в части добычи рыбы из Иртыша имеет большой потенциал, но не используется в полном объеме. Для решения этой проблемы необходима не только организация рыбного промысла и борьба с браконьерским ловом рыбы, но и проведение научных исследований о современном состоянии рыбных запасов Иртыша.

Генетические ресурсы – это генетический материал растений, животных и микроорганизмов, представляющий фактическую или потенциальную ценность. Они могут использоваться как для базовых исследований с целью понимания природы естественных ресурсов, так и для создания коммерческих продуктов [21]. Генетические ресурсы р. Иртыш понимаются как генофонд всех популяций видов, обитающих в реке. Флора и фауна Иртыша чрезвычайно богата. Особенно высокое видовое богатство присуще планктонным водорослям, по последним данным, в фитопланктоне среднего течения Иртыша найдено 575 видовых и внутривидовых таксонов водорослей (ВВТ) [40], из них редкими являются 127 ВВТ [44]. Фитопланктон нижнего течения реки беднее, чем среднего, в конце XX века в нем насчитывалось 297 ВВТ [11], к настоящему времени в нем найдено 259 ВВТ, из них 115 новых для указанного участка. Следует отметить, что по сравнению с предыдущими исследованиями середины XX–начала XXI

вв. видовое богатство фитопланктона как среднего, так и нижнего течения реки постоянно пополняется [7; 8], что характеризует высокий потенциал генетических ресурсов фитопланктона Иртыша.

Важную часть генетических ресурсов Иртыша составляют зоопланктонные и бентосные организмы. Зоопланктон среднего Иртыша изучался еще в период до зарегулирования реки [20]. По прежним данным [35, 42], в составе зоопланктона Иртыша на территории Омской области найдено 74 вида, из них 17 видов коловраток, 39 – ветвистоусых и 18 – веслоногих ракообразных. В настоящий период структура зоопланктона значительно изменилась, в нем обнаружено всего 17 видов из трех систематических групп: коловратки – 11 видов, ветвистоусые – 4 вида и веслоногие ракообразные – 2 вида. Уменьшение видового состава гидробионтов произошло из-за маловодности последних десятилетий, которое ведет к ухудшению гидрологического режима притоков Иртыша, что препятствует возможности поступления транзитных для реки видов из придаточной системы. Кроме того, на снижение разнообразия гидробионтов большое влияние оказывает загрязнение водоемов [19].

Зообентос среднего Иртыша относительно беден, в нем отмечено 15 видов из 3 классов, наиболее богато в видовом отношении представлены хирономиды (10 таксонов) [19]. При проведении дополнительных исследований в 2016 г. в составе донных животных среднего Иртыша было найдено уже 39 таксонов из 8 групп зообентоса, среди них 27 видов хирономид. Для сравнения, в донных биоценозах р. Иртыш на территории Павлодарской области (Казахстан), непосредственно примыкающей к российскому участку реки, в 2004–2013 гг. было обнаружено 107 видов макробиопозвоночных [16].

Развитие пойменной системы, характерное для бассейна нижнего Иртыша, создает благоприятные условия для развития планктонных и бентосных организмов. В русле Иртыша обнаружено от 55 [38] до 87 видов зоопланктеров [37]. Летняя бентофауна нижнего Иртыша весьма разнообразна и представлена хирономидами, моллюсками, олигохетами, гаммаридами, личинками ручейников, кровососущих комаров, стрекоз и поденок. Доминирующей группой зообентоса являются хирономиды (20–25 видов), образующие основную долю биомассы [37].

В ихтиофауне Иртыша по Омской области с 1980-х годов наблюдаются 19 видов и подвидов рыб. К ним относятся ценные полупроходные (осетр, нельма), туводные (стерлядь, елец, щука, плотва, язь, окунь, налим, серебряный карась), акклиматизанты (лещ, судак, сазан, ротан) и малоценные

непромысловые виды (ерш, щиповка, пескарь, уклейка, сибирская минога). В промысловой статистике в последние годы фигурирует только 9 видов: стерлядь, лещ, плотва, язь, щука, судак, окунь, налим, карась [19]. В настоящее время в Красную Книгу Российской Федерации включен осетр, а в Красную Книгу Омской области включены осетр, нельма, щиповка, подкаменщик сибирский и два вида миног (минога японская и минога сибирская), не относящиеся к объектам промысла [23]. Ихтиофауна нижнего течения Иртыша богаче, чем среднего, представлена 31 видом рыб, из них 24 – аборигены и 7 – интродуценты [37]. В Красную Книгу Тюменской области внесен только осетр сибирский [24].

Таким образом, генетические ресурсы Иртыша обширны, разнообразны и включают ряд редких видов. Эти ресурсы обеспечивают поддержание биоразнообразия экосистемы реки и могут использоваться для селекции и сохранения редких видов рыб.

Важная ресурсообеспечивающая услуга Иртыша – осуществление грузоперевозок. Например, ПАО «Обь-Иртышское речное пароходство» осуществляет перевозку различных грузов по всему Обь-Иртышскому бассейну, в акваториях Обской, Тазовской и Байдарацкой губы, Белого, Баренцева и Карского морей [33]. Годовой грузооборот по реке Иртыш в 2022 г. составил около 3 млн т, наибольшим спросом пользуется поставка песка [29]. Потенциал этой ресурсной услуги Иртыша очень высок. Например, в январе 2023 г. правительства Ямало-Ненецкого автономного округа и Омской области заключили соглашение о сотрудничестве в области грузоперевозок водным транспортом, что позволит существенно увеличить объемы взаимной торговли и снизить стоимость доставки грузов. В числе перспективных направлений были выделены контейнерные перевозки, доставка продукции деревообработки, строительных и сельскохозяйственных грузов, а также расширение поставок молочной и мясной продукции, муки и других продуктов пищевой промышленности [43]. Следует отметить, что при организации грузоперевозок речным транспортом необходимо уделять особое внимание состоянию водного транспорта и его изношенности, качеству используемых горюче-смазочных материалов во избежание аварий и выброса в водную экосистему загрязняющих веществ.

Регулирующие экосистемные услуги заключаются в том, что вода принимает участие в регулировании глобального и регионального климата, обладает самоочищающей способностью за счет деятельности гидробионтов.

К настоящему времени методы оценки регулирующих экосистемных услуг водных объектов разработаны крайне слабо. Общепринято, что за-

пасы, сток и качество воды во многом обеспечиваются средообразующей деятельностью биоты и функционированием природных экосистем [39]. Из всех составляющих биоты российского участка реки Иртыш наиболее изучен к настоящему времени его фитопланктоценоз [4; 40]. Необходимо отметить, что самоочищающая способность реки в первую очередь обеспечивается фитопланктоном, являющимся основным продуцентом органического вещества и важным фактором формирования качества вод. Количественные оценки, связанные с развитием фитопланктона, по-прежнему считаются приоритетными среди биологических показателей, значительную роль при этом выполняют такие структурные показатели фитопланктона как таксономическая структура и видовой состав.

Таксономическая структура фитопланктона среднего Иртыша весьма разнообразна и отражает интенсивно идущий процесс эвтрофирования реки, начавшийся после сооружения в ее верхнем течении глубоководных водохранилищ [4]. Во втором десятилетии XXI века антропогенная нагрузка в Обь-Иртышском бассейне еще более возросла [11], к этому присоединилось глобальное потепление климата, что в совокупности вызвало изменения в таксономической структуре и видовом составе фитопланктона среднего течения Иртыша, отражающие усиление процесса эвтрофирования и возрастание загрязнения вод реки легко окисляемыми органическими веществами. В рамках концепции экологических модификаций [1] это соответствует достаточно устойчивому состоянию экологической модуляции, но антропогенное экологическое напряжение экосистемы среднего течения Иртыша сохраняется [5; 6].

Таксономическая структура фитопланктона нижнего Иртыша в настоящее время имеет большое сходство со средним течением реки. Общее видовое богатство фитопланктона нижнего Иртыша по сравнению с данными 1968–1970 гг. [11] осталось на прежнем уровне, но в таксономической структуре были отмечены значительные изменения, свидетельствующие об усилении загрязнения нижнего течения реки легко окисляемыми органическими веществами [5; 6].

Таким образом, функционирование фитопланктона российского участка Иртыша обеспечивает высокую самоочищающую способность реки, что соответствует выполнению регулирующей экосистемной услуги. Самоочищающая способность Иртыша обеспечивается также совокупным функционированием достаточно развитого зоопланктоценоза и зообентоценоза реки.

Не менее важный вид экосистемных услуг реки Иртыш – поддерживающие услуги. Сущность их заключается в том, что вода реки выступает как

среда обитания гидробионтов и поддерживает жизнедеятельности видов, обитающих вблизи реки, способствует сохранению биоразнообразия путем переноса биомассы водами рек. На российском участке Иртыша обитает множество видов растений, животных и птиц, тесно связанных с ним, часть которых внесена в Красные книги Омской и Тюменской областей [23; 24].

Участие реки в сохранении биоразнообразия обусловлено также деятельностью ООПТ, расположенных в ее бассейне. На всем протяжении российского участка Иртыша действует значительное количество ООПТ различного уровня, категорий и направленности, природоохранная деятельность которых направлена на изучение, сохранение и восстановление экосистемы Иртыша.

Трансграничная река Иртыш выступает и как источник культурных экосистемных услуг: она представляет собой эстетическую ценность, место для рекреационной (рыбалка, отдых на воде и побережье) и познавательной деятельности (поставщик услуг для индустрии туризма), деятельности в области спорта и реабилитации здоровья. С активным отдыхом на реке связаны различные общественные и коммерческие организации, проводящие мероприятия, связанные с рыбалкой и пропагандой здорового образа жизни [36].

Иртыш обладает богатым транспортно-туристическим ресурсом, туристы могут путешествовать между Омской, Тюменской, Томской, Новосибирской областями и Казахстаном, а также совершать круизные плавания по реке до Заполярья. Например, в Омской области разработан круизы «Золотое кольцо Западной Сибири», «Омск – Ханты-Мансийск – Омск» и теплоходные туры выходного дня [32]. В ХМАО организован тур «Фиш Иртыш», включающий в себя экскурсию по реке на катере, отдых на берегу и мастер-класс по рыбной ловле [34]. Следует отметить, что в настоящее время использование культурной экосистемной услуги, оказываемой Иртышом, явно недостаточно. Учитывая высокий потенциал реки в этом отношении и установку на развитие в стране внутреннего туризма, эта экосистемная услуга может быть значительно расширена.

Заключение

Состав и содержание экосистемных услуг, оказываемых российским участком трансграничной реки Иртыш, разнообразны и обеспечивают различные потребности экономики регионов, расположенных в ее бассейне. В хозяйственном отношении приоритет имеют ресурсообеспечивающие услуги реки – забор воды и добыча песка. Объемы этих услуг в регионах

постепенно растут, а потенциал практически исчерпан. В конечном счете, с учетом глобальных изменений климата и возрастающей антропогенной деятельности, это привело к угрозе истощения водных ресурсов Иртыша. Сложившаяся ситуация представляет существенную проблему для обеспечения водой населения и экономики стран-пользователей и демонстрирует важность экосистемного подхода в управлении водными ресурсами.

Другие экосистемные услуги Иртыша, имеющие высокий потенциал развития, напротив, недоиспользуются, к их числу относятся как ресурсообеспечивающие услуги (добыча рыбы, использование генетических ресурсов, грузоперевозки по реке), так и культурные услуги.

На сегодняшний день в теоретическом и методическом отношении в достаточной степени разработана только оценка ресурсообеспечивающих экосистемных услуг. Регулирующие, поддерживающие и культурные экосистемные услуги, наиболее полно обосновывающие экологический подход в природопользовании, нуждаются в дальнейшем более тщательном обосновании методов их оценки, что требует повышенного внимания, как со стороны научной общественности, так и государственных органов управления. На примере реки Иртыш показано, что эти услуги вносят значительный вклад в общую экологическую ценность водных ресурсов, не уступая, а иногда превосходя ресурсообеспечивающие услуги.

Общая оценка уровня реализации потенциала всего комплекса экосистемных услуг российского участка трансграничной реки Иртыш, несомненно, будет способствовать повышению эффективности управления процессами регионального развития.

Список литературы

1. Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: тр. Междунар. симпозиума. Л., 1991. С. 41–51.
2. Алдохин А.С., Чемагин А. А. Экологический риск разработки песчаного карьера в русле реки // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2018. №4. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/32256/view>
3. Алексеенко В.В. Трансграничное использование водных ресурсов р. Иртыш (геоэкологические проблемы и последствия) // Электронный научный журнал. 2016. № 12-1 (15). С. 90–103.
4. Баженова О.П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока: монография. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. 248 с.

5. Баженова О.П., Барсукова Н.Н. Современное состояние российского участка реки Иртыш по данным биомониторинга // Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов: матер. Междунар. науч.-практ. конф., г. Тюмень, 28–30 ноября 2019 г. / Науч. ред. С.Н. Гашев. Тюмень, Изд-во ВекторБук, 2020. С. 25–28.
6. Баженова О.П., Барсукова Н.Н. К вопросу об оценке экологического состояния водных объектов на примере Обь-Иртышского бассейна // Экология и управление природопользованием: сб. науч. тр. V Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием, г. Томск, 15 ноября 2021 г.; под ред. А.М. Адама. Вып. 5. Томск: Литературное бюро, 2022. С. 10–12.
7. Баженова О.П., Барсукова Н.Н., Янчевская А.М. Новые и редкие виды водорослей в планктоне нижнего течения реки Иртыш // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. науч. статей по матер. XVIII междунар. науч.-практ. конф. (20–23 мая 2019 г., Барнаул). Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2019. С. 201–205.
8. Баженова О.П., Глущенко А.М., Игошкина И. Ю., Шкилев Т.Э., Куликовский М.С. Новые сведения о флоре пенициллиновых диатомовых водорослей (Fragilariophyceae, Bacillariophyceae) из планктона среднего течения реки Иртыш // Новости систематики низших растений. 2019. Т. 53(2). С. 207–240. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2019.53.2.207>.
9. Баженова О.П., Гульченко Я.И., Вахрушев А.А. Оценка и прогноз экологического состояния реки Иртыш в связи со строительством гидротехнического сооружения в районе г. Омска // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона: мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. (Омск, 24 апреля 2014 г.). Часть 2. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2014. С. 7–30.
10. Баженова О.П., Костерова В.В. Экосистемные услуги крупных сибирских рек (на примере р. Иртыш) // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 2 (119). С. 20–28.
11. Валеева Э.И. Флора планктонных водорослей нижнего течения Иртыша: автореф... дис. канд. биол. наук. Свердловск, 1975. 18 с.
12. Винокуров Ю.И., Краснаярова Б.А. Трансграничный бассейн реки Иртыш в условиях современных вызовов // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 4 т. Барнаул, 2017. Т. 4. С. 3–12.
13. Вода России. Федеральный информационный портал. <https://xn--90aafebcae8c0asf9d6d.xn--p1ai>

14. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. М.: ООО «Типография ЛЕВКО», Институт устойчивого развития/ Центр экологической политики России, 2009. 88 с.
15. Данилов-Данильян В.И. Глобальная проблема дефицита пресной воды // Век глобализации. 2008. № 1. С. 45–56.
16. Девятков В.И. Макрозообентос р. Иртыш и ее пойменных водоемов в Павлодарской области // Selevinia. 2013. Т. 21. С. 39–42.
17. Доклад об экологической ситуации в Омской области в 2022 году. <https://admomsk.ru/web/guest/city/environment>
18. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 году. https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=12027277@cmsArticle
19. Зайцев В. Ф., Ростовцев А. А., Шиповалов Л. А., Цапенков А. В., Прусевич Л. С. Оценка современного состояния запасов водных биоресурсов реки Иртыш на территории Омской области и перспективы их использования // Вестник рыбохозяйственной науки. 2015. Т. 2. № 4 (8). С. 22–33.
20. Иванькова Г. С. О связи зоопланктона Иртыша с планктоном некоторых придаточных водоемов // Тр. Ом. мед. ин-та. 1960. № 31. С. 135–141.
21. Конвенция о биологическом разнообразии: ABS (доступ и совместное использование выгод). Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии. 2011. 7 с.
22. Костерова В.В., Баженова О.П., Адам А.М. Экосистемные услуги водных объектов Омской области // Экология и управление природопользованием: сборник научных трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, г. Томск, 25 ноября 2022 г.; под ред. А.М. Адама. Вып. 6. Томск: Литературное бюро, 2023. С. 60–62.
23. Красная книга Омской области. <https://ecoportal.info/krasnaya-kniga-omskoj-oblasti>
24. Красная книга Тюменской области: Животные, растения, грибы. / Отв. ред. О.А. Петрова. Изд. 2-е. Кемерово: ООО «ТЕХНОПРИНТ», 2020. 460 с. https://admtymen.ru/ogv_ru/about/redbook/more.htm?id=11811598@cmsArticle
25. Кузьмин А.И., Русаков В.Н., Тусупбеков Ж.А. Научно-хозяйственное обоснование необходимости регулирования стока реки Иртыш // Современные проблемы реки Иртыш и водообеспечения Омской области: пути их решения: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2006. С. 4–6.
26. Мезенцева О.В. Предложение по строительству низконапорных плотин на Иртыше // Современные проблемы реки Иртыш и водообеспечения

- Омской области: пути их решения: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2006. С. 57–60.
27. Общее описание реки Иртыш. <https://web.archive.org/web/20131101094919/http://www.ic.omskreg.ru/irtysh/rew.htm>
28. Омский НПЗ «Газпром нефти» запустил первую очередь комплекса очистки воды «Биосфера». <https://tass.ru/ekonomika/16946067>
29. Омский речной порт с начала навигации-2022 перевез 13 тыс. тонн железобетонных конструкций в ХМАО. URL: <https://portnews.ru/news/332951>
30. Опасные и неблагоприятные явления на реках, озерах и водохранилищах Российской Федерации по состоянию на 29 июля 2023 г. <https://www.meteorf.gov.ru/press/polovod2023/3409>
31. Официальный портал органов государственной власти Тюменской области. <https://admtumen.ru>
32. Официальный портал Правительства Омской области. <https://omskportal.ru>
33. Официальный сайт ПАО «Обь-Иртышское речное пароходство». <https://oirp.ru/uslugi/gruzovye-perevozki>
34. Официальный сайт тура «Фиш Иртыш». <https://ugratravel.ru/fish-irtysh>
35. Петрова Н. А., Уварова В. И., Бутакова Т. А. Влияние добычи нерудных строительных материалов на гидробионтов в русле реки Иртыш // Изучение реки Оби и ее притоков в связи с хозяйственным освоением Западной Сибири. Л., 1989. Вып. 305. С. 125–135.
36. Приказ Минспорта России от 05.04.2022 № 300 «О государственной аккредитации общероссийской общественной организации и наделении ее статусом общероссийской спортивной федерации по виду спорта «рыболовный спорт»». <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&p;base=EXP&n=797692#MeyjX2UQsO0fRSar>
37. Промоторова Е.Ю. Экология карповых рыб бассейна нижнего Иртыша: Монография. Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2019. 80 с.
38. Суставов А.А. Особенности структуры и обилие сообществ зоопланктона водоемов пойменно-руслового комплекса Нижнего Иртыша // Сборник тезисов VII региональной молодежной конференции им. В. И. Шпилемана «Проблемы рационального природопользования и история геологического поиска в Западной Сибири». Издательство: ООО «Югорский формат». 2019. С. 434-438. <https://doi.org/10.24411/9999-010A-2019-10111>
39. Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. Ин-т географии РАН. М.: Наука, 2005. 309 с.
40. Фитопланктон Омского Прииртышья: монография / О. П. Баженова, Н. Н. Барсукова, И. Ю. Игошкина [и др.]; под общ. ред. О.П. Баженовой. Омск, 2019. 320 с.

41. Чернова О. А. Экосистемные услуги водных объектов в обеспечении устойчивого развития региона // Регионология. 2022. Т. 30. № 3. С. 586–601. <https://doi.org/10.15507/2413-1407.120.030.202203.586-601>
42. Юхнева В. С., Жерновникова Г. А. Формирование зоопланктона нижнего течения реки Иртыш // Проблемы рыбного хозяйства водоемов Сибири. Тюмень, 1971. С. 71–81.
43. ЯНАО и Омская область планируют развивать речные грузоперевозки по реке Иртыш. <https://portnews.ru/news/342092>
44. Bazhenova O.P., Igoshkina I.Yu., Barsukova N.N., Korzhova L.V. Features in the Distribution of Rare Algae Species in Plankton of Water Bodies in Omsk Priirtyshiye (Russia) // International Journal on Algae. 2019. Vol. 21, Iss. 2. P. 111–122. <https://doi.org/10.15407/alg29.02.141>
45. Krasnoyarova B., Vinokurov Y., Antyufeeva T. International water development problems in the transboundary Irtysh River basin: “new” solutions to old problems // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012049>
46. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/879ecosystems.pdf>
47. Radelyuk I., Zhang L., Assanov D., Maratova G., Tussupova K. A state-of-the-art and future perspectives of transboundary rivers in the cold climate – a systematic review of Irtysh River // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2022. № 42. 101173.

References

1. Abakumov V.A. Ecological modifications and development of biocenoses. *Ecological modifications and criteria of ecological normalization: Proc. of the International Symposium. International Symposium*. L., 1991, pp. 41–51.
2. Aldokhin A.S., Chemagin A.A. Ecological risk of sand quarry development in the river bed. *Vestnik of ASTU. Series: Fishery*, 2018, no. 4. <https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/32256/view>
3. Alekseenko V.V. Transboundary use of water resources of the Irtysh River (geo-ecological problems and consequences). *Electronic scientific journal*, 2016, no. 12-1 (15), pp. 90–103.
4. Bazhenova O.P. *Phytoplankton of the Upper and Middle Irtysh in the conditions of regulated flow: monograph*. Omsk: OmGAU, 2005, 248 p.
5. Bazhenova O.P., Barsukova N.N. Current state of the Russian section of the Irtysh River according to the data of biomonitoring. *Ecosystem services and*

- management of natural resources: Mater. Intern. nauch.-prakt. conf., Tyumen, November 28-30, 2019* / ed. S.N. Gashev. Tyumen, VectorBook Publ., 2020, pp. 25-28.
6. Bazhenova O.P., Barsukova N.N. To the question of assessing the ecological state of water bodies on the example of the Ob-Irtysh basin. *Ecology and management of natural resources: a collection of scientific articles V All-Russian scientific-practical conf. with international participation, Tomsk, November 15, 2021*; ed. by A.M. Adam. Vol. 5. Tomsk: Literary Bureau, 2022, pp. 10-12.
 7. Bazhenova O.P., Barsukova N.N., Yanchevskaya A.M. New and rare species of algae in the plankton of the lower reaches of the Irtysh River. *Problems of Botany of South Siberia and Mongolia: Collection of scientific articles on Mater. XVIII International Scientific and Practical Conference (May 20-23, 2019, Barnaul)*. Barnaul: AltSU, 2019, pp. 201-205.
 8. Bazhenova O.P., Glushchenko A.M., Igoshkina I.Y., Shkilev T.E., Kulikovskiy M.S. New information about the flora of pennate diatom algae (Fragilariophyceae, Bacillariophyceae) from the plankton of the middle reaches of the Irtysh River. *News on the systematics of lower plants*, 2019, vol. 53(2), pp. 207-240. <https://doi.org/10.31111/nsnr/2019.53.2.207>.
 9. Bazhenova O.P., Gulchenko Ya.I., Vakhrushev A.A. Assessment and forecast of the ecological state of the Irtysh River in connection with the construction of a hydraulic structure near Omsk. *Ecological and economic efficiency of nature management at the present stage of development of the West Siberian region: mat-l. of V Intern. scientific-practical conf. (Omsk, April 24, 2014)*. Part 2. Omsk: Omsk State Pedagogical University, 2014, pp. 7-30.
 10. Bazhenova O.P., Kosterova V.V. Ecosystem services of large Siberian rivers (by the example of the Irtysh River). *Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous District*, 2023, no. 2 (119), pp. 20-28.
 11. Valeeva E.I. *Flora of planktonic algae of the lower reaches of the Irtysh River*. Sverdlovsk, 1975, p. 18 p.
 12. Vinokurov Y.I., Krasnoyarova B.A. Transboundary basin of the Irtysh River in the conditions of modern challenges. *Water and environmental problems of Siberia and Central Asia: Proceedings of the III All-Russian scientific conference with international participation*: in 4 vol. Barnaul, 2017, vol. 4, pp. 3-12.
 13. Water of Russia. Federal information portal. <https://xn--90aafebcae8c0asf9d6d.xn--plai>
 14. Danilov-Danilyan V.I. *Water Resources of the World and Prospects of Water Management Complex of Russia*. M.: OOO "Typography LEVKO", Institute for Sustainable Development/Center for Ecological Policy of Russia, 2009. 88 c.

15. Danilov-Danilyan V.I. Global problem of fresh water deficit. *Century of Globalization*, 2008, no. 1, pp. 45-56.
16. Devyatkov V.I. Macrozoobenthos of the Irtysh River. Irtysh and its floodplain reservoirs in Pavlodar region. *Selevinia*, 2013, vol. 21, pp. 39-42.
17. Report on the environmental situation in the Omsk region in 2022. <https://admomsk.ru/web/guest/city/environment>
18. Report on the environmental situation in the Tyumen Oblast in 2022. https://admtyu-men.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=12027277@cmsArticle
19. Zaitsev V. F., Rostovtsev A. A., Shipovalov L. A., Tsapenkov A. V., Prusevich L. S. Assessment of the current state of aquatic bioresource stocks of the Irtysh River in the Omsk region and prospects for their use. *Vestnik fisheries science*, 2015, vol. 2, no. 4 (8), pp. 22-33.
20. Ivankova G. S. On the relationship of zooplankton of the Irtysh with the plankton of some adventitious reservoirs. Proceedings of the Omsk Medical Institute, 1960, no. 31, pp. 135-141.
21. Convention on Biological Diversity: ABS (Access and Benefit Sharing). Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2011, 7 p.
22. Kosterova V.V., Bazhenova O.P., Adam A.M. Ecosystem services of water bodies of the Omsk region. *Ecology and management of natural resources: a collection of scientific papers of the VI All-Russian scientific-practical conference with international participation, Tomsk, November 25, 2022*; ed. by A.M. Adam. Vol. 6. Tomsk: Literary Bureau, 2023, pp. 60-62.
23. Red Book of the Omsk Region. <https://ecoportal.info/krasnaya-kniga-omskoj-oblasti>
24. *Red Book of the Tyumen region: Animals, plants, fungi* / Ed. by O.A. Petrova. Petrova. 2nd ed. Kemerovo: LLC "TECHNOPRINT", 2020, 460 p.
25. Kuzmin A.I., Rusakov V.N., Tusupbekov J.A. Scientific and economic substantiation of the need to regulate the flow of the Irtysh River. *Modern problems of the Irtysh River and water supply of the Omsk region: ways to solve them: mat-l. of Intern. scientific-practical conf.* Omsk, 2006, pp. 4-6.
26. Mezentseva O.V. Proposal for the construction of low-pressure dams on the Irtysh. *Modern problems of the Irtysh River and water supply of the Omsk region: ways of their solution: proceedings of the Intern. Scientific-practical conf.* Omsk, 2006, pp. 57-60.
27. General description of the Irtysh River. <https://web.archive.org/web/20131101094919/http://www.ic.omskreg.ru/irtysh/rew.htm>.
28. Omsk Refinery "Gazprom Neft" launched the first stage of the water treatment complex "Biosphere". <https://tass.ru/ekonomika/16946067>

29. Omsk river port from the beginning of navigation-2022 transported 13 thousand tons of reinforced concrete structures to Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug. URL: <https://portnews.ru/news/332951>
30. Dangerous and unfavorable phenomena on rivers, lakes and reservoirs of the Russian Federation as of July 29, 2023. <https://www.meteorf.gov.ru/press/polo-vod2023/3409>
31. Official portal of the Tyumen Oblast state authorities. <https://admtymen.ru>
32. Official portal of the Omsk Oblast Government. <https://omskportal.ru>
33. Official website of PJSC “Ob-Irtysh River Shipping Company”. <https://oirp.ru/uslugi/gruzovye-perevozki>.
34. Official site of the tour “Fish Irtysh”. <https://ugratravel.ru/fish-irtysh>
35. Petrova N. A., Uvarova V. I., Butakova T. A. Influence of non-metallic construction materials mining on hydrobionts in the Irtysh River bed. *Study of the Ob River and its tributaries in connection with the economic development of Western Siberia*. L., 1989. Issue 305, pp. 125-135.
36. Order of the Ministry of Sport of Russia from 05.04.2022 № 300 “On state accreditation of the All-Russian public organization and giving it the status of the All-Russian sports federation in the sport of ‘fishing sport’”. <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=797692#Mey-jX2UQsO0fRSar>
37. Promotorova E. Yu. *Ecology of carp fishes of the lower Irtysh basin: Monograph*. Tambov: Yukom, 2019, 80 p.
38. Sustavov A.A. Features of the structure and abundance of zooplankton communities of water bodies of the floodplain-channel complex of the Lower Irtysh. *Collection of abstracts of the VII regional youth conference named after V. I. Shpilman. V. I. Shpilman “Problems of rational nature management and history of geological prospecting in Western Siberia”*. Publisher: LLC “Yugorsky Format”. 2019, pp. 434-438. <https://doi.org/10.24411/9999-010A-2019-10111>
39. Tishkov A.A. *Biosphere functions of natural ecosystems of Russia. Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka, 2005, 309 p.
40. *Phytoplankton of the Omsk Priirtyshye: monograph* / O.P. Bazhenova, N.N. Barsukova, I.Y. Igoshkina [et al]; under the editorship of O.P. Bazhenova. Omsk, 2019, 320 p.
41. Chernova O. A. Ecosystem services of water bodies in ensuring sustainable development of the region. *Regionology*, 2022, vol. 30, no. 3, pp. 586–601. <https://doi.org/10.15507/2413-1407.120.030.202203.586-601>
42. Yukhneva V. S., Zhernovnikova G. A. Formation of zooplankton of the lower reaches of the Irtysh River. *Problems of fishery of water bodies of Siberia*. Tyumen, 1971, pp. 71-81.

43. YNAO and Omsk Region plan to develop river cargo transportation along the Irtysh River. <https://portnews.ru/news/342092>
44. Bazhenova O.P., Igoshkina I.Yu., Barsukova N.N., Korzhova L.V. Features in the Distribution of Rare Algae Species in Plankton of Water Bodies in Omsk Priirtyshiye (Russia). *International Journal on Algae*, 2019, vol. 21, iss. 2, pp. 111–122. <https://doi.org/10.15407/alg29.02.141>
45. Krasnoyarova B., Vinokurov Y., Antyufeeva T. International water development problems in the transboundary Irtysh River basin: “new” solutions to old problems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012049>
46. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/879ecosystems.pdf>
47. Radelyuk I., Zhang L., Assanov D., Maratova G., Tussupova K. A state-of-the-art and future perspectives of transboundary rivers in the cold climate – a systematic review of Irtysh River. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2022, no. 42, 101173.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Баженова Ольга Прокопьевна, д.б.н., профессор кафедры экологии, природопользования и биологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А.Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
or.bazhenova@omgau.org

Костерова Валентина Васильевна, аспирант кафедры экологии, природопользования и биологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А.Столыпина»

Институтская площадь, 1, область г. Омск, 644008, Российская Федерация
vv.kosteroval@omgau.org

Адам Александр Мартынович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой экологии, природопользования и экологической инженерии

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
пр. Ленина, 36, г. Томск, 634050, Российская Федерация
adam@green.tsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga P. Bazhenova, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology, Environmental Management and Biology
*Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
op.bazhenova@omgau.org
ResearcherID: ABB-8737-2021
Scopus AuthorID: 6603882158
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2406-4319>
SPIN-code: 6495-5649*

Valentina V. Kosterova, Graduate Student of the Department of Ecology, Environmental Management and Biology
*Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
vv.kosterova@omgau.org
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6604-8580>
SPIN-code: 6344-2474*

Alexander M. Adam, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology, Environmental Management and Environmental Engineering
*National Research Tomsk State University
36, Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation
adam@green.tsu.ru
ResearcherID: AAK-8185-2020
Scopus AuthorID: 7202047324
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3017-4322>*

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 23.05.2024

Принята 27.05.2024

Received 29.03.2024

Revised 23.05.2024

Accepted 27.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

EDN: DYZGZF

УДК 631:631.6.02



Научная статья

ПРОБЛЕМА ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ АРИДНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Назарова, А.М. Беляков

Аннотация

Обоснование. Изменение климата в сторону аридизации и усиление антропогенного воздействия приводят в том числе к дефляции, потере плодородия почв и опустыниванию агроландшафтов, что негативно влияет на их экологическую устойчивость и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Цель. Выявить влияние и механизм воздействия дефляционных процессов на экологическое равновесие агроландшафтов, нерешенные проблемы и пути развития исследований по ветровой эрозии почв в аридной зоне.

Материалы и методы. Использовались методы исследований агроландшафтов (методики ФГБНУ ВНИАЛМИ, ФГБНУ «Росинформагротех», ГНУ ВНИИЗПЭ), общепринятые методики. В качестве объектов исследовались агроландшафты, выстроенные на различных агротехнологиях.

Результаты. Выявлено, что устойчивость агроландшафтов высока при технологии прямого посева, где уровень дефляции составляет 8%, тогда как при классической агротехнологии 31%. Установлен механизм деградации почвы и территорий в условиях Волгоградской области под воздействием дефляции и уровень снижения продуктивности пашни, где ущерб агропроизводству региона составил 27,6 млрд. руб. Доказано влияние всего комплекса антропогенного воздействия на свойства и структуру почв, их эродлируемость, дефляционную активность и в целом на формирование экологически сбалансированных агроландшафтов. Определены перспективные направления исследований по проблеме дефляции, возможность прогнозирования рисков продовольственной безопасности.

Заключение. Получен новый экспериментальный материал по дефляции в зоне светло-каштановых почв. Наиболее сильно дефляция почвы проявилась при использовании классической агротехнологии. Определена необходимость

разработки системы критериев оценки территорий аридной зоны Российской Федерации и методов картографирования территорий и их районирования.

Ключевые слова: агроландшафт; пыльные бури; экологический баланс; лесополосы; дефляция почвы

Для цитирования. Назарова М.В., Беляков А.М. Проблема дефляции почвы в агроландшафтах аридной зоны Волгоградской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 127-144. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

Original article

THE PROBLEM OF SOIL DEFLATION IN THE AGROLANDSCAPES OF VOLGOGRAD REGION ARID ZONE

M.V. Nazarova, A.M. Belyakov

Abstract

Background. The climate is changing towards aridization and increasing on anthropogenic impact lead, among the other things, for example, a deflation, a loss of soil fertility and a desertification of agricultural landscapes, which negatively gives effect on their environmental sustainability and agricultural productivity.

Purpose. It is needed to identify the influence and mechanism of influence of deflationary processes on the ecological balance of agricultural landscapes, and we need to solve some unresolved problems and ways to develop research on wind erosion of soils in the arid zone.

Materials and methods. The methods of research of agricultural landscapes were used (methods of FGBNU VNIALMI, FGBNU “Rosinformagrotekh”, State Scientific Institution VNIIZPE), which used generally accepted methods. Agricultural landscapes were built by using various agricultural technologies were studied as objects.

Results. The revelation of those data proved that the stability of agricultural landscapes is high with direct sowing technology, where the level of deflation is 8%, while the classical agricultural technology it is 31%. The mechanism of soil and territory degradation in the conditions of Volgograd region under the influence of deflation and the level of decrease in arable land productivity, where the damage to agricultural production in the region was amounted to 27.6 billion rubles, have been established also. The influence of the entire complex of anthropogenic impacts on

the properties and structure of soils included their erodibility, deflationary activity and, in general, on the formation of ecologically balanced agricultural landscapes which has been proven successfully. The promising areas of research have been identified also in this article.

Conclusion. We proved that new experimental material on deflation in the zone of light chestnut soils has been obtained. Soil deflation was pronounced using classical agricultural technology. The need to develop a system of criteria for assessing the territories of the arid zone of the Russian Federation and methods for mapping territories.

Keywords: agrolandscape; dust storms; ecological balance; forest strips; soil deflation

For citation. Nazarova M.V., Belyakov A.M. The Problem of Soil Deflation in the Agrolandscapes of Volgograd Region Arid Zone. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 127-144. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1031

Введение

В условиях изменения климата в сторону аридизации и усиления антропогенного воздействия характерным становится рост деградации сельскохозяйственных земель. Одной из причин деградации и опустынивания сельскохозяйственных ландшафтов является дефляция почв, когда разрушение и снятие поверхностного слоя почвы происходит под воздействием ветра с критическими для устойчивости почвы скоростями [3; 15]. Дефляция, приводящая к значительным потерям почвенного плодородия, негативно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур и в целом на экологической сбалансированности агроландшафта.

Исследования по дефляционной тематике включают теоретические аспекты, в том числе изучение механизма выноса почвы, оценку устойчивости почв к ветровой эрозии, количественный учет интенсивности дефляции почв, моделирование дефляционных процессов, и практические аспекты, в том числе изучение эродированности, учет эрозии и дефляции почв и т.д. [2; 5; 7-9; 23; 27-31]. Но еще мало изучены процессы дефляции с учетом разрушающего воздействия на почву агропроизводств и интенсификации антропогенных нагрузок. В статье показаны не решенные на сегодняшний день проблемы в этом направлении, предлагаются пути развития исследований на землях, подверженных ветровой эрозии, раскрывается влияние результатов исследований на формирование сбалансированного агроландшафта.

Материалы и методы

Использовались основные методы исследований агроландшафтов в работах [12, 14, 16, 24, 25, 26], разработки ФГБНУ ВНИАЛМИ, ФГБНУ «Росинформагротех», ГНУ ВНИИЗПЭ. Исследования проводились в 2015-2023 гг. на основе общепринятых методик [10].

Опытные участки для изучения агроландшафтов и проявления дефляции почв были расположены на территории землепользований: ОАО «Усть-Медведицкое» (объект 1), КФХ Исаева В.В. (объект 2) Серафимовичского района, СПК «Черенский» (объект 3) Клетского района Волгоградской области. На объекте 1 применяется технология прямого посева, площадь пашни составляет 10137 га, урожайность за 3 года – 2,1 т/га в зерновых единицах, интенсивность использования пашни средняя. На объектах 2 и 3 при использовании соответственно комбинированной и классической агротехнологий на площади пашни 13500 и 15600 га с высокой интенсивностью, где урожайность за 3 года составила 4,2 и 3,3 т/га в зерновых единицах соответственно.

Волгоградская область по своим термоэнергетическим ресурсам и условиям увлажнения относится ко 2-й и 3-й зонам повышенного потенциала проявления и развития ветровой эрозии. При этом 2-я зона ветроэрозийного районирования представляет собой полупустынную зону с индексом сухости более 3,0 и суммой температур выше 10°C – более 3000°C. К 3-ей зоне относится степная часть региона с показателем сухости 1,0-3,0 и суммой температур более 2400°C [11].

Ярко выраженная континентальность климата Волгоградской области подтверждается рядом метеорологических факторов. Температура воздуха летом +40°C при относительной влажности 30%, зимой -30°C. Сумма осадков составляет в год 400-460 мм на севере области и 270 мм на уровне Волгограда. Гидротермический коэффициент по Селянинову составляет 0,4-0,8, число суховейных дней до 36. Засухи проявляются с вероятностью 30-33 % [21].

Почвы Волгоградской области малогумусные, маломощные, солонцеватые и малосвязные, что способствует развитию деградационных процессов. Легкие по гранулометрическому составу почвы при ветре более 20 м/с теряют мелкозема от 1,3 до 6,22 т/га в час. Каштановые почвы менее устойчивы к ветру, чем южные черноземы аналогичного гранулометрического состава [20]. Потенциал ветровой эрозии в Волгоградской области составляет в среднем 1,0-10 т/га, в отдельных случаях на песках и легких почвах вынос почвы может достигать 12-14 – 22-25 т/га и более.

Целью исследований было выявление влияния дефляционных процессов на экологическое равновесие агроландшафтов, механизма воздействия и поиск перспективных путей развития исследований, связанных с воздействием ветровой эрозии на почвы аридной зоны.

Результаты и обсуждение

Известно, что лесные насаждения и особенно полезащитные полосы играют важную роль в предотвращении дефляции почвы. [13; 17; 22]. Лесные насаждения обеспечивают достаточно высокий экологический эффект при формировании агроландшафтов [15; 18]. При этом не учитываются природная зональность и проектные параметры лесных насаждений.

Таким образом, существует широкий спектр исследовательских работ по выявлению возрастной динамики данного эффекта с учетом природных зон, почвенно-климатических условий произрастания и формирования лесных насаждений, пространственных параметров (расположение лесных насаждений). Аналогичный подход должен быть использован и при оценке почвозащитных свойств лесных насаждений на загрязненных и деградированных территориях. Необходимо определить динамику временных изменений параметров лесных насаждений и гибкость почв к дефляции, тип севооборота, технологию возделывания культур и климатические особенности. Все это должно способствовать разработке и внедрению информационных технологий, методов моделирования разнообразных природных и организационно-экономических процессов и принципов принятия управленческих решений.

Опыт прошлых лет показывает, что в основе планирования и проектирования лесомелиоративных мероприятий лежал учет проектной высоты лесных насаждений, определяемой условиями произрастания и породным составом. Однако публикаций о реализации этой идеи для различных лесных насаждений, схем смещения и лесорастительных условий нами не найдено. То же самое можно сказать и о других параметрах лесных насаждений, особенно на деградированных территориях.

Активное проявление ветровой эрозии в виде пыльных бурь продолжительностью до 8-12 дней характерно для юга Волгоградской области и всего Нижнего Поволжья. Наиболее интенсивные пыльные бури наблюдались в 1969, 1972, 1975, 1984, 2015 годах, когда вынос почвы достигал 20-50 т/га, гумуса 5-6 т/га [23] и сопровождался гибелью озимых культур.

Анализ дефляционных процессов в Волгоградской области показал, что хозяйственная деятельность человека усиливает эрозию почв, а имен-

но обработки почвы с оборотом почвы, частое использование дисковых орудий, высокая доля чистого пара, отсутствие защитных лесополос, чрезмерная нагрузка при выпасе скота.

Исследования показали, что при использовании классической технологии с отвальной обработкой дефляция составляет 31% и в целом деградация почвы значительно выше, что определяет низкую устойчивость агроландшафта, чем при комбинированной технологии и прямом посеве, соответственно 24 и 8 % [4]. Высокая устойчивость ландшафта установлена при технологии прямого посева, что подтверждается наименьшим процентом дефляции почвы по сравнению с другими агротехнологиями (рис. 1).

Особо следует отметить проявление дефляции почвы с 27 по 31 марта 2015 года при сильном и порывистом ветре до 22-24 м/с, затронувшем регионы юга РФ: Волгоград, Астрахань, восточную часть Ростовской области и Калмыкию. В ряде южных и центральных районов области снос почвы с пашни составил от 0,05-0,07 м до 0,09-0,11 м. Отложения почвы в лесополосах и дорожных канавах достигали от 0,32 до 1,12 м мелкозема, снос и перенос почвы с полей слабо развитой озимой пшеницы и распаханых земель в лесополосы и овражно-балочные сети составил от 0,22 м до 1,24 м.

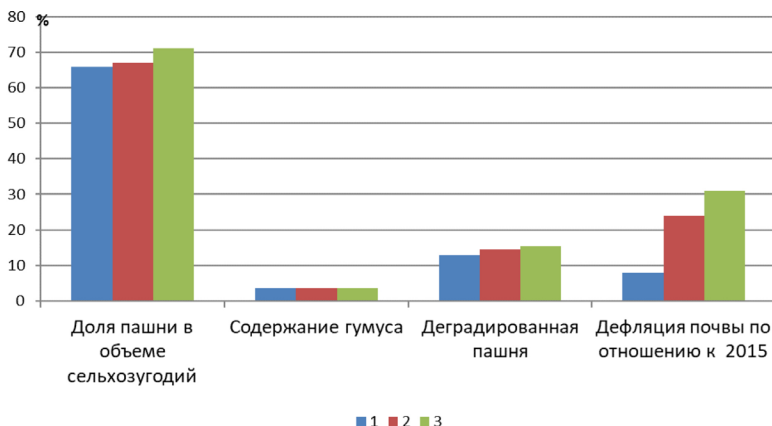


Рис. 1. Оценка агроэкологических показателей объектов исследования
1 – объект 1 (прямой посев), 2 – объект 2 (комбинированная агротехнология), 3 – объект 3 (классическая агротехнология)

Обследования по дефляции 2015 года показали, что ветровой эрозии по Волгоградской области подверглось около 460 тыс. га пашни в южных районах (Октябрьский, Светловский и Котельниковский), в том числе по-

страдали посевы озимой пшеницы на площади 132 тыс. га в фазе шилец (всходы), которые впоследствии были пересеяны яровыми культурами. В черноземной зоне дефляцией было охвачено около 590 тыс. га пашни, в том числе 212 тыс. га озимой пшеницы в фазе шилец (всходы).

Анализ выносимого мелкозема по фракциям механического состава показал, что в светло-каштановых почвах более высокому выносу подвержены частицы мельче 0,05-0,01 мм до 30,3 %, тогда как вынос более мелких фракций составил 11,28 % и 20,54 %. Процент более крупных фракций в сумме составил до 11,88 от общей массы выноса (табл. 1).

Таблица 1.

**Распределение дефляционного выноса почвы по фракциям
механического состава по Качинскому**

Фракция почвы по механическому составу, мм	чернозем южный, %	светло-каштановая почва, %
1,00 - 0,25	0,32	1,02
0,25 - 0,05	31,10	10,86
0,05 - 0,01	0,84	30,30
0,01 – 0,005	17,40	11,28
0,005 – 0,001	37,34	20,54
Менее 0,001	13,00	26,00
Физическая глина	70,6	57,8

В черноземе южном основную массу выноса составила фракция 0,005-0,001 до 37,34% и фракция 0,25-0,05 – до 31,10%, остальные фракции подвержены выносу в 2 раза меньше и составили от 13,00 до 17,40%.

В черноземной зоне отмечалась особенность разгона ветра вдоль реки Бузулук с выходом на левобережную террасу, где препятствием ветру становились лесные полосы поперек его движения. Нами условно были выделены три линии лесных полос шириной 8,0 м и высотой 8-10 м. Отмечено отложение мелкозема в первой линии 0,12-0,18 м, второй линии – 0,32-0,48 м и третьей – 0,80-1,21 м.

С наветренной стороны лесополосы 2-ой линии вынос мелкозема составил 0,15-0,26 м, с заветренной стороны – 0,28-0,66 м и в самой лесной полосе 0,45-0,84 м. Снижение гумуса почвы составило 0,6-1,2% в черноземной почве и 0,3- 0,7% в светло-каштановой почве по отношению к почве, не подверженной дефляции.

Ущерб экономике сельскохозяйственных предприятий области составил 27,6 млрд. рублей, в том числе от пересева озимых культур – 1,2 млрд.

рублей, от недобора урожая – 6,4 млрд. рублей, от снижения плодородия почв – 20 млрд. рублей. При пересчете ущерба на все Нижнее Поволжье цифра составляет 55,2 млрд. рублей.

Для предотвращения негативного воздействия перспективные исследования по проблеме дефляции могут включать следующие направления: изучение ветроэрозионного потенциала на территориях, в результате антропогенной деятельности; разработка ситуационных вопросов в связи с вариациями климата и глобальными его изменениями.

Одним из факторов дефляции почвы является климатология территории и ее рельеф [6; 16]. Сами по себе эти факторы являются более консервативными на фоне нелинейности изменения соответствия почвы ветру. Однако и они могут существенно изменить потенциал ветровой эрозии территории. Известно, что наветренные склоны подвержены большей дефляции, чем подветренные. Увеличение соотношения скорости ветра и сопротивления почвы дефляции также приводит к усилению выдувания мелкозема. Следовательно, на территории, подверженной чрезмерной антропогенной нагрузке, будет очевидна иная зональность потенциальной дефляции почвы, иной характер горизонтального переотложения мелкозема.

Для правильной агроэкологической лесомелиоративной организации территории, необходимо знать критические скорости ветра и эродированность почвы. Для этого необходимо провести обширные исследования аэродинамических свойств почв, взятых с загрязненных и разрушенных территорий.

Основными противодефляционными средствами являются лесные и кустарниковые насаждения [1; 20]. Их эффективность зависит от высоты, густоты, сомкнутости, долговечности и размещения в пространстве [6]. Для решения проблемы проектирования эффективных агролесомелиоративных комплексов необходимо знать природу их формирования в условиях, измененных загрязнителями и деструктивными воздействиями, их таксационные и аэродинамические параметры в динамике во времени. Кроме того, параметры лесных и кустарниковых полос, а точнее их высота, густота и открытость за период ротации, изменяются в достаточно широком диапазоне [19], и тип и степень загрязнения территории также накладывают на это свой отпечаток.

Отдельно стоит упомянуть еще одну проблему, разработка которой также крайне перспективна. Это проблема рисков в продовольственной и ветроэрозионной сферах жизни в современных условиях и в связи с глобальным изменением климата, в которой агролесомелиорация будет играть

значительную роль. И, конечно, развитие информационных технологий здесь, как и в отмеченных выше случаях, станет основой для успешного прогнозирования поведения таких сложных систем, как лесомелиоративные комплексы.

Почвозащитные мероприятия, проводимые в районах ветровой эрозии страны, а также создание лесных насаждений в Нижнем Поволжье, существенно повлияли на процессы деградации почв от ветровой эрозии. При этом, как показала практика, трансформация сельскохозяйственных ландшафтов в зонах дефляции продолжается – меняется морфология почвенного профиля, агрегатный и гранулометрический состав, водно-физические и химические свойства почв [3]. Анализ показывает, что, несмотря на принимаемые меры, выдувание почв составляет в среднем 10 т/га и более в год [23]. Это означает, что толщина гумусового горизонта ежегодно уменьшается из-за выдувания почвы в среднем на 0,9 мм и более. Дифференциация происходит в пределах каждого поля на пашне и каждого объекта на пастбище.

Установлено, что при дефляции грунта крупные структурные агрегаты легко разрушаются до пылевидных частиц из-за снижения прочности агрегатов. Этот процесс также требует изучения.

В дефлированной почве по сравнению с недефлированной обнаруживается большее количество крупных агрегатов и меньшее количество мелких. В эоловых отложениях в основном преобладают частицы размером $0,25 \leq 1$ мм, частиц же размером 1-3 мм немного. Необходимо детальное изучение этого вопроса.

Представляет интерес также изучение причин снижения водоудерживающей способности дефлированных почв, влияющих на диапазон активного увлажнения.

На дефлированных участках изменяется и химический состав почв. Это связано с тем, что мелкие агрегаты (в первую очередь агрегаты $< 0,1$ мм) содержат основную массу гумуса, карбонатов, физической глины и питательных веществ для растений. С обнажением нижних горизонтов при дефляции в гумусе эродированных почв увеличивается относительное содержание фульвокислот. Необходимо изучить этот процесс в агролесоландшафте.

Из-за дефляционных процессов потери на землях, подверженных активной дефляции, составляют 10 т/га и более в год, что во много раз превышает уровень, компенсируемый почвообразованием. В слабдефляционных и умеренно дефляционных районах не добирается 15-20 и

25-30% урожая соответственно. Здесь заложена основная роль лесомелиорации, и ее следовало бы тщательно изучить.

Сложной проблемой в направлении рационального природопользования является определение экологически обоснованного соотношения земель. Это соотношение должно определяться конкретными ландшафтными условиями местности. Лесные насаждения являются экологическим каркасом территории. Однако сами по себе лесомелиоративные мероприятия не могут полностью обеспечить охрану почв. Она должна быть усилена почвозащитной энерго- и ресурсосберегающей системой земледелия. Поэтому развитие экологизированных почвосберегающих систем земледелия является приоритетной задачей. Для создания таких систем необходимо решить ряд проблем. Первая из них – защита от эрозии и дефляции. В значительной степени эта проблема решается за счет организации территории и создания адаптированных систем облесения. Также необходимы почвозащитная обработка и посев.

Лесные насаждения являются мощным антидеградационным средством. В настоящее время существует достаточно развитая сеть лесных насаждений на пашнях и пастбищах, в том числе на территориях Нижнего Поволжья, подверженных дефляции. В то же время нет объективных и строго обоснованных с точки зрения эффективной защиты почв от дефляции и экологически безопасных данных, отвечающих на вопрос, достаточно ли лесополос для устойчивости агросферы перед стихией в период активных пыльных бурь.

Важным направлением исследований должна стать оценка рисков и решение проблемы продовольственной безопасности отдельных территорий и регионов, связанных с глобальным изменением климата, усилением вариативности погоды, проявлениями дефляции почв и, как следствие, значительными колебаниями урожайности сельскохозяйственных культур с применением сценарных цифровых технологий прогнозирования.

Заключение

Таким образом, дефляция почвы наиболее сильно проявилась при использовании классической агротехнологии – 31%, при комбинированном и прямом посеве соответственно 24 и 8%. Высокая экологическая устойчивость агроландшафта установлена при использовании технологии прямого посева. Ущерб экономике сельскохозяйственных предприятий региона составил 27,6 млрд рублей, в том числе за счет пересева озимых культур 1,2 млрд рублей, недобора урожая 6,4 млрд рублей и снижения плодородия

дия почв 20 млрд рублей. Определены перспективные направления исследований по проблеме дефляции, где необходимо разработать систему критериев оценки территорий аридной зоны Российской Федерации по отмеченным выше параметрам и разработать методы картографирования территорий и их районирования, что позволит выявить влияние всего комплекса антропогенного воздействия на свойства и структуру почв, их эродируемость, дефляционную активность и в целом на формирование экологически сбалансированных агроландшафтов, в том числе прогнозировать риски продовольственной безопасности.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания № 122020100312-0 «Теория и принципы формирования адаптивных агролесомелиоративных комплексов сухостепной зоны юга РФ в контексте климатических изменений».

Список литературы

1. Агролесомелиорация и плодородие почв / Павловский Е.С., Васильев Ю.И., Зайченко К.И. и др. М.: Агропромиздат, 1981. 288 с.
2. Беляков А.М., Васильев, Ю.И. Турко, С.Ю., Назарова, М.В. Пыльные бури в Волгоградской области, их проявление и борьба с ними // Нива Поволжья. 2019. №2. С.2-8.
3. Беляков А.М., Кошелев А.В. Особенности проявления деградационных процессов в агроландшафтах сухостепной зоны волгоградской области // Аридные экосистемы. 2023. Т.29, № 1 (94). С. 120-130.
4. Беляков А. М., Назарова М.В. Агроэкологическая оценка сбалансированности систем земледелия в зонах недостаточного увлажнения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 45-52. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-04>
5. Беляков А.М., Сарычев А.Н. Проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования. Солёное Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2016. С. 721-727.
6. Васильев Ю.И. Эффективность систем лесных полос в борьбе с дефляцией почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2003. 176 с.

7. Ветроустойчивость южных карбонатных и обыкновенных черноземов в агролесоландшафтах степной зоны России / Волошенкова Т.В., Дридигер В.К., Епифанова Р.Ф., Калашникова А.А., Оганджян А.А. // Аграрная наука. 2021. № 11-12. С. 104-108.
8. Волошенкова Т.В. Податливость почв дефляции в зависимости от свойств подстилающей поверхности // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 1. С. 34-35.
9. Долгилевич М.И., Васильев Ю.И., Сажин А.Н. Системы лесных полос и ветровая эрозия. М.: Лесная промышленность, 1981. 160 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
11. Кальянов К.С. Динамика процессов ветровой эрозии почв. М.: Наука, 1976. 154 с.
12. Кирюшин В.И. Развитие представлений о функциях ландшафтов в связи с задачами оптимизации природопользования // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 80. С.16-25.
13. Кулик К.Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 18-21.
14. Кулик К.Н., Кошелев А.В. Методическая основа агролесомелиоративной оценки защитных лесных насаждений по данным дистанционного мониторинга // Лесотехнический журнал. 2017. Т. 7, № 3(27). С. 104-114.
15. Кулик К.Н., Пугачёва А.М. Лесомелиорация – основа создания устойчивых агроландшафтов в условиях недостаточного увлажнения // Лесотехнический журнал. 2016. № 3. С. 29-40.
16. Кулик К.Н., Рулев А.С., Сажин А.Н. Глобальные процессы дефляции в степных экосистемах // Метеорология и гидрология. 2018. № 9. С. 72-80.
17. Манаенков А.С., Абакумова Л.И. Повышение эффективности полевых лесоразведения в острозасушливых районах России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4 (28). С. 73-83.
18. Манаенков А.С., Корнеева Е.А. Оценка эффективности лесомелиоративного обустройства пахотных земель Нижнего Поволжья, подверженных дефляции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. №4. С. 41-46.
19. Методика прогноза морфометрических характеристик и долговечности полевых защитных лесных полос / Васильев Ю.И., Абакумова Л.И., Гнидина И.С., Турко С.Ю., Варич О.С., Кретинин В. М. М.: РАСХН, 2005. 44с.

20. Методические указания по размещению полезащитных лесных полос в районах с активной ветровой эрозией / Долги́левич М.И., Васи́льев Ю.И., Сажин А.Н. и др. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 59 с.
21. Погодно-климатические условия Волгоградской области как объективный аргумент для активного развития здесь агролесомелиорации / Васи́льев, Ю.И., Сажин, А.Н., Судаков, А.В., Назарова М.В. // Агролесомелиорация в 21 веке: состояние, проблемы, перспективы. Фундаментальные и прикладные исследования. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015. С. 53-59.
22. Пугачёва А. М. Агролесомелиоративные системы – основа развития земледелия // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. №1(49). С. 227-237.
23. Рулев А.С., Бе́ляков А.М., Са́рычев А. Н. Исследование проявления дефляции почв в условиях Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2016. № 2(42). С. 101-107.
24. Система оценки экологической сбалансированности агроландшафта и степени соответствия используемой в нем системы земледелия / Гостев А.В., Пыхтин И.Г., Нитченко Л.Б., Плотников В.А., Пыхтин А.И. // Земледелие. 2017. № 8. С. 3-7.
25. Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. Сохранение и оптимизация агроландшафтов Центрального Черноземья // Известия российской академии наук. Серия географическая. 2017. №4. С.103-109.
26. Усовершенствованные теоретические основы формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Масютенко Н.П., Бахирев Г.И., Кузнецов А.В. и др. Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, 2015. 63 с.
27. Enhanced assessment of regional impacts from wind erosion by integrating particle size / Xu H., Wang Yu, Han T., Li R., Ma J., Qiu X., Ying L., Zheng H. // Catena. 2024. Vol. 239. 107937. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107937>
28. Estimating the indices of soil erodibility to wind erosion using pedo- and spectro-transfer functions in calcareous soils / Mina M., Rezaei M., Sameni A., Riksen M. J.P.M., Ritsema C. // Geoderma. 2023. Vol. 438, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116612>
29. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited / Pandey A., Himanshu S.K., Mishra S.K., Singh V.P. // Catena. 2016. Vol. 147. P. 595-620. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>
30. Soil deflation analyses from wind erosion events / Lackoová L., Urban T., Aydın E., Kozlovsky Dufkova Ja. // Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiectus. 2015. No 14. P. 75-83. <https://doi.org/10.15576/ASP.FC/2015.14.3.75>

31. Wind tunnel simulation of wind erosion and dust emission processes, and the influences of soil texture / Zuo X., Zhang C., Zhang X., Wang R., Zhao J., Li W. // International Soil and Water Conservation Research. 2024. Vol. 12, Issue 2. P. 455-466, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.005>

References

1. Pavlovskij E.S., Vasil'ev Yu.I., Zajchenko K.I. et al. *Agrolesomeliioracija i plodorodie pochv* [Agroforestry and soil fertility]. Moscow: Agropromizdat, 1981, 288 p.
2. Belyakov A.M., Vasiliev Yu.I., Turco S.Yu., Nazarova M.V. Pyl'nye buri v Volgogradskoj oblasti, ih pojavlenie i bor'ba s nimi [Dust storms in the Volgograd region, their manifestation and prevention]. *Niva Povolzh'ja*, 2019, no. 2, pp. 2-8.
3. Belyakov A.M., Koshelev A.V. Osobennosti pojavlenija degradacionnyh processov v agrolandshaftah suhostepnoj zony volgogradskoj oblasti [Peculiarities of manifestation of degradation processes in agricultural landscapes of the dry steppe zone of the Volgograd region]. *Aridnye jekosistemy*, 2023, vol. 29, no. 1 (94), pp. 120-130.
4. Belyakov A.M., Nazarova M.V. Agrojekologicheskaja ocenka sbalansirovannosti sistem zemledelija v zonah nedostatochnogo uvlazhnenija [Agroecological assessment of the agricultural systems balance in areas of insufficient humidification]. *Izvestija Nizh-nevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, vol. 1 (61), pp. 45-52. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2021-01-04>
5. Beljakov A.M., Sarychev A.N. Projavlenija defljacii pochv v uslovijah Volgogradskoj oblasti [Manifestations of soil deflation in the Volgograd region]. *Sovremennoe jekologicheskoe sostojanie prirodnoj sredy i nauchno-prakticheskie aspekty racional'nogo prirodopol'zovanija. Solenoe Zajmishhe: Prikaspijskij nauchno-issledovatel'skij institut aridnogo zemledelija* [Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management. Solene Zaimishche: Caspian Research Institute of Arid Agriculture]. 2016, pp. 721-727.
6. Vasiliev Yu.I. *Jeffektivnost' sistem lesnyh polos v bor'be s defljaciej pochv* [The effectiveness of forest belt systems in combating soil deflation]. Volgograd: VNIALMI, 2003, 176 p.
7. Voloshenkova T.V., Dridiger V.K., Epifanova R.F., Kalashnikova A.A., Ogandzhanyan A.A. Vetrustojchivost' juznyh karbonatnyh i obyknovennyh chernozemov v agrolesolandshaf-tah stepnoj zony Rossii [Wind resistance of southern carbonate and ordinary chernozems in agroforest landscapes of the steppe zone of Russia]. *Agrarnaja nauka*, 2021, no. 11-12, pp. 104-108.

8. Voloshenkova T.V. Podatlivost' pochv defljacii v zavisimosti ot svoystv podstilajushhej poverhnosti [Soil compliance to deflation depending on the properties of the underlying surface]. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhozajstvennyh nauk*, 2012, no. 1, pp. 34-35.
9. Dolgilevich M.I., Vasiliev Yu.I., Sazhin A.N. *Sistemy lesnyh polos i vetrovaja jerozija* [Forest belt systems and wind erosion]. Moscow: Lesnaja promyshlennost', 1981, 160 p.
10. Dosphehov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment methodology]. Moscow: Kolos, 1979, 416 p.
11. Kalyanov K.S. *Dinamika processov vetrovoj jerozii pochv* [Dynamics of wind erosion processes of soils]. Moscow: Nauka, 1976, 154 p.
12. Kiryushin V.I. Razvitie predstavleniy o funktsiyakh landshaftov v svyazi s zadachami optimizatsii prirodopol'zovaniya [The development of ideas about the functions of landscapes in connection with the tasks of optimizing nature management]. *Byulleten' pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2015, no. 80, pp. 16-25.
13. Kulik K.N. Zashhitnye lesnye nasazhdeniya – osnova jekologicheskogo karkasa agroteritorij [Protective forest plantings are the basis of the ecological framework of agricultural territories]. *Vestnik rossijskoj sel'skhozajstvennoj nauki*, 2018, no. 1, pp. 18-21.
14. Kulik K.N., Koshelev A.V. Metodicheskaja osnova agrolesomeliorativnoj ocenki zashhitnyh lesnyh nasazhdenij po dannym distancionnogo monitoringa [Methodological basis of agroforestry assessment of protective forest stands according to remote monitoring data]. *Forestry journal*, 2017, vol. 7, no. 3(27), pp. 104-114.
15. Kulik K.N., Pugacheva A.M. Lesomelioracija – osnova sozdanija ustojchivyh agrolandshaftov v uslovijah nedostatochnogo uvlazhnenija [Forest reclamation – the basis for arrangement of sustainable agrolandscapes in conditions of insufficient moistening]. *Lesotekhnicheskij zhurnal*, 2016, no. 3, pp. 29-40.
16. Kulik K.N., Rulev A.S., Sazhin A.N. Global'nye processy defljacii v stepnyh jekosistemah [Global processes of deflation in steppe ecosystems]. *Meteorologija i gidrologija*, 2018, no. 9, pp. 72-80.
17. Manaenkov A.S., Abakumova L.I. Povyshenie jeffektivnosti polezashhitnogo lesorazvedenija v ostrozasushlivyh rajonah Rossii [Increase in efficiency of field-protective forestations in critical droughty regions of Russia]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie*, 2015, no. 4 (28), pp. 73-83.
18. Manaenkov A.S., Korneeva E.A. Ocenka jeffektivnosti lesomeliorativnogo obustrojstva pahotnyh zemel' Nizhnego Povolzh'ja, podverzhennyh defljacii

- [Assessment of the effectiveness of forest reclamation of arable lands in the Lower Volga region subject to deflation]. *Izvestija Nizh-nevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2012, no. 4, pp. 41-46.
19. Vasil'ev Yu.I., Abakumova L. I., Gnidina I. S., Turko S.Yu., Varich O. S., Kretinin V. M. *Metodika prognoza morfometricheskikh kharakteristik i dolgovechnosti polezashchitnykh lesnykh polos* [Methodology for predicting morphometric characteristics and durability of protective forest strips]. Moscow: RASKHN, 2005, 44 p.
20. Dolgilevich M.I., Vasiliev Ju.I., Sazhin A.N. et al. *Metodicheskie ukazaniya po razmeshheniju polezashchitnykh lesnykh polos v rajonah s aktivnoj vetrovoj jeroziej* [Methodical guidelines for the placement of field protective forest strips in areas of active wind erosion]. Moscow: VASHNIL, 1984, 59 p.
21. Vasiliev Yu.I., Sazhin A.N., Sudakov A.V., Nazarova M.V. Pogodno-klimaticheskie uslovija Volgogradskoj oblasti kak obektivnyj argument dlja aktivnogo razvitiya zdes' agrolesomelioracii [Weather and climatic conditions of the Volgograd region as an objective argument for the active development of agroforestry here]. *Agrolesomelioracija v 21 veke: sostojanie, problemy, perspektivy. Fundamental'nye i prikladnye issledovanija* [Agroforestry in the 21st century: status, problems, prospects. Fundamental and applied research]. Volgograd: VNIALMI, 2015, pp. 53-59.
22. Pugacheva A. M. Agrolesomeliorativnye sistemy – osnova razvitiya zemledelija [Agroforestry systems are the basis for the development of agriculture]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2018, no. 1(49), pp. 227-237.
23. Rulev A.S., Belyakov A.M., Sarychev A. N. Issledovanie projavljenija defljacii pochv v uslovijah Volgogradskoj oblasti [Study of the manifestation of soil deflation in the conditions of the Volgograd region]. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2016, no. 2(42), pp. 101-107.
24. Gostev A.V., Pykhtin I.G., Nitchenko L.B., Plotnikov V.A., Pykhtin A.I. Sistema ocenki jekologicheskoy sbalansirovannosti agrolandshtafta i stepeni so-otvetstvija ispol'zuemoj v nem sistemy zemledelija [Evaluation system of ecological balance in an agricultural landscape and the degree of conformity to the used farming system]. *Zemledelie*, 2017, no. 8, pp. 3-7.
25. Trofimov I.A., Trofimova L.S., Yakovleva E.P. Sohranenie i optimizacija agro-landshtafrov Central'nogo Chernozem'ja [Preservation and Optimization of Agrolandscapes of the Central Chernozem Zone]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Serija geograficheskaja*, 2017, no. 4, pp. 103-109.

26. Masyutenko N.P., Bakhirev G.I., Kuznetsov A.V. Chuyan, N.A., Breskina, G.M., Dubovik E.V., Masyutenko M.N., Priputneva M.A. *Usovershenstvovannyye teoreticheskie osnovy formirovaniya jekologicheski sbalansirovannyh agrolandshaftov* [Improved theoretical basis for the formation of ecologically balanced agrolandscapes]. Kursk: FGBNU VNIIZiPJe, 2015, 63 p.
27. Enhanced assessment of regional impacts from wind erosion by integrating particle size / Xu H., Wang Yu, Han T., Li R., Ma J., Qiu X., Ying L., Zheng H. *Catena*, 2024, vol. 239, 107937. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.107937>
28. Estimating the indices of soil erodibility to wind erosion using pedo- and spectro-transfer functions in calcareous soils / Mina M., Rezaei M., Sameni A., Riksen M. J.P.M., Ritsema C. *Geoderma*, 2023, vol. 438, 116612. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116612>
29. Physically based soil erosion and sediment yield models revisited / Pandey A., Himanshu S.K., Mishra S.K., Singh V.P. *Catena*, 2016, vol. 147, pp. 595-620. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>
30. Soil deflation analyses from wind erosion events / Lackoová L., Urban T., Aydın E., Kozlovsky Dufkova Ja. *Acta Scientiarum Polonorum Formatio Circumiec-tus*, 2015, no 14, pp. 75-83. DOI:10.15576/ASP.FC/2015.14.3.75
31. Wind tunnel simulation of wind erosion and dust emission processes, and the influences of soil texture / Zuo X., Zhang C., Zhang X., Wang R., Zhao J., Li W. *International Soil and Water Conservation Research*, 2024, vol. 12, issue 2, pp. 455-466, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.08.005>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Назарова Марина Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация* mn1967@list.ru

Беляков Александр Михайлович, д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий и систем земледелия в агролесоландшафтах

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»

пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация

dokbam49@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Marina V. Nazarova, Junior Researcher of Laboratory of Agrotechnologies and Farming Systems in Agroforestry Landscapes

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

mn1967@list.ru

SPIN-code: 6326-0980

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7933-3152>

Scopus Author ID: 57214107479

Alexander M. Belyakov, Dr. of Agri. Sc., Professor, Head Researcher of the Laboratory of Agrotechnologies and Farming Systems in Agroforestry Landscapes

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

dokbam49@mail.ru

SPIN-code: 3306-4100

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9541-8383>

Scopus Author ID: 57222722415

Поступила 15.04.2024

После рецензирования 27.05.2024

Принята 09.06.2024

Received 15.04.2024

Revised 27.05.2024

Accepted 09.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1021

EDN: DUKSQD

УДК 57.084.1:664-4



Научная статья

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕМЕНАХ И ПРОРОСТКАХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР ПОДСЕМЕЙСТВА PAPILIONOIDEAE

Т.А. Адамович, А.С. Олькова

Аннотация

Обоснование. Семена и проростки бобовых растений являются популярным растительным продуктом питания с многими полезными свойствами. Проблемы роста населения, высокой заболеваемости и одновременное уменьшение площади плодородных земель актуализируют необходимость внедрения функциональных продуктов питания в ежедневную практику.

Целью исследования было сравнение содержания биологически активных веществ в семенах и проростках сои *Glycine max*, маша *Vigna radiata*, фасоли *Phaseolus vulgaris*, люцерны *Medicago sativa*.

Методы исследования. Проростки получали методом гидропонной культуры на дистиллированной воде (7-10 дней). Семена и проростки исследовали в измельченном воздушно-сухом виде. Содержание полифенолов и флавоноидов определяли спектрофотометрически, аскорбиновой кислоты – титрованием по методу Тильманса.

Результаты. Показано, что проращивание всех семян приводит к увеличению содержания полифенолов, флавоноидов и аскорбиновой кислоты в 2-12 раз. Проростки *M. sativa* и *V. radiata* оказались наиболее ценными источниками антиоксидантных соединений полифенольной группы (21 и 20 мг/г соответственно). По содержанию аскорбиновой кислоты лидировали проростки *M. sativa* и *Ph. vulgaris* (0,11 мг/г соответственно).

Выводы. Семена *M. sativa*, не рекомендуемые для питания человека из-за высокого содержания токсичного канаванина, могут дополнять функциональное питание в виде проростков.

Ключевые слова: аскорбиновая кислота; флавоноиды; полифенолы; *Glycine max*; *Vigna radiata*; *Phaseolus vulgaris*; *Medicago sativa*

Для цитирования. Адамович Т.А., Олькова А.С. Содержание биологически активных веществ в семенах и проростках бобовых культур подсемейства papilionoideae // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 145-155. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1021

Original article

THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN SEEDS AND SPROUTS OF BEANS OF THE PAPILIONOIDEAE SUBFAMILY

T.A. Adamovich, A.S. Olkova

Abstract

Background. The problems of population growth, high morbidity and simultaneous decrease in the area of fertile lands actualize the need to introduce functional food products into daily practice.

The **aim** of the study was to compare the content of biologically active substances in seeds and seedlings of soybean *Glycine max*, mung bean *Vigna radiata*, bean *Phaseolus vulgaris*, alfalfa *Medicago sativa*.

Materials and methods. The seedlings were obtained by the method of hydroponic culture in distilled water (7-10 days). Seeds and seedlings were examined in crushed air-dry form. The content of polyphenols and flavonoids was determined on a spectrophotometer, the content of ascorbic acid was determined by titration using the Tilemans method.

Results. It has been shown that germination of all seeds leads to an increase in the content of polyphenols, flavonoids and ascorbic acid by 2-12 times. *M. sativa* and *V. radiata* sprouts turned out to be the most valuable sources of antioxidant compounds of the polyphenol group (21 ± 5 and 20.0 ± 2.9 mg/g, respectively). In terms of ascorbic acid content, the leaders were the sprouts of *M. sativa* and *Ph. vulgaris* (0.11 ± 0.01 mg/g).

Conclusion. *M. sativa* seeds, which are not recommended for human nutrition due to their high content of toxic canavanine, can complement functional food in the form of sprouts.

Keywords: ascorbic acid; flavonoids; polyphenols; *Glycine max*; *Vigna radiata*; *Phaseolus vulgaris*; *Medicago sativa*

For citation. Adamovich T.A., Olkova A.S. The Content of Biologically Active Substances in Seeds and Sprouts of Beans of the Papilionoideae Subfamily. *Siberian*

Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 145-155. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1021

Введение

Некоторые функциональные продукты питания являются доступными для большинства населения. К ним можно отнести проростки семян различных растений (микрорезель). Проращивание семян – это один из биотехнологических методов, который может улучшить фитохимический профиль и функциональные качества съедобных семян [1]. Проростки можно употреблять в пищу самостоятельно, а также использовать как добавку, повышающую полезные свойства готового продукта. Так, добавление в муку проростков пшеницы улучшало профиль фенольных соединений в хлебе [4].

Первоначальный состав семян существенно изменяется во время прорастания. Питательные вещества и биологические активные соединения трансформируются: белки расщепляются на аминокислоты, жиры – на незаменимые жирные кислоты, крахмалы – на сахара, минералы переходят в хелатную форму или комбинируются с белком так, что повышается их биологическая ценность [7]. Содержание белков, витаминов, ферментов, доступных микроэлементов увеличивается от 300 до 1200 %.

Употребление проростков в пищу может иметь профилактические и лечебные эффекты. Они содержат сульфорафан, изотиоцианаты, глюкозинолаты, ферменты, антиоксиданты, витамины, которые в совокупности эффективны в профилактике многих болезней, в том числе рака [2]. Возможно, это связано с тем, что проростки имеют антигенотоксический эффект, защищая ДНК от повреждения, индуцированного перекисью водорода H_2O_2 [20]. Также съедобные семена и проростки являются хорошим источником антиоксидантов, таких как фенольные кислоты, флавоноиды, микроэлементы и витамины [13]. Известно, что получение антиоксидантов с пищей является естественной защитой от болезней сердца и многих возрастных патологических состояний [10].

В западной культуре ценные свойства проростков люди узнали на примере злаков (лат. Gramíneae). Восточная культура издавна ценила бобовые растения (лат. Fabáceae, Leguminósae), особенно фасоль, маш, чечевицу, нут, сою, арахис, которые относятся к подсемейству Papilionoideae (Faboideae). Их ценят главным образом за растительный источник белка, а также уникальный набор аминокислот, минералов и витаминов [12, 3]. Теперь эти семена завоевали весь мир. Постепенно в практику здорового питания входят также проростки семян Papilionoideae.

Целью нашей работы было сравнение содержания биологически активных веществ в семенах и проростках маша, сои, люцерны, фасоли.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны семена (производитель – группа компаний «Гавриш», Россия), а также высушенные до постоянной массы проростки бобовых культур подсемейства Papilionoideae: сои (*Glycine max*), маша (*Vigna radiata*), фасоли (*Phaseolus vulgaris*), люцерны (*Medicago sativa*). Проращивание семян осуществлялось гидропонным методом. Семена промывались и замачивались в питьевой воде на сутки. Затем они высаживались на влажный субстрат из джутового коврика, помещенного в пластиковый контейнер. Полив – 1 раз в сутки водой питьевого качества. Проращивание семян проводили при температуре 22–24°C, естественном равномерном освещении. Проращивание заканчивали на 7-10 сутки.

В измельченной биомассе семян и проростков мы определяли содержание трёх биологически активных веществ. Содержание аскорбиновой кислоты определялось её экстрагированием раствором соляной кислоты с последующим титрованием раствором 2,6-дихлорфенолиндифенолятом натрия по методу Тильманса [23]. Метод определения полифенолов был основан на реакции их окисления в водно-спиртовом экстракте из растительного сырья реактивом Фолина-Чокальтеу [24]. Содержание флавоноидов определялось спектрофотометрически по оптической плотности комплексов, образующихся при взаимодействии флавоноидов с хлоридом алюминия [25]. В качестве стандарта служил рутин.

Определение показателей проводилось в трех повторностях. Результаты представляли в виде средних значений (M) и их стандартных отклонений (δ). Значимость различий между сравниваемыми рядами данных оценивалась с помощью t -критерия Стьюдента, $p < 0,05$.

Результаты исследования

Содержание биологически активных веществ в семенах и проростках

Полифенольные соединения (включая флавоноиды) относятся к классу натуральных веществ, обладающих большой пользой для здоровья. Проращивание семян приводило к возрастанию концентрации фенольных соединений в ростках по сравнению с исходными семенами (рис. 1). Это объясняется тем, что процесс прорастания приводит к заметным изменениям фенольного состава за счет активации внутренних ферментов и метаболических процессов [18].

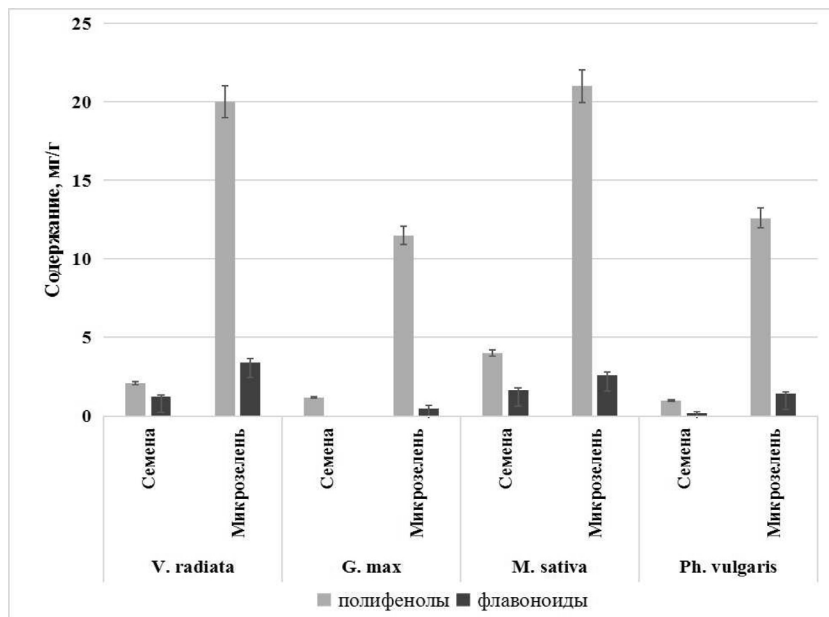


Рис. 1. Содержание фенольных соединений в семенах растений семейства Fabáceae подсемейства Papilionoideae

Мы сравнили активацию синтеза двух фенольных соединений в процессе проращивания. Оказалось, что содержание полифенолов увеличивается при проращивании значительно, чем флавоноидов: в 5,3-12,6 раз и 1,6-7,6 раз соответственно. Среди выбранных растений выгодно отличаются *M. sativa* и *V. radiata*. Сухие семена *M. sativa* лидировали по содержанию как полифенолов, так и флавоноидов: 4 и 1,6 мг/г соответственно. Проращивание *V. radiata* привело к максимальному повышению содержания флавоноидов (в 2,8 раз) по сравнению с другими семенами. Концентрация полифенолов в проростках *M. sativa* и *V. radiata* была на одном уровне: 21 ± 5 и $20,0 \pm 2,9$ мг/г соответственно ($p > 0.05$).

Содержание аскорбиновой кислоты во многих сухих семенах было значительным, а разница показателей в семенах и проростках была не так велика, как у фенольных соединений (рис. 2). По этому показателю лидировали семена *Ph. vulgaris* – 0,08 мг/г. Необходимо учитывать, что оцениваемые бобы подвергаются термической обработке, при которой большая часть аскорбиновой кислоты разрушается. Поэтому проростки

бобов, употребляемые в сыром виде, являются более надежным источником витамина.

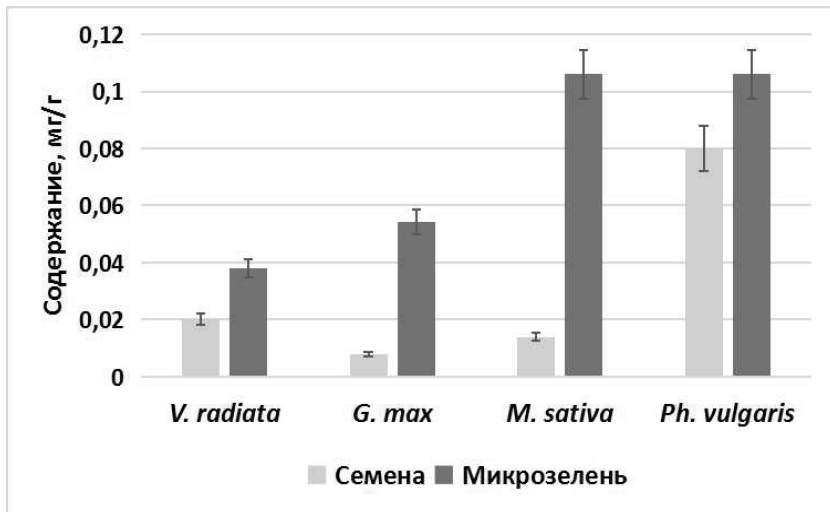


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты в семенах растений семейства Fabáceae подсемейства Papilionoideae

Максимальное увеличение концентрации аскорбиновой кислоты в результате проращивания было зафиксировано для *M. sativa* (7,6 раз) и *G. max* (6,8 раз). Проростки этих бобов в итоге содержали 0,11 и 0,054 мг/г витамина С. Эти показатели на два порядка ниже содержания аскорбиновой кислоты в лимонах разных сортов (2,4-3,2 мг/г) [15], однако проростки вносят свой вклад в витаминизацию пищи.

Литературные данные подтверждают полученные нами результаты [17]. В [11] было показано, что содержание белка, золы, общего содержания фенолов и флавоноидов, а также ферментативная активность семян маша *V. radiata* возрастали с увеличением времени прорастания. Новизной представленной работы является сравнение семян *G. max*, *V. radiata*, *Ph. vulgaris*, *M. sativa* и их проростков по содержанию биологически активных веществ.

Анализ комплекса полученных результатов показывает, что люцерна *M. sativa*, слабо применяемая в западной культуре для пищевых и лекарственных целей, показала самые лучшие результаты по содержанию биологически активных веществ. *M. sativa* традиционно применяется в

медицине восточных стран. В работе [21] сделан вывод, что водно-спиртовые экстракты *M. sativa* обладают обезболивающими и противовоспалительными свойствами как отдельное сырье, так и в комбинации с другими лекарственными растениями. Также из *M. sativa* были выделены четыре новых изофлавоновых гликозида. Эти соединения проявляли мощные ней-ропротекторные эффекты [14].

Несмотря на высокое содержание биологически активных веществ как в семенах, так и проростках *M. sativa*, именно это растение употребляют преимущественно в виде проростков. Семена *M. sativa* содержат высокую концентрацию канаванина – небелковой аминокислоты, оказывающей токсичное действие. Процесс проращивания разрушает канаванин.

Перспективы биотехнологии

Проростки (микрозелень) – это форма растительного продукта, которая привлекает к себе внимание благодаря высокому содержанию биологически активных соединений. Их достоинствами являются простота выращивания, дешевизна, свежесть продукции, разнообразие, подщелачивающий эффект, высокая усвояемость, богатство растительным белком [26].

Проращивание относится к технологиям биофортификации – это процесс повышения пищевой ценности съедобных частей растения [9]. Это обеспечивает долгосрочную и устойчивую альтернативу снабжения людей пищей, богатой микроэлементами и биологически активными веществами [8]. Биофортификация включает меры по улучшению содержания питательных веществ, включая витамины, незаменимые аминокислоты, минералы и жирные кислоты, и исключение факторов, которые препятствуют биодоступности питательных веществ в сельскохозяйственных культурах.

Перспективами развития биотехнологии проращивания семян может стать инокуляция молочнокислыми бактериями и дрожжами для создания функциональной симбиотической пищи. Результаты Cheng с соавторами [6] показали, что длительное освещение семян при проращивании вплоть до тотального (24 часа) является многообещающим методом повышения питательной ценности ростков маша. Также в работе [19] показано, что модулированный световой спектр может быть использован для увеличения количества фенольных соединений в проростках, делая её экономически более ценной. Постоянное освещение усиливает антиоксидантную активность проростков *V. radiata*, что было связано с увеличением содержания кофейной кислоты, рутина и витексина [6]. Это также многообещающий метод повышения питательной ценности ростков бобов маш и других бобов Papilionoideae.

Заклучение

В процессе прорастания происходит активация метаболических процессов в бобах подсемейства Papilionoideae, за счет чего возрастает концентрация биологически активных веществ, необходимых для процесса проращивания. Биологические виды расположились по степени обогащения полифенолами в ряд (с учетом достоверности различий на уровне 0.05): *M. sativa* = *V. radiata* > *Ph. vulgaris* = *G. max*. Ряд обогащения флавоноидами отличался на одну позицию: *V. radiata* > *M. sativa* > *Ph. vulgaris* = *G. max*. Следовательно, показано, что проростки люцерны *M. sativa* и маша *V. radiata* являются ценными источниками антиоксидантных соединений полифенольной группы. Содержание аскорбиновой кислоты в проростках уменьшалось в таком ряду: *M. sativa* = *Ph. vulgaris* = *G. max* > *V. radiata*. Следовательно, проростки *M. sativa* отличались лучшими показателями содержания трех биологически активных веществ. Таким образом, семена люцерны, не подходящие для питания людей в традиционном виде, являются ценной функциональной добавкой к пище в виде проростков.

Список литературы / References

1. Aloo S. O., Barathikannan K., Ofosu F. K., Oh D.-H. Fermentation of ascorbic acid-elicited alfalfa sprouts further enhances their metabolite profile, antioxidant, and anti-obesity effects. *Food Bioscience*, 2023, vol. 54, pp. 102871. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102871>
2. Awulachew M. T. A Review to Nutritional and Health Aspect of Sprouted Food. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2021, vol. 10(7), pp. 564-568. <https://doi.org/10.19070/2326-3350-2200097>
3. Bhadkaria A., Narvekar D.T., Gupta N., Khare A., Bhagyawant S.S. Moth bean (*Vigna aconolia* (Jacq.) Marechal) seeds: A review on nutritional properties and health benefits. *Discover Food*, 2022, no. 2, p. 18. <https://doi.org/10.1007/s44187-022-00019-3>
4. Cauduro T., D'Almeida C.T.S., Bidusk, B., dos Santos A., Santos M.C.B., da S. Lima L.R., Cameron L.C., Bertolin T.E., Ferreira M.S.L. Gutkoski L.C. Whole wheat flour replaced by sprouted wheat improves phenolic compounds profile, rheological and bread-making properties. *Journal of Cereal Science*, 2023, p. 114. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103778>
5. Chávez García S.N., Rodríguez-Herrera R., Flores S.N., Sonia Yesenia Silva-Belmares S.Y., Esparza-González S.C., Ascacio-Valdés A.J., Flores-Gallegos A.C. Sprouts as probiotic carriers: A new trend to improve consumer

- nutrition. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2023, no. 7, p. 100185. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2023.100185>
6. Cheng Y., Xiang N., Cheng X., Chen H., Guo X. Effect of photoperiod on polyphenol biosynthesis and cellular antioxidant capacity in mung bean (*Vigna radiata*) sprouts. *Food Research International*, 2022, vol. 159, p. 111626. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111626>
 7. Gan R.Y., Chan Ch.L., Yang Q.Q., L I H.B., Zhang D., Ge Y.Y., Gunaratne A., Harold Corke Ge J. Bioactive compounds and beneficial functions of sprouted grains. *AACC International Press*, 2019, pp. 191-246. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811525-1.00009-9>
 8. Garg M., Sharma N., Sharma S., Kapoor P., Kumar A., Chunduri V. Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in. Nutrition*, 2018, no. 5, p. 12. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00012>
 9. Gupta A., Sharma T., Singh S. P., Bhardwaj A., Srivastava D., Kumar, R. Prospects of microgreens as budding living functional food: Breeding and biofortification through OMICS and other approaches for nutritional security. *Frontiers in Genetics*, 2023, no. 14, p. 1053810.
 10. Hano C., Tungmunnithum D. Plant polyphenols, more than just simple natural antioxidants: Oxidative stress, aging and age-related diseases. *Medicines*, 2020, no. 7(5), p. 26.
 11. Hung Ph. V., Yen N. Th. H., Phi N. Th. L., Tien N. Ph. H., Trung N. Th. Th. Nutritional composition, enzyme activities and bioactive compounds of mung bean (*Vigna radiata* L.) germinated under dark and light conditions. *LWT*, 2020, vol. 133, p. 110100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110100>
 12. Kanishka R., C.Gayacharan C., Basavaraja T., Chandora R. Moth bean (*Vigna aconitifolia*): a minor legume with major potential to address global agricultural challenges. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1179547>
 13. Kapravelou G., Martínez R., Perazzoli G., González C.S., Llopis J., Cantarero S., Goua M., Bermanno G., Prados J., Melguizo C., Aranda P., López-Jurado M., Porres J.M. Germination Improves the Polyphenolic Profile and Functional Value of Mung Bean (*Vigna radiata* L.). *Antioxidants*, 2020, no. 9, p. 746. <https://doi.org/10.3390/antiox9080746>
 14. Liu X.-G., Huang M.-Y., Gao P.-Y., Liu Ch.-F., Sun Y.-Q., Lv M.-Ch., Yao G.-D., Zhang L.-X., Li D.-Q. Bioactive constituents from *Medicago sativa* L. with antioxidant, neuroprotective and acetylcholinesterase inhibitory activities. *Journal of Functional Foods*, 2018, vol. 45, pp. 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.04.025>

15. Matteo A.D., G. Simeone D.R., Cirillo A., Rao M. A., Vaio C. D. (2021). Morphological characteristics, ascorbic acid and antioxidant activity during fruit ripening of four lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 2021, vol. 276, p. 109741. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109741>
16. Pająk P., Socha R., Gałkowska D., Rożnowski J., Fortuna T. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food chemistry*, 2014, vol. 143, pp. 300-306. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.064>
17. Pakichev A.S. Content of polyphenolic compounds in microgreens of some representatives of the fabaceae family. *Chemical problems of our time*, 2022, pp. 50-52.
18. Pérez-Balibrea S., Moreno D.A., García-Viguera C. Genotypic effects on the phytochemical quality of seeds and sprouts from commercial broccoli cultivars. *Food Chemistry*, 2011, vol. 125 (2), pp. 348-354.
19. Rizvi A., Sharma M., Saxena S. Microgreens: A Next Generation Nutraceutical for Multiple Disease Management and Health Promotion. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2023, vol. 70(2), pp. 311-332.
20. Sabahi Z., Fatemeh Soltani F., Moein M. Insight into DNA protection ability of medicinal herbs and potential mechanisms in hydrogen peroxide damages model. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2018, no 8(2), pp. 120-129. <https://doi.org/10.4103/2221-1691.225616>
21. Seddighfar M., Mirghazanfari S. M., Dadpay M. Analgesic and anti-inflammatory properties of hydroalcoholic extracts of *Malva sylvestris*, *Carum carvi* or *Medicago sativa*, and their combination in a rat model. *Journal of Integrative Medicine*, 2020, vol. 18(2), pp. 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2020.02.003>
22. Singh, A.K., Rehal, J., Kaur, A., Jyot, G. Enhancement of attributes of cereals by germination and fermentation: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2015, vol. 55(11), pp. 1575-89. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.706661>
23. State standard 24556–89. *Processed products of fruits and vegetables. Methods for determining vitamin C*. Moscow: IPC Standards Publ., 2003. 11 p.
24. State standard P 55488–2013. Propolis. *Method for determination of polyphenols*. Moscow: Standardinform, 2014. 9 p.
25. State standard 13399–89. *Arnica flowers. Technical conditions*. Moscow: IPK Publishing House of Standards, 1995. 11 p.
26. Wang M., Li Y., Yang Y., Tao H., Mustafa G., Meng F., Wang Q. Biofortification of health-promoting glucosinolates in cruciferous sprouts along the whole agro-food chain. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, p. 104164.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Адамович Татьяна Анатольевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии

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

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
tijnadamvich@rambler.ru*

Олькова Анна Сергеевна, докт. биол. наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы»

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

*ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация
usr08617@vyatsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Tatyana A. Adamovich, Candidate of Geographical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry

Vyatka State University

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

tijnadamvich@rambler.ru

ResearcherID: N-3967-2016

Scopus AuthorID: 57195528912

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8684-927X>

Anna S. Olkova, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Senior Research Fellow, Competence Center “Environmental Technologies and Systems”

Vyatka State University

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

usr08617@vyatsu.ru

SPIN-code: 4874-9240

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>

ResearcherID: A-4963-2017

Scopus Author ID: 57195523346

Поступила 07.04.2024

После рецензирования 15.05.2024

Принята 26.06.2024

Received 07.04.2024

Revised 15.05.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-970

EDN: DYTKGL

УДК 631.461



Научная статья

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННОСТИ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОКАРИОТ ТОРФА ВЕРХОВЫХ БОЛОТ

Д.А. Шпанов, И.Н. Зубов

Аннотация

Обоснование. Торф верховых болот как субстрат характеризуется рядом специфических условий, усложняющих отделение микробных клеток для цитометрической обработки. При этом отсутствие актуальных протоколов пробоподготовки, подходящих для капиллярных цитометров, требует подбор оптимальных условий выделения и окрашивания клеток.

Цель. Изучить влияния условий предобработки при цитометрическом определении общей численности прокариот (ОЧП) и количества жизнеспособных прокариот (КЖП).

Материалы и методы. Для отделения бактериальных клеток от субстрата применялась физико-химическая обработка с ультразвуком (УЗ), с поверхностно активными веществами (ПАВ) и этанолом в различных вариациях для фиксированных и свежих проб. Выделенные клетки окрашивались флуорохромами: Акридин оранжевый, PI, DAPI, SYBR Green I. Для увеличения выхода клеток из субстрата проводилась ступенчатая промывка с центрифугированием и фильтрацией через 50 мкм фильтр. Для определения численности прокариот использовался капиллярный проточный цитометр Luminex Guava® EasyCyte 12HT. Контрольным методом анализа выступала люминесцентная микроскопия на чёрных мембранных фильтрах.

Результаты. Определена оптимальная концентрация и продолжительность окрашивания проб при использовании различных флуорохромов. Для акридина оранжевого – 20 мкг/мл 30 минут; PI и DAPI – 10 мкг/мл 60 минут; SYBR Green I – 1 х 60 минут. Установлена оптимальная продолжительность УЗ обработки, позволяющая выделить из субстрата максимальное количество клеток при сохранении их целостности, а именно для КЖП – 15 мин и ОЧП –

30 мин. Дополнительная обработка пробы ПАВами позволяет существенно увеличить количество выделяемых из субстрата клеток. Проведении 3-х ступенчатой промывки субстрата позволяет увеличить количество выделяемых клеток с 50-60 % до 89-93 %.

Выводы. Адаптирована методика цитометрического определения общей численности (ОЧП) и количества жизнеспособных прокариот (КЖП) для слабообразующегося торфа верховых болот. Установлено, что предпочтительным методом пробоподготовки при определении общей численности бактерий является физико-химическая обработка с ПАВами (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)). Подтверждена необходимость повышения времени УЗ обработки до 30 минут без значимой потери численности клеточной фракции и введения 3-х ступенчатой промывки.

Ключевые слова: торф; общая численность прокариот; численность жизнеспособных клеток; проточная цитометрия; флуорохромы; пермеабиллизация верховые болота

Для цитирования. Шпанов Д.А., Зубов И.Н. Применение проточной цитометрии для оценки численности и физиологического состояния прокариот торфа верховых болот // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 156-178. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-970

Original article

APPLICATION OF FLOW CYTOMETRY TO ASSESS THE ABUNDANCE AND PHYSIOLOGICAL STATE OF BACTERIA OF HIGH BOG PEAT

D.A. Shpanov, I.N. Zubov

Abstract

Background. Peat from upland bogs, as a substrate, is characterized by a number of specific conditions that make it difficult to separate microbial cells for cytometric analysis. At the same time, the absence of up-to-date protocols for sample preparation suitable for capillary cytometers necessitates the selection of optimal conditions for cell isolation and staining.

Purpose. To investigate the influence of pre-treatment conditions on cytometric assessment of the total count of prokaryotic cells (TCP) and the viable count of prokaryotes (TVP).

Materials and methods. To separate bacterial cells from their substrate, we used a combination of physical and chemical treatments, including ultrasound, surfactants, and ethanol in various forms, for both fixed and fresh samples. We stained the cells with fluorochromes such as Acridine orange, PI (propidium iodide), DAPI (4,6-diamidino-2-phenylindole), and SYBR Green. To maximize cell isolation, we performed stepwise flushing, ultrasound and centrifugation, followed by filtration through a 50 µm filter. We then determined the number of cells using a Luminex Guava® EasyCyte 12 HT capillary flow cytometer, and luminescent microscopy with black membrane filters served as a control.

Results. The optimal concentration and duration of staining of samples using various fluorochromes were determined. For acridine orange – 20 mcg/ml, 30 minutes; PI and DAPI – 10 mcg/ml, 60 minutes; SYBR Green I – 1 x, 60 minutes. The optimal duration of ultrasound treatment has been established, which allows the maximum number of cells to be isolated from the substrate while maintaining their integrity: for TCP (15 min) and TVP (30 min). At the same time, additional treatment of the sample with surfactants can significantly increase the number of cells isolated from the substrate. It is shown that a 3-stage washing of the substrate is necessary to increase the number of isolated cells from 50-60 % to 89-93 %.

Conclusion. The adaptation of the cytometric method for determining the total number and abundance of viable prokaryotes for poorly decomposed peat of upland bogs has been carried out. It was found that the preferred method of sample preparation in determining the total number of bacteria is physico-chemical treatment with surfactants (30 min ultrasound, Triton X-100 (0.1 %), PF (0.1 %)). The need to increase the ultrasound treatment time to 30 minutes, without significant loss of the number of cell fractions, has been confirmed.

Keywords: peat; bacteria; viable cells; riding bogs; flow cytometry; fluorochromes; permeability

For citation. Shpanov D.A., Zubov I.N. Application of Flow Cytometry to Assess the Abundance and Physio Logical State Bacteria of High Bog Peat. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 156-178. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-970

Введение

Торфяные болота являются крупнейшим наземным стоком углерода, обеспечивая его накопления в залежи на протяжении многих веков. Это формирует их климатообразующую роль за счёт эмиссии углекислого газа и метана. Происходящие биохимические процессы во многом определяют интенсивность процессов и зависят от населяющих торфяную залежь микроорганиз-

мов. Микробные сообщества на протяжении десятилетий являются объектом изучения как отечественных, так и зарубежных специалистов. При этом особое внимание уделяется бактериям, как самой многочисленной группе [11].

Классически для определения общей численности микроорганизмов и оценки количества жизнеспособных форм в торфе применяется люминесцентная микроскопия на стекле или мембранных фильтрах [6; 13; 16]. Несмотря на простоту и относительную дешевизну, у данных методов есть существенные ограничения, заключающиеся в длительности проведения анализа, сложности одновременного применения нескольких красителей и относительной субъективности получаемых данных. Альтернативным методом анализа выступает проточная цитометрия – высокопроизводительный метод, позволяющий комплексно анализировать популяции клеток в различных видах субстратов.

Впервые использование проточной цитометрии для анализа почвенных бактерий было предложено в 1991 году Пейджем и Бернсом [23]. С тех пор цитометрия применяется отдельно или в сочетании с другими методами, демонстрируя тенденцию к более широкому использованию за последние три десятилетия [20]. Применительно к почвенным исследованиям, её преимущественно используют для определения численности прокариот. Проводимые исследования доказывают высокую сходимость результатов при повторных измерениях, достаточную чувствительность для сравнения численности в различных объектах [15; 24] и высокую корреляцию между проточной цитометрией и микроскопией [9]. Однако при изучении органо-генных почв (торфа) и почв, содержащих большое количество взвешенного вещества, возникает проблема отделения клеток от носителей, на которых они ассоциированы в естественных условиях. Кроме того, многие флуоресцентные красители способны к неспецифическому связыванию с органическими и неорганическими частицами. Образующаяся при этом фоновая флуоресценция затрудняет определение бактерий вне зависимости от метода детекции. Для решения данных задач применяются различные протоколы пробоподготовки, отличные для каждого субстрата (чернозёмная почва, донные отложения и т.п.) [2; 24]. Это могут быть как классический протокол, предложенный Звягинцевым [27], так и различные модификации, заключающиеся в истирании проб торфа в ступке, диспергировании в гомогенизаторе, качалке или кратковременной обработке ультразвуком [6; 16; 20]. При этом для торфа верховых болот не выделяются отдельные протоколы пробоподготовки, несмотря на особенности, затрудняющие выделение клеточной фракции из субстрата и создающие высокий уровень фоновой флуоресценции (высокая кислотность, малая степень разложения, низкая зо-

льность, специфичный ботанический состав с доминированием сфагновых мхов, высокое содержание гуминовых веществ) [21; 26]. Дополнительно при применении проточных цитометров с капиллярной системой проточной ячейки производства Merc Milipore (серия Luminex Guava® EasyCyte) возникают трудности с засорением капилляра, возникающие по причине либо естественной агрегации исследуемых объектов и их адгезионной способности, либо попадания кусков субстрата > 50 мкм [12]. Поэтому возникают дополнительные требования при очистке клеток, и становится необходимым уменьшение адгезионной способности вносимых образцов. Известно, что для решения последней задачи используются поверхностно-активные вещества (ПАВ): ионные (пирофосфат натрия), неионные (Triton X-100, Twin 80). Кроме этого они увеличивают дисперсность торфа, упрощая выделение клеток. Также известно о применении этилового спирта для разрушения экзополимеров, которые удерживают микробные клетки [14; 18; 21].

Материал и методы исследования

Исследования проводили на ненарушенном участке Иласского болотного массива, расположенного в Приморском районе Архангельской области (64° 19' 43» N, 40° 36' 45» E). Отбор проб проводили в феврале 2023 года методом послойного бурения с применением пробоотборника для торфяных отложений из нержавеющей стали Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды). Для анализа использовали интегральные (усредненные с 5 торфяных кернов) 10-ти сантиметровые пробы, отобранные с глубин 0-50; 90-100 см.

Выбранный в качестве объекта торф верхового болота характеризуется кислой средой, высокой однородностью по ботаническому составу, доминирующим компонентом которого являются сфагновые мхи низкой степени разложения [28].

Пробоподготовка проводилась согласно предложенному алгоритму (Рисунок 1). Образцы для последующей обработки готовили в шести повторностях, отбирая несколько порций торфа с одного слоя. Суспензию торфа разводили в соотношении 1:100 (в качестве раствора разведения использовали 0,85 % NaCl). Для консервации проб использовали 50 % раствор глутеральдегида.

В качестве одного из методов пробоподготовки применяли физико-химическую обработку с поверхностно-активными веществами (ПАВ): пирофосфатом натрия (ПФ) и Triton X-100. В пробирку с фиксированной суспензией торфа добавляли Triton X-100 (10 % p-p), через 15 мин – пирофосфат натрия (10 % p-p) до конечной концентрации 0,1 % (каждого

реактива), выдерживали ещё 15 минут [5; 7]. Диспергировали пробу на ультразвуковой установке (УЗ) УЗВ-5,7 («Сапфир», Россия) в течение 30 минут (35 кГц, 150 Вт). После обработки УЗ крупные частицы отделяли центрифугированием (3 мин, 500 g) («Дастан», ЦЛН-16, Россия).

В качестве менее инвазивного метода применяли обработку с этанолом. В пробирку со свежееотобранной пробой без фиксации добавляли 10 % этанол до конечной концентрации 1 % и кратковременно встряхивали на вортексе (V-3 Elmi, Латвия). Образцы обрабатывали УЗ в течение 15 минут («Сапфир» УЗВ-5,7, Россия) (35 кГц, 150 Вт). Для удаления крупной неклеточной фракции центрифугировали (3 мин, 200 g) (Дастан ЦЛН-16, Россия) [14; 18].

Показатель общей численности прокариот был определён с использованием следующих флуорохромов: йодид пропидия (PI), SYBR Green I, Акридиновый оранжевый (АО), 4,6-диамиидно-2-фенилиндол (DAPI). В зависимости от выбранного красителя применялись следующие способы окрашивания:

- Окрашку йодидом пропидия проводили в соответствии с протоколом [8]. К обработанной пробе добавляли рабочий раствор PI (100 мкг/мл) до конечной концентрации 10 мкг/мл, инкубировали 1 час.

- Окрашку с SYBR Green I проводили в соответствии с общепринятым протоколом [25]. Использовали рабочий раствор 10 х, с оптической плотностью 1,102 ($\lambda = 667$, против mQ), до конечной концентрации в пробе – 1 х. Окрашивание проводили в течение 1 часа.

- Окрашку бактерий АО проводили по стандартной методике [10]. К суспензии торфа добавляли 10 % рабочий раствор до концентрации 0,1 % в образце. Инкубировали 30 минут.

- Окрашивание DAPI проводили в соответствии с протоколом [14]. К образцу добавляли рабочий раствор DAPI (100 мкг/мл) до конечной концентрации 10 мкг/мл. Инкубировали 1 час.

Определение жизнеспособных клеток заключается в измерении целостности клеточной стенки за счёт специфического связывания нескольких флуорохромов. Для оценки была применена модифицированная методика для Syto9 и PI [4]. В суспензию торфа (без фиксации) после пробоподготовки добавляли рабочий раствор 10х SYBR Green I до концентрации в пробе – 1 х, выдерживали в темноте 15 минут, после чего вносили рабочий раствор DAPI или PI (100 мкг/мл) до конечной концентрации в пробе – 10 мкг/мл, выдерживали в темноте 15 минут.

В качестве контрольного исследования применяли люминесцентную микроскопию. Подсчёт клеток вели с концентрированием клеток на черных мембранных фильтрах с размером пор 0,22 мкм [1]. Для однородного

распределения клеток мембранный фильтр матовой стороной вверх помещали на подложку из обеззоленного бумажного фильтра и закрепляли на специальном держателе. На мембранный фильтр вносили отмеренный объем пробы и окрашивали флуорохромами по ранее описанным методикам. После окрашивания удаляли жидкость с помощью вакуумного насоса, концентрируя клетки на поверхности мембранного фильтра. Разделив фильтр на 4 равные части, микроскопировали любые 3 под флуоресцентным микроскопом Altami bio2. На выбранных частях фильтра с помощью фотоаппарата фиксировали 10 полей зрения, на которых в программе «Altami Studio 3.0» были подсчитаны размеры и количество клеток.

Работу выполняли на проточном цитометре Luminex Guava® EasyCyte 12HT, оснащённом 3 лазерами для возбуждения флуоресценции меченых клеток: синим (488 нм), красным (642 нм) и фиолетовым (405 нм).

Использовался следующий режим работы прибора:

- Скорость подачи пробы-15 мкл/мин⁻¹;
- Количество событий – 10000;
- Количество событий в секунду – 300 – 800;
- Время анализа пробы – 60 секунд;
- Напряжение на датчиках:
 - Blu-W (525/30) – 716 В;
 - Green-B (450/45) – 743 В;
 - Red-B (661/15) – 716 В;
 - FSC – 5 В
 - SSC – 10 В
- Пороговая величина (threshold) по FSC – 8;

Для проведения измерений применяли 96-луночные планшеты. Восемь проб чередовались с двумя лунками, содержащими MQ и фон, для нормализации измерений и отслеживания загрязнения проточной ячейки. Концентрацию клеток рассчитывали с учётом разбавлений, внесённого объёма флуорохромов, химических реагентов и режима работы прибора.

Для максимального выделения микроорганизмов из субстрата после пробоподготовки проводили ступенчатую промывку [25]. После центрифугирования в установленном для метода режиме надосадочная жидкость сливалась и использовалась для анализа, а осадок разбавлялся стерильным, фильтрованным через 0,22 мкм 0,85 % раствором NaCl. Полученную смесь перемешивали на вортексе, обрабатывали УЗ в течение 3 минут («Сапфир» УЗВ-5,7, Россия) (35 кГц, 150 Вт) и повторно центрифугировали. За кумулятивную численность прокариот в пробе принимали численность в наиболее эффективном методе после 10 промывочных процедур.

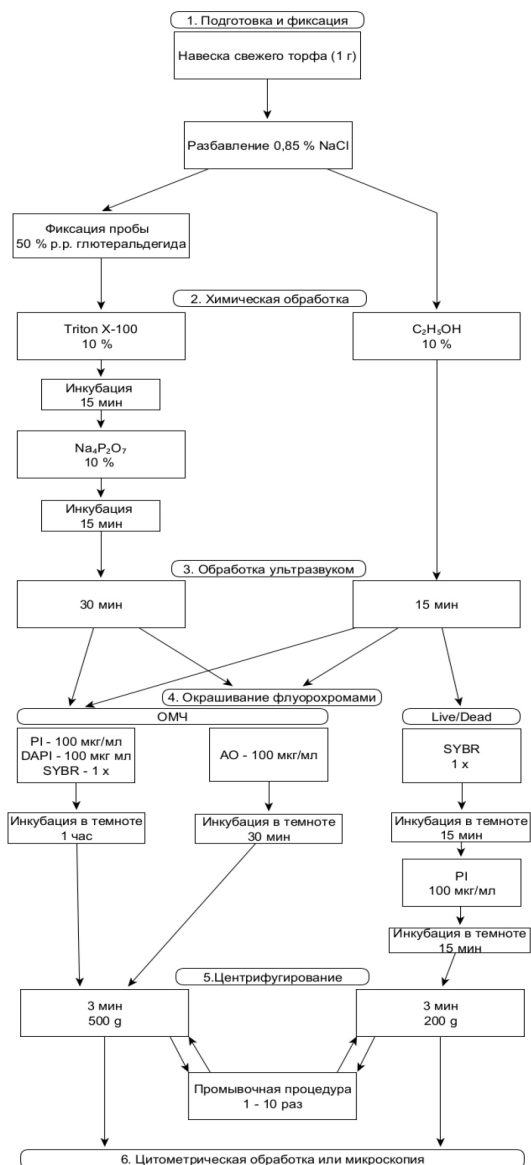


Рис. 1. Общий план с этапами отделения и окраски клеток, выделенных из торфа верхового болота

Первичную обработку аппаратных данных и построение цитограмм проводили в программном обеспечении GuavaSoft 3.1. и Floreada.io (<https://floreada.io/analysis>). Статистическую обработку проводили в программе Exel 2019, версия 2306 (сборка 16529.20154), используя надстройку «Анализ данных».

Результаты и обсуждение

Определены оптимальные концентрации красителей для цитометрического анализа, при которых достигаются максимальные значения показателя средней интенсивности флуоресценции клеточной фракции при минимальном фоновом шуме.

Для этого искали средний уровень флуоресценции (Δ MFI) при разной концентрации красителя в пробе торфа после обработки (30 мин УЗ, ПФ (0,1 %), Triton X-100 (0,1 %)). За искомую концентрацию принимали точку выхода на плато (Рисунок 2), учитывая, что средняя фоновая флуоресценция не должна быть больше 5 % от средней флуоресценции клеточной фракции.

По результатам измерений (Рисунок 2) установлены оптимальные концентрации флуорохромов, принятые для дальнейших измерений:

- SYBR Green I – 1 х;
- PI, DAPI – 10 мкг/мл;
- АО – 20 мкг/мл.

Более высокий Δ MFI при окраске SYBR не оказывает качественного влияния на количество детектируемых клеток, по сравнению с DAPI. Одновременно с этим в качестве контроля измерений общей численности прокариот нами использована люминесцентная микроскопия с окраской DAPI, что делает данный флуорохром предпочтительным для дальнейших калибровок режима обработки.

При УЗ обработке необходимо выдержать время, позволяющее выделить из субстрата максимальное количество клеток при сохранении их целостности. Для этого проводили серию измерений численности с разным временем УЗ обработки после предобработки Triton X-100 (0,1 %) и ПФ (0,1 %). Отделение микробных клеток от субстрата определяли по Δ MFI и светорассеиванию детектируемых частиц (Рисунок 3). Для нормализации флуоресценции и светорассеивания вносили флуоресцирующие шарики из комплекта Guava EasyCheck (BEAD) (Рисунок 3).

При краткосрочной обработке УЗ в течение 5 минут наблюдается большое количество крупной фракции. Мелкая фракция, соответствующая

бактериям, малочисленна ($0,29 \pm 0,01 \times 10^7$ кл/г). Увеличение времени обработки УЗ до 15 минут существенно повышает отделение искомых клеток ($1,54 \pm 0,08 \times 10^7$ кл/г), однако крупная окрашенная фракция до сих пор остаётся многочисленной. При 30 минутной обработке УЗ наблюдается максимальное количество отделённых клеток ($1,93 \pm 0,09 \times 10^7$ кл/г), минимальное количество крупноразмерной фракции и повышение среднего уровня флуоресценции в канале эмиссии флуорохрома (Blu-V (450/45)) (Рисунок 3). При обработке УЗ больше 60 минут численность клеточной фракции и средний уровень флуоресценции уменьшается, что может быть обусловлено разрушением бактерий.

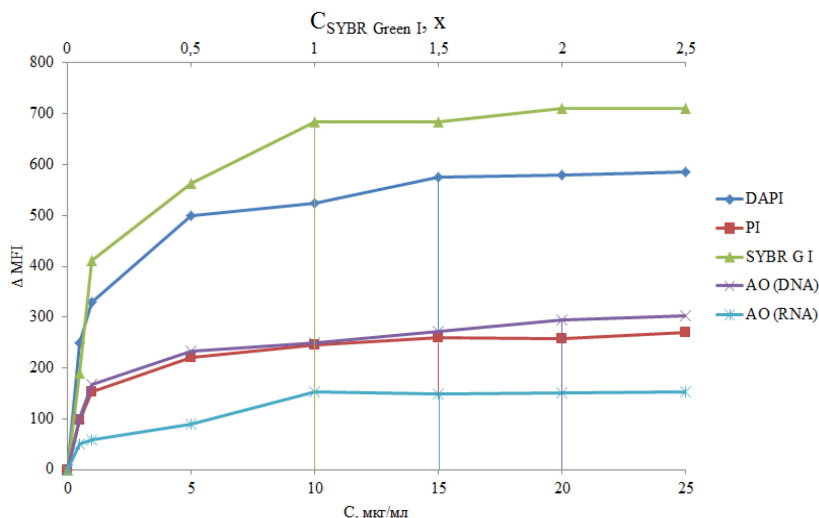


Рис. 2. Средняя интенсивность флуоресценции при разной концентрации красителя

Для дальнейших измерений общей численности бактерий мы использовали ультразвуковую обработку (УЗ) в течение 30 минут, как наиболее эффективную, и 15-минутную при определении жизнеспособных клеток, как менее инвазивную.

Для изучения влияния дополнительной химической обработки поверхностно активными веществами на количество выделенных клеток были поставлены параллельные пробы с физико-химической (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)) и физической обработкой (30 мин УЗ) (Рисунок 4, Таблица 1). Полученные данные свидетельствуют, что применение ПА-

Вов повышает эффективность выделения бактерий из субстрата на 9-22 %. По результатам 8-ми параллельных измерений установлено расхождение для физической обработки в 8,5-15,2 % и физико-химической в 4,5-7,3 %. Для очистки проб в обоих случаях применяли центрифугирование (3 мин, 500 g). Повышение эффективности отделения клеточной фракции объясняется уменьшением адгезионной способности бактерий к субстрату и повышением среднего уровня флуоресценции за счёт пермеабилзации клеток.

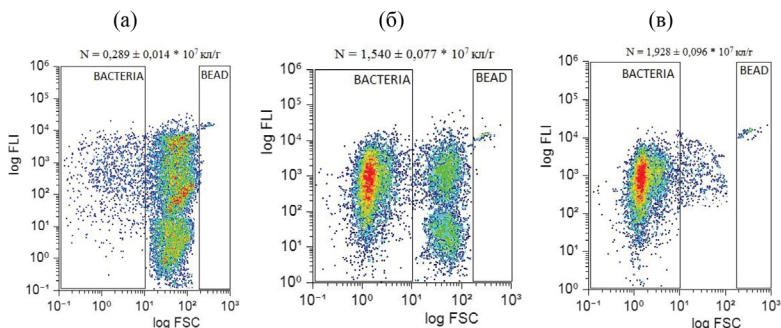


Рис. 3. Цитограммы торфа (после обработки УЗ, Triton X-100 и окраски DAPI: а – УЗ (5 мин), б – УЗ (15 мин), в – УЗ (30 мин).

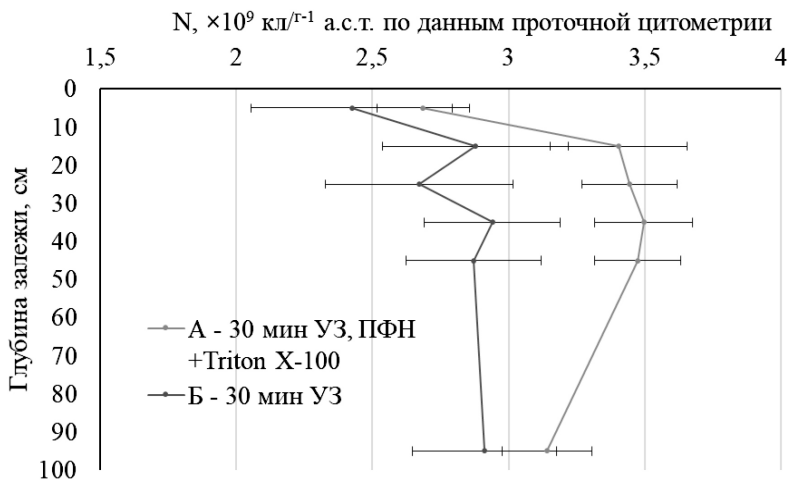


Рис. 4. Сопоставление численности бактерий (N) из различных слоёв торфяной залежи болотного массива при обработке:

А – физико-химическая (30 мин УЗ, ПФН + Triton X-100), Б – физическая (30 мин УЗ)

Измерение численности бактерий, проведённое во всех горизонтах торфяной залежи после физико-химической обработки с ПАВами (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)) показывает высокое число выделенных микробных клеток (Таблица 1). Окрашивание флуорохромами DAPI, PI, SYBR не показывает значимых различий в определении численности бактерий, находясь в диапазоне от $2,69 \pm 0,13 \times 10^7$ до $3,59 \pm 0,18 \times 10^7$ кл/г а.с.т (парный t-тест, $p > 0.05$). Увеличенная численность определяемой фракции при окраске АО ($4,22 \pm 0,21$ — $4,93 \pm 0,25 \times 10^7$ кл/г) может быть вызвана неспецифическим связыванием флуорохрома с мелкой фракцией субстрата. Наблюдается качественное отделение клеточной фракции на цитогамме без необходимости нормализации показателей (Рисунок 5, б).

Таблица 1.

Численность бактерий в различных горизонтах торфяной залежи при различной обработке

Обработка Triton X-100, ПФ, УЗ 30 мин, $\times 10^7$, кл/г					
Исследуемый горизонт, см	АО	DAPI	PI	SYBR	Контроль
5	$4,221 \pm 0,211$	$2,686 \pm 0,134$	$2,712 \pm 0,136$	$3,015 \pm 0,151$	$2,955 \pm 0,739$
15	$4,838 \pm 0,242$	$3,403 \pm 0,170$	$3,261 \pm 0,163$	$3,455 \pm 0,173$	$3,743 \pm 0,936$
25	$4,891 \pm 0,245$	$3,444 \pm 0,172$	$3,533 \pm 0,177$	$3,494 \pm 0,175$	$3,789 \pm 0,947$
35	$4,928 \pm 0,246$	$3,496 \pm 0,175$	$3,542 \pm 0,177$	$3,520 \pm 0,176$	$3,845 \pm 0,961$
45	$4,808 \pm 0,240$	$3,474 \pm 0,174$	$3,592 \pm 0,180$	$3,434 \pm 0,172$	$3,822 \pm 0,955$
95	$4,473 \pm 0,224$	$3,140 \pm 0,157$	$3,481 \pm 0,174$	$3,195 \pm 0,160$	$3,454 \pm 0,863$
Обработка этанолом, УЗ 15 мин, $\times 10^7$, кл/г					
5	$3,976 \pm 0,149$	$1,477 \pm 0,074$	$1,492 \pm 0,075$	$2,914 \pm 0,146$	$3,255 \pm 0,814$
15	$3,451 \pm 0,173$	$1,872 \pm 0,094$	$1,793 \pm 0,09$	$3,310 \pm 0,160$	$3,543 \pm 0,886$
25	$3,683 \pm 0,184$	$1,894 \pm 0,095$	$1,943 \pm 0,097$	$3,345 \pm 0,167$	$3,849 \pm 0,962$
35	$3,921 \pm 0,176$	$1,923 \pm 0,096$	$1,948 \pm 0,097$	$3,468 \pm 0,173$	$3,545 \pm 0,886$
45	$3,132 \pm 0,172$	$1,911 \pm 0,096$	$1,975 \pm 0,099$	$3,591 \pm 0,165$	$3,722 \pm 0,930$
95	$2,726 \pm 0,136$	$1,727 \pm 0,086$	$1,915 \pm 0,096$	$2,976 \pm 0,144$	$3,254 \pm 0,813$

Измерение численности бактерий после физико-химической обработки с этанолом (15 мин УЗ, C_2H_5OH (1 %)) позволяет достоверно отделить клеточную фракцию (Рисунок 5, а). Однако при окраске флуорохромами DAPI, АО и PI детектируется на 40-50 % меньше, чем при обработке ПАВами (Таблица 1). SYBR определяет численность бактерий без значимых различий, обеспечивая в среднем расхождение между методами в 2,5 %,

что находится в пределах погрешности измерения проточного цитометра Luminox Guava® EasyCyte 12HT [12].

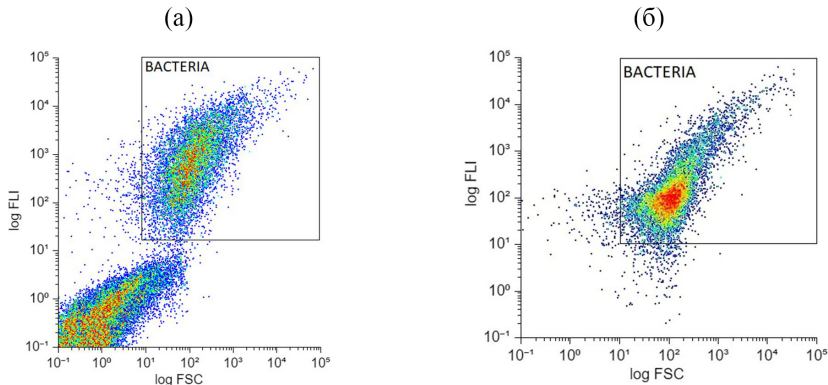


Рис. 5. Цитограммы определения общей численности прокариот в торфе (горизонт 30-40 см) после обработки: а – этанолом, б – ПФ + Triton X-100

При пробоподготовке торфа для определения количества жизнеспособных микроорганизмов основная сложность заключается в необходимости максимального отделения клеток от субстрата при сохранении целостности клеточных стенок. По этой причине фиксация пробы и подсчёт после физико-химической обработки с ПАВами (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)) не представляется возможным из-за пермеабиллизации клеток микроорганизмов ПАВами, приводящей к связыванию неинтактных красителей со всей клеточной фракцией. Длительная обработка ультразвуком и фиксация проб также способны повреждать клеточные стенки, что существенно влияет на результаты анализа [3].

Обработка УЗ в течение 15 минут и этанолом (1 %) позволяет разделять клеточную фракцию на 2 искомые субпопуляции (Рисунок 6). Субпопуляция 1 включает в себя все клетки, окрашенные SYBR и отображает общее количество клеток в пробе. Субпопуляция 2 включает только клетки, окрашенные PI или DAPI с повреждёнными клеточными стенками. По соотношению численности между ними мы можем найти процентное содержание жизнеспособных клеток. Для лучшего программного отделения одинаковой по размерам неклеточной фракции мы нормировали значения по интенсивности флуоресценции и применили преобразование Logicle, разработанное в Стэнфорде [22]. Оно помещает события, близкие к нулю в линейном масштабе, и более крупные события в логарифмическом мас-

штабе. Это помогает распределять большие группы событий вокруг нуля, что может быть проблемой, если визуализация данных идёт в логарифмическом масштабе.

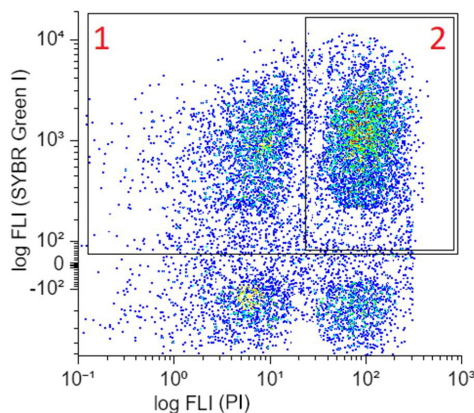


Рис. 6. Цитограммы определения жизнеспособных микроорганизмов проб торфа: (горизонт 30-40 см): 1 – все клетки, 2 – нежизнеспособные клетки

Несмотря на разную интенсивность флуоресценции, между DAPI и PI не наблюдается значимых различий (парный t-тест, $p > 0,05$) (Таблица 2). Совместное использование SYBR Green I и АО не представляется возможным из-за наложения спектров эмиссии флуорохромов при связывании с ДНК.

Таблица 2.

Количество жизнеспособных микроорганизмов в торфе верхового болота при окраске различными флуорохромами

Количество жизнеспособных микроорганизмов, %			
Исследуемый горизонт, см	DAPI	PI	Котроль, PI
5	20,3	20,6	21,2
15	23,6	22,5	23,1
25	24,2	26,1	24,9
35	31,7	32,1	31,5
45	33,2	33,4	33,5
95	50,4	50,1	51,1

Контроль измерений проводили методом эпифлуоресцентной микроскопии. Общую численность бактерий проводили с окраской DAPI. По

количеству определяемых бактериальных клеток методы пробоподготовки в контроле не имеют статистически значимой разницы (парный t-тест, $p > 0,05$) за счёт возможности подсчёта слабоокрашенных или ассоциированных на субстрате клеток (Таблица 1). При этом цитометрический анализ, который более чувствителен к качеству отделения клеток и нормализации интенсивности флуоресценции, даёт результаты, аналогичные контролю только при физико-химической обработке с поверхностно-активными веществами (ПАВами) (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)) (Таблица 1). Проведённый парный корреляционный анализ показывает высокую взаимосвязь между численностью бактерий, определяемой методом люминесцентной микроскопии и проточной цитометрии ($R^2 = 0,86$) (Рисунок 7).

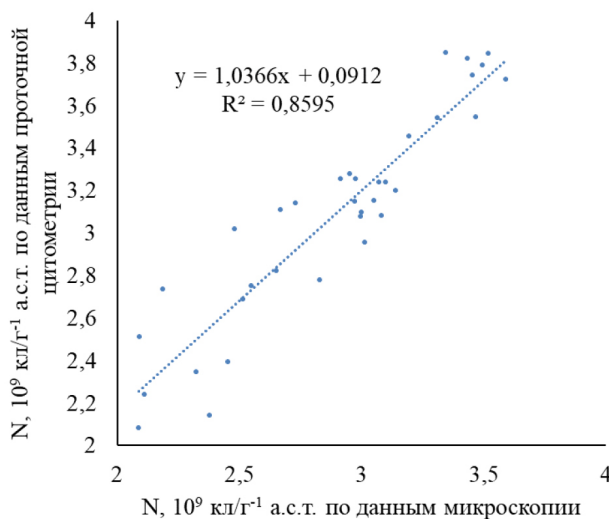


Рис. 7. Сопоставление численности бактерий (N) из различных слоёв торфяной залежи болотного массива после обработки УЗ, Triton X-100 и окраски DAPI при подсчёте с помощью эпифлуоресцентной микроскопии и проточной цитометрии

В контроле при определении жизнеспособных бактерий наблюдается более высокая численность клеток, чем при цитометрии, что в свою очередь значимо не влияет на процентное соотношение жизнеспособных и мёртвых клеток в пробах (парный t-тест, $p > 0,05$). Тем не менее, применение менее инвазивных методов отделения клеток от субстрата и отсутствие пермеабилзации при цитометрической обработке уменьшает суммарное количество выделенных клеток, что не позволяет использовать их как по-

казатель общей численности бактерий. Низкий процент живых клеток и равномерность распределения по слою залежи объясняется уменьшением температуры залежи и промерзанием верхнего слоя.

При отсутствии промывочных процедур выделение микробных клеток относительно кумулятивной численности варьировалось от 66 ± 10 % при обработке пирогосфатом натрия + Triton X-100 и 50 ± 9 % при обработке этанолом. При проведении 3-ёх промывочных процедур увеличивали выделение клеток до 93 ± 3 % и 89 ± 2 % соответственно. Дальнейшие промывки (до 10 ступеней), незначительно увеличивали выделение клеток, при этом разница между полученными значениями и кумулятивной численностью была недостоверной (парный t-тест, $p > 0,05$). Разумеется, в кумулятивную численность входят не все клетки, так как небольшая часть остаётся на субстрате даже после 10-ти промывочных процедур, однако их доля незначительная и не оказывает влияние на результат. Можно утверждать, что при обязательных трёх промывках будет выделяться большая часть клеточной фракции.

Выводы

Проведена адаптация методики цитометрического определения общей численности и численности жизнеспособных прокариот для слаборазложившегося торфа верховых болот.

Установлено, что предпочтительным методом пробоподготовки при определении общей численности бактерий является физико-химическая обработка с ПАВами (30 мин УЗ, Triton X-100 (0,1 %), ПФ (0,1 %)). Подтверждена необходимость повышения времени УЗ обработки до 30 минут без значимой потери численности клеточной фракции.

PI, SYBR Green I и DAPI при обработке пирогосфатом натрия и Triton X-100 не показали значимых различий и могут в равной мере применяться для определения общей численности прокариот. Полученные данные варьируются в одном порядке от $2,69 \pm 0,13 \times 10^7$ до $3,59 \pm 0,18 \times 10^7$ кл/г⁻¹ а.с.т. Применение АО ограничивается сильной фоновой флуоресценцией, выражающейся в неспецифическом связывании с субстратом. Также замечена повышенная адгезия АО, приводящая к быстрому засорению проточной ячейки цитометра Luminex Guava® EasyCyte 12HT.

Обработка проб этанолом оказалась наиболее подходящей при определении количества жизнеспособных бактерий. Установлено, что неполное выделение клеточной фракции значимо не влияет на соотношение (парный t-тест, $p > 0,05$). При определении количества жизнеспособных микроор-

ганизмов не замечена разница от использования PI и DAPI. Их вариация возможна при наличии в пробе пигментов, флуоресцирующих в спектрах эмиссии одного из представленных красителей. Полученные значения для верхового болота колеблются от 20 до 52 %, что соответствует данным других исследователей [4; 16].

Применение проточной цитометрии, по сравнению с люминесцентной микроскопией, позволяет значительно ускорить подсчёт клеток, однако для обеспечения наиболее полного выделения клеток оказалось необходимо проведение промывочных процедур. В зависимости от метода пробоподготовки количество изначально выделенных клеток может варьироваться до 50-60 %. Несомненно, дополнительные 3 промывочные процедуры значительно увеличивают время анализа и расход реактивов, но это обеспечивает выделение до 89-93 % от кумулятивной численности прокариот.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет средств Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (проект № 122011400386-6)

Список литературы

1. Асташкина А.П. Анализ микрофлоры воды и воздуха: методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Микробиология», «Фармакология, биохимия, микробиология» и «Биотехнология» // Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015, 25 с.
2. Постовалов, А. А. Выявление факторов, определяющих микробиологическую активность биоценоза / А. А. Постовалов, С. Ф. Суханова, Ю. А. Курская // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 1. С. 286-302. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-286-302>
3. Buesing N., Gessner M.O. 2002. Comparison of detachment procedures for direct counts of bacteria associated with sediment particles plant litter and epiphytic biofilm // Aquat. Microb. Ecol, 2002, vol. 27, pp. 29–36. <https://doi.org/10.3354/ame027029>
4. Bogdanova O.Y., Golovchenko A.V., Lysak L.V., Glukhova T.V., Zvyagintsev D.G. Viability of bacteria in peatlands // Eurasian soil science, 2014, vol. 47, pp. 297-303. <https://doi.org/10.1134/S1064229314020033>
5. Button D. K., Robertson B. R. Determination of DNA content of aquatic bacteria by flow cytometry // Applied and Environmental Microbiology, 2001, vol. 67, no. 4, pp. 1636-1645. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.4.1636-1645.2001>

6. Dobrovol'skaya T.G., Golovchenko A.V., Kukharenko O.S., Yakushev A.V., Semenova T.A., Inisheva L.A. The structure of the microbial communities in low-moor and high-moor peat bogs of Tomsk oblast // *Eurasian Soil Sc*, 2012, vol. 45, pp. 273–281. <https://doi.org/10.1134/S1064229312030039>
7. Danovaro R., Middelboe M. Separation of free virus particles from sediments in aquatic systems // *Manual of Aquatic Viral Ecology*. ASLO, 2010, vol. 14, pp. 74-81. <https://doi.org/10.4319/mave.2010.978-0-9845591-0-7.74>
8. Davey H. M., Hexley P. Red but not dead? Membranes of stressed *Saccharomyces cerevisiae* are permeable to propidium iodide // *Environmental microbiology*, 2011, vol. 13. no. 1, pp. 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02317.x>
9. Frossard A., Hammes F., Gessner M. O. Flow cytometric assessment of bacterial abundance in soils, sediments and sludge // *Frontiers in microbiology*, 2016, vol. 7, 903 p. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00903>
10. Francisco D. E., Mah R. A., Rabin A. C. Acridine orange-epifluorescence technique for counting bacteria in natural waters // *Transactions of the American Microscopical Society*, 1973, pp. 416-421. <https://doi.org/10.2307/3225245>
11. Golovchenko A.V., Sannikova Y.V., Dobrovol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G. The saprotrophic bacterial complex in the raised peat bogs of western Siberia // *Microbiology*, 2005, vol. 74, pp. 471-476. <https://doi.org/10.1007/s11021-005-0091-y>
12. Guava easyCyte™ System User Guide For systems running guavaSoft™ software version 3.1, 0110-8493 Rev B, 2014.
13. Kukharenko O.S., Dobrovol'skaya T.G., Golovchenko A.V., Stepanov A.L., Matyshak G.V. The structure of the bacterial heterotrophic block in tundra soils of Yamal Peninsula // *Eurasian Soil Science*, 2009, vol. 42, pp. 426-431. <https://doi.org/10.1134/S1064229309040097>
14. Kallmeyer J., Smith D. C., Spivack A. J., D'Hondt S. New cell extraction procedure applied to deep subsurface sediments // *Limnology and Oceanography: Methods*, 2008, vol. 6, no. 6, pp. 236-245. <https://doi.org/10.4319/lom.2008.6.236>
15. Khalili B., Weihe C., Kimball S., Schmidt K.T., Martiny J.B. Optimization of a method to quantify soil bacterial abundance by flow cytometry // *MSphere*, 2019, vol. 4, no. 5, pp. 10-19. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00435-19>
16. Lew S., Glińska-Lewczuk K., Lew M. The effects of environmental parameters on the microbial activity in peat-bog lakes // *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224441>
17. Lysak L.V., Lapygina E.V., Kadulin M.S., Konova I.A. Number, viability, and diversity of the filterable forms of prokaryotes in sphagnum high-moor peat // *Biology Bulletin*, 2014, vol. 41, pp. 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1062359014030066>

18. Lunau M., Lemke A., Walther K., Martens-Habbena W., Simon M. An improved method for counting bacteria from sediments and turbid environments by epifluorescence microscopy // *Environmental Microbiology*, 2005, vol. 7, no. 7, pp. 961-968. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00767.x>
19. Haynes M., Seegers B., Saluk A. Advanced analysis of marine plankton using flow cytometry // *Biotechniques*, 2016, vol. 60, no. 5, pp. 260. <https://doi.org/10.2144/000114418>
20. El Mujtar V.A., Chirido F., Lagares A., Wall L., Tittonell P. Soil bacterial biodiversity characterization by flow cytometry: The bottleneck of cell extraction from soil // *Methods in Ecology and Evolution*, 2022, vol. 13, no. 7, pp. 1388-1401. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13876>
21. McKinnon K. M. Flow cytometry: an overview // *Current protocols in immunology*. 2018, vol. 120, no. 1, pp. 11-21. <https://doi.org/10.1002/cpim.40>
22. Parks D. R., Roederer M., Moore W. A. A new “Logicle” display method avoids deceptive effects of logarithmic scaling for low signals and compensated data // *Cytometry Part A: The Journal of the International Society for Analytical Cytology*, 2006, vol. 69, no. 6, pp. 541-551. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20258>
23. Page S., Burns R.G. Flow cytometry as a means of enumerating bacteria introduced into soil // *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, vol. 23, no. 11, pp. 1025–1028. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90038-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90038-L)
24. Robinson J. P. Overview of flow cytometry and microbiology // *Current protocols in cytometry*, 2018, vol. 84, no. 1, pp. 108-131. <https://doi.org/10.1002/cpcy.37>
25. Rylkova O. A., Gulín S. B., Pimenov N. V. Determination of the total microbial abundance in black sea bottom sediments using flow cytometry // *Microbiology*, 2019, vol. 88, pp. 700-708. <https://doi.org/10.1134/S0026261719060158>
26. Wilkinson M. G. *Flow Cytometry in Microbiology* // Ireland: Wilkinson Department of Life Sciences, University of Limerick, 2015, 230 p.
27. Zvyagintsev D. G. *Methods of soil microbiology and biochemistry*. Moscow: MSU, 1991, 304 p.
28. Zubov I.N., Orlov A.S., Selyanina S.B., Zabelina S.A., Ponomareva T.I. Redox potential and acidity of peat are key diagnostic physicochemical properties for the stratigraphic zones of a boreal raised bog // *Mires & Peat*, 2022, no. 28. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.GDC.StA.1987>

References

1. Astashkina A.P. *Analiz mikroflory vody i vozdukha: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornoy raboty po distsiplinam «Mikrobiologiya», «Farmakologiya, biokhimiya, mikrobiologiya» i «Biotehnologiya»* [Analysis of the

- microflora of water and air: methodological guidelines for laboratory work in the disciplines of “Microbiology”, “Pharmacology, biochemistry, microbiology” and “Biotechnology”]. Tomsk: TPU Publ., 2015, 25 p.
2. Postovalov A.A., Sukhanova S.F., Kurskaya Y.A. Vyyavlenie faktorov, opredelyayushchikh mikrobiologicheskuyu aktivnost' biotsenoza [Identification of factors determining the microbiological activity of the biocenosis]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 286-302. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-286-302>
 3. Buesing N., Gessner M.O. 2002. Comparison of detachment procedures for direct counts of bacteria associated with sediment particles plant litter and epiphytic biofilm. *Aquat. Microb. Ecol*, 2002, vol. 27, pp. 29–36. <https://doi.org/10.3354/ame027029>
 4. Bogdanova O.Y., Golovchenko A.V., Lysak L.V., Glukhova T.V., Zvyagintsev D.G. Viability of bacteria in peatlands. *Eurasian soil science*, 2014, vol. 47, pp. 297-303. <https://doi.org/10.1134/S1064229314020033>
 5. Button D. K., Robertson B. R. Determination of DNA content of aquatic bacteria by flow cytometry. *Applied and Environmental Microbiology*, 2001, vol. 67, no. 4, pp. 1636-1645. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.4.1636-1645.2001>
 6. Dobrovol'skaya T.G., Golovchenko A.V., Kukharensky O.S., Yakushev A.V., Semenova T.A., Inisheva L.A. The structure of the microbial communities in low-moor and high-moor peat bogs of Tomsk oblast. *Eurasian Soil Sc*, 2012, vol. 45, pp. 273–281. <https://doi.org/10.1134/S1064229312030039>
 7. Danovaro R., Middelboe M. Separation of free virus particles from sediments in aquatic systems. *Manual of Aquatic Viral Ecology*, 2010, vol. 14, pp. 74-81. <https://doi.org/10.4319/mave.2010.978-0-9845591-0-7.74>
 8. Davey H. M., Hexley P. Red but not dead? Membranes of stressed *Saccharomyces cerevisiae* are permeable to propidium iodide. *Environmental microbiology*, 2011, vol. 13, no. 1, pp. 163-171. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02317.x>
 9. Frossard A., Hammes F., Gessner M. O. Flow cytometric assessment of bacterial abundance in soils, sediments and sludge. *Frontiers in microbiology*, 2016, vol. 7, 903 p. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00903>
 10. Francisco D. E., Mah R. A., Rabin A. C. Acridine orange-epifluorescence technique for counting bacteria in natural waters. *Transactions of the American Microscopical Society*, 1973, pp. 416-421. <https://doi.org/10.2307/3225245>
 11. Golovchenko A.V., Sannikova Y.V., Dobrovol'skaya T.G., Zvyagintsev D.G. The saprotrophic bacterial complex in the raised peat bogs of western Siberia. *Microbiology*, 2005, vol. 74, pp. 471-476. <https://doi.org/10.1007/s11021-005-0091-y>

12. Guava easyCyte™ System User Guide For systems running guavaSoft™ software version 3.1, 0110-8493 Rev B, 2014.
13. Kukhareno O.S., Dobrovol'skaya T.G., Golovchenko A.V., Stepanov A.L., Matyshak G.V. The structure of the bacterial heterotrophic block in tundra soils of Yamal Peninsula. *Eurasian Soil Science*, 2009, vol. 42, pp. 426-431. <https://doi.org/10.1134/S1064229309040097>
14. Kallmeyer J., Smith D. C., Spivack A. J., D'Hondt S. New cell extraction procedure applied to deep subsurface sediments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2008, vol. 6, no. 6, pp. 236-245. <https://doi.org/10.4319/lom.2008.6.236>
15. Khalili B., Weihe C., Kimball S., Schmidt K.T., Martiny J.B. Optimization of a method to quantify soil bacterial abundance by flow cytometry. *MSphere*, 2019, vol. 4, no. 5, pp. 10-19. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00435-19>
16. Lew S., Glińska-Lewczuk K., Lew M. The effects of environmental parameters on the microbial activity in peat-bog lakes. *PLoS One*, 2019, vol. 14, no. 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224441>
17. Lysak L.V., Lapygina E.V., Kadulin M.S., Konova I.A. Number, viability, and diversity of the filterable forms of prokaryotes in sphagnum high-moor peat. *Biology Bulletin*, 2014, vol. 41, pp. 228-232. <https://doi.org/10.1134/S1062359014030066>
18. Lunau M., Lemke A., Walther K., Martens-Habbena W., Simon M. An improved method for counting bacteria from sediments and turbid environments by epifluorescence microscopy. *Environmental Microbiology*, 2005, vol. 7, no. 7, pp. 961-968. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2005.00767.x>
19. Haynes M., Seegers B., Saluk A. Advanced analysis of marine plankton using flow cytometry. *Biotechniques*, 2016, vol. 60, no. 5, pp. 260. <https://doi.org/10.2144/000114418>
20. El Mujtar V.A., Chirido F., Lagares A., Wall L., Tittonell P. Soil bacterial biodiversity characterization by flow cytometry: The bottleneck of cell extraction from soil. *Methods in Ecology and Evolution*, 2022, vol. 13, no. 7, pp. 1388-1401. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13876>
21. McKinnon K. M. Flow cytometry: an overview. *Current protocols in immunology*. 2018, vol. 120, no. 1, pp. 11-21. <https://doi.org/10.1002/cpim.40>
22. Parks D. R., Roederer M., Moore W. A. A new "Logicle" display method avoids deceptive effects of logarithmic scaling for low signals and compensated data. *Cytometry Part A: The Journal of the International Society for Analytical Cytology*, 2006, vol. 69, no. 6, pp. 541-551. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.20258>
23. Page S., Burns R.G. Flow cytometry as a means of enumerating bacteria introduced into soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, vol. 23, no. 11, pp. 1025-1028. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90038-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90038-L)

24. Robinson J. P. Overview of flow cytometry and microbiology. *Current protocols in cytometry*, 2018, vol. 84, no. 1, pp. 108-131. <https://doi.org/10.1002/cpsy.37>
25. Rylkova O. A., Gulin S. B., Pimenov N. V. Determination of the total microbial abundance in black sea bottom sediments using flow cytometry. *Microbiology*, 2019, vol. 88, pp. 700-708. <https://doi.org/10.1134/S0026261719060158>
26. Wilkinson M. G. Flow Cytometry in Microbiology. Ireland: Wilkinson Department of Life Sciences. University of Limerick, 2015, 230 p.
27. Zvyagintsev D. G. Methods of soil microbiology and biochemistry. Moscow: MSU, 1991, 304 p.
28. Zubov I.N., Orlov A.S., Selyanina S.B., Zabelina S.A., Ponomareva T.I. Redox potential and acidity of peat are key diagnostic physicochemical properties for the stratigraphic zones of a boreal raised bog. *Mires & Peat*, 2022, no. 28. <https://doi.org/10.19189/MaP.2020.GDC.StA.1987>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Шпанов Дмитрий Алексеевич, младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем
ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН
проспект Никольский, 20, г. Архангельск, 163020, Российская федерация
shpanov.d@yandex.ru

Зубов Иван Николаевич, кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени акад. Н.П. Лаверова УрО РАН
проспект Никольский, 20, г. Архангельск, 163020, Российская федерация
zubov.ivan@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy A. Shpanov, Research Assistant, Wetland Ecosystems Laboratory
Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the UrB RAS
20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation
shpanov.d@yandex.ru

Ivan N. Zubov, PhD in Chemistry, Senior Researcher, Wetland Ecosystems Laboratory
Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the UrB RAS
20, Nikolsky Ave., Arkhangelsk, 163020, Russian Federation
zubov.ivan@bk.ru

Поступила 27.02.2024

После рецензирования 09.06.2024

Принята 21.06.2024

Received 27.02.2024

Revised 09.06.2024

Accepted 21.06.2024

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-994

EDN: FQUSQS

УДК 579.017.7



Научная статья

УЛЬТРАСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАТРИКСА БИОПЛЕНКИ *BACILLUS SUBTILIS* В СТАЦИОНАРНОЙ ФАЗЕ

*С.А. Петров, В.А. Мальчевский, А.М. Субботин,
А.С. Бажин, М.В. Нарушко*

Аннотация

Обоснование. Эколого-географические условия места обитания микроорганизмов (МО) могут влиять на ультраструктурную организацию матрикса их биопленки и накопление в ней различных биологических активных соединений. Знание подобной организации у арктических палеобактерий крайне важно для изучения, основанных на сложных генетических программах, механизмов биосинтеза и дисперсии образуемых ими биопленок.

Цель. Продемонстрировать возможности и показать основные технические достижения трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) в области изучения матрикса биопленки палеобактерии рода *Bacillus* sp. штамма В1М выделенного из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние.

Материалы и методы. Объект исследования – МО рода *Bacillus* выделенный из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние и задепонированный в DDBJ/EMBL/GeneBank (№ AB178889, идентификационный № 20040510203204.24251). Исследования ультраструктур клеток выполняли анализируя их ультратонкие срезы. Визуализация ультратонких

клеточных срезов осуществлялась на трансмиссионном электронном микроскопе JEM-1011 (“JEOL”, Япония) при ускоряющем напряжении 80 кВ. Значения кортизолподобного стероида, серотонинподобного и дофаминподобного пептидов определяли при помощи технологии ИФА. Статистический анализ данных производился посредством использования программ «IBM SPSS Statistics 21» и Microsoft Excel.

Результаты. Выявлено, что структурная гетерогенность характерна для организации матрикса биопленки палеобактерий рода *Bacillus*. На клеточных срезах отмечаются контактирующие между собой образования, в виде длинных туннельных нанотрубок с внутренним каналом. Поверхность МО покрыта многочисленными цитоплазматическими микроворсинками. Установлено, что клеточная стенка относительно проницаема. Вокруг бактериальных клеток имеется множество круглых везикул, окруженных мембранами. МО активно продуцируют кортизолподобный стероид, серотонинподобный и дофаминподобный пептиды.

Заключение. Применение ТЭМ позволило выявить и проанализировать ультраструктурную организацию матрикса биопленки *Bacillus* sp. штамма В1М выделенного из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние.

Ключевые слова: палеобактерии; ультраструктурная организация; матрикс биопленки; *Bacillus* sp.; трансмиссионная электронная микроскопия

Для цитирования. Петров С.А., Мальчевский В.А., Субботин А.М., Бажин А.С., Нарушко М.В. Ультраструктурная организация матрикса биопленки *Bacillus subtilis* в стационарной фазе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 179-201. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-994

Original article

ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF THE *BACILLUS SUBTILIS* BIOFILM MATRIX IN THE STATIONARY PHASE

*S.A. Petrov, V.A. Malchevskiy, A.M. Subbotin,
A.S. Bazhin, M.V. Narushko*

Abstract

Background. The ecological and geographical conditions of microorganisms (MO) can influence the ultrastructural organisation of their biofilm matrix and the accumulation of various bioactive compounds in it. Knowledge of such organisa-

tion in Arctic paleobacteria is extremely important for studying the mechanisms of biosynthesis and dispersion of biofilms formed by them, based on complex genetic programmes.

Purpose. Demonstrate the possibilities and show the main technical achievements of electron microscopy in the field of studying the biofilm matrix of palaeobacterium *Bacillus* sp. strain B1M isolated from waterlogged dispersed rocks that have passed into the frozen state.

Materials and methods. The object of the study was an MO of the genus *Bacillus* sp. isolated from water-wet dispersed rocks that had been frozen and deposited in DDBJ/EMBL/GeneBank (No. AB178889, identification No. 20040510203204.24251). Studies of cell ultrastructures were performed by analysing their ultrathin sections. Visualisation of ultrathin cell slices was carried out on electron microscope JEM-1011 ('JEOL', Japan) at accelerating voltage 80 kV. The values of cortisol-like steroid, serotonin-like and dopamine-like peptides were determined using ELISA technology. Statistical analysis of data was performed by using 'IBM SPSS Statistics 21' and Microsoft Excel programmes.

Results. It was revealed that structural heterogeneity is characteristic for the biofilm matrix organisation of *Bacillus* paleobacteria. On cell slices there are contacting formations in the form of long tunnelling nanotubes with an internal channel. The MO surface is covered with numerous cytoplasmic microvilli. The cell wall was found to be relatively permeable. There are numerous round vesicles surrounded by membranes around the bacterial cells. MOs actively produce cortisol-like steroid, serotonin-like and dopamine-like peptides.

Conclusion. The use of transmission electron microscopy (TEM) allowed us to identify and analyse the ultrastructural organisation of the matrix of *Bacillus* sp. strain B1M biofilm isolated from waterlogged dispersed rocks that have been frozen.

Keywords: paleobacteria; ultrastructural organisation; biofilm matrix; *Bacillus* sp.; transmission electron microscopy

For citation. Petrov S.A., Malchevskiy V.A., Subbotin A.M., Bazhin A.S., Narushko M.V. Ultrastructural Organization of the *Bacillus subtilis* Biofilm Matrix in the Stationary Phase. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 179-201. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-994

Введение

На протяжении десятилетий бактерии рассматривались как «хранилище» ферментов, лишённое органелл и значительных субклеточных структур. Это резко контрастировало с эукариотами, у которых внутриклеточная компартментализация была известна давно. Развитие технологий транс-

миссионной электронной микроскопии (ТЭМ) позволило доказать, что это не так. Было выявлено, что бактерии очень высокоорганизованы, а большинство их макромолекулярных компонентов имеет специфическое субклеточное расположение, которое может меняться в зависимости от физиологического состояния клетки [7; 22; 30]. Доказано, что многие процессы в бактериях управляются белками цитоскелета, которые полимеризованы в разнообразные суперструктуры [27]. Клеточные суперструктуры могут соединять отдельные белки, макромолекулярные сборки и даже две соседние клетки. Они выстраиваются с целью создать условия для деления клеток, сегрегации ДНК и обеспечения клеточной подвижности. Но, например до сих пор неясно с какой целью до начала споруляции в стационарной фазе цепочки *B. subtilis* разделяются на отдельные клетки и перестают делиться симметрично, а также какие структурные изменения это обеспечивают [12]. Изучение динамики процессов трансформации клеточных ультраструктур *in vivo* при различных функциональных состояниях клетки, возможно лишь при их визуализации в 3D макромолекулярном разрешении.

Развитие клеточной биологии в 20 веке обусловило большую потребность в получении изображений, с большим увеличением, позволяющих визуализировать ультраструктуры клеток, недоступных для световой микроскопии. Эта проблема была отчасти решена разработкой в 1931 г. технологии ТЭМ, которая стала технологическим прорывом в данном направлении. Технология ТЭМ основана на использовании ускоренных электронов в качестве источника освещения, что позволило исследовать более плотные объекты и улучшить увеличение ячеистых объектов более чем в 10^6 раз. Для предотвращения рассеяния электронов траекторию пучка внутри ТЭМ необходимо поддерживать только в условиях вакуума. Однако это создает проблему для визуализации биологических образцов, поскольку в таких условиях их внутриклеточная водная среда мгновенно испаряется. Для решения данной проблемы в 1950-х годах была разработана технология химической консервации биологических образцов для ТЭМ, которая основывается на их фиксации, обезвоживании, секционировании и окрашивании. Она делает пригодными биологические образцы для визуализации с помощью ТЭМ [11].

К сожалению, многочисленные манипуляции с биологическим образцом при подготовке к проведению ТЭМ могут привести к значительным изменениям и даже потере клеточной ультраструктуры. Необходимость визуально эффективно анализировать клетки в их естественном состоя-

нии, для специалистов занимающихся вопросами разработки технологических решений является драйвером, как по совершенствованию методов подготовки биологических образцов для визуализации, так самой технологии ТЭМ.

Возможности сочетания передовых технологических приемов визуализации с биохимическими и молекулярно-биологическими технологиями изучения открывают новые перспективные направления исследований в области физиологии и эволюции бактерий. Аппаратное обеспечение для обработки и анализа полученных изображений, программное обеспечение для автоматизации сбора изображений, а также инструменты машинного обучения создают новые возможности для визуализации биологических образцов при помощи ТЭМ. Но, целый ряд задач стоящих перед специалистами занимающимися проблемой визуализации биологических образцов при помощи ТЭМ, например, такая как проведение исследований в криогенных условиях, до сих пор остаются не решенными [24].

Согласно современной научной концепции социомикробиологии, популяции МО являются аналогом многоклеточного организма. МО в них реализуют свою способность различным формам коллективных действий (социальное поведение), обмену информацией (коммуникация), формированию ассоциаций из многих индивидов (биосоциальные системы) [29]. На сегодняшний день, считается, что биопленки – самая распространенная в природе форма биосоциальных структур МО. Они представляют собой ассоциации МО располагающиеся на органических и не органических поверхностях [15]. Считается, что координация поведения МО в составе микробных биосоциальных систем осуществляется за счет разных типов межклеточной коммуникации. Реализуется она посредством применения контактных, физических и химических взаимодействий, из которых наиболее изучены последние проходящие с участием сигнальных молекул [4; 5].

Учитывая современные реалии динамики климата на планете, важность изучения биосферных процессов в арктических широтах приобретает большую актуальность. Разработанная климатическая модель дает основание предполагать, что в среднем на планете потепление в XXI в. составит от 1,1 до 2,9°C [3]. В арктических широтах данный процесс протекает в несколько раз интенсивнее. Поэтому высоко активная деградация обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние процесс неизбежный. Они являются местом проживания и средой жизнедеятельности многочисленных видов микроорганизмов (МО), в

том числе и уникальных палеобактерий живущих в их глубине [2; 6; 14]. Деградация обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние в первую очередь по берегам водных объектов будет способствовать быстрому распространению жизнеспособных палеобактерий живших в их глубине в окружающую среду, а наши знания о них пока фрагментарны.

В связи с выше изложенным, актуальность демонстрации возможностей и основных технических достижений ТЭМ в области изучения матрикса биопленки палеобактерии рода *Bacillus sp. штамм В1М* выделенного из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние несомнена.

Цель исследования – продемонстрировать возможности и показать основные технические достижения ТЭМ в области изучения матрикса биопленки палеобактерии рода *Bacillus sp. штамм В1М* выделенного из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись жизнеспособные МО из обнажений древних обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние на Мамонтовой горе, на левом берегу Алдана в Центральной Якутии. Образцы, возрастом 3–3,5 млн. лет отбирались на 0,9–1 м глубже слоя сезонного оттаивания. Пробы мерзлых пород отбирали максимально стерильно для полевых условий. В отобранных образцах был выявлен слабоподвижный грамположительный МО, способный как к аэробному, так и анаэробному росту. Оптимальной температурой для его роста является +37°C. При визуализации при помощи микроскопических технологий было отмечено, что внешне МО имеет большую (1–1,5; 3–6 микрон) палочкообразную форму. В биопленке он обладает способностью соединяться в цепочки. При неблагоприятных внешних условиях может споры.

МО принадлежит роду *Bacillus*. Нуклеотидная последовательность 16S *rRNA* обнаруженной бактерии была депонирована в DDBJ/EMBL/ GeneBank (№ AB178889, идентификационный № 20040510203204.24251). Проведенный анализ показал, что это новый вид МО, ранее не известный науке (рис. 1).

У выявленной бактерии наибольшее видовое подобие отмечено с *Bacillus simplex*, *B. macroides*, гомология с 16S *rRNA* которых составляет 96–97 %. (Брушков с соавт., 2008). В качестве рабочего варианта ему было дано название *Bacillus sp. штамм В1М*.

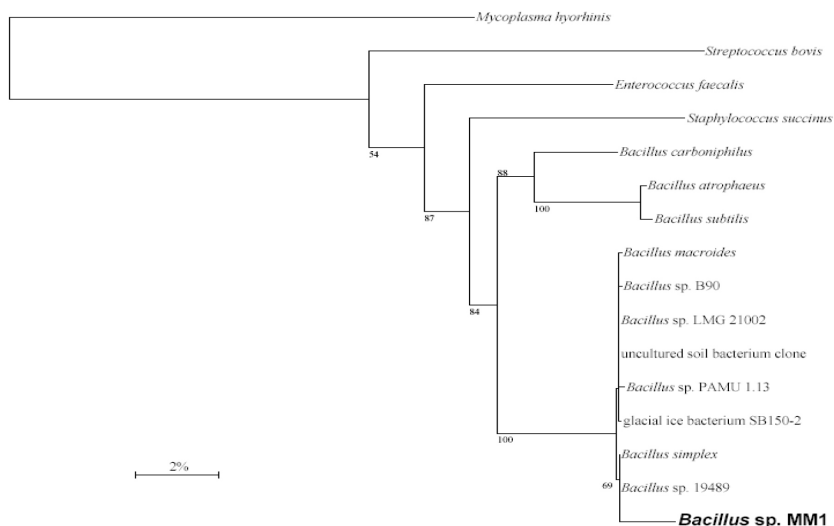


Рис. 1. Филогенетическое положение штамма на основе анализа нуклеотидной последовательности гена *16S rRNA* с применением метода присоединения ближайших соседей.

Определены основные биохимические характеристики штамма: Грамм (+) палочки, рост в аэробных и анаэробных условиях (+), температурный интервал роста +20+45°C, каталаза (+), гемолиз (+), арабиноза (-), ксилоза (-), лецитиназа (-), крахмал (+), уреазы (+), глюкоза (+), лактоза (+), сахароза (+), восстановление метиленового синего (+), восстановление нитратов (+), реакция VP (-), разжижение желатина (+). Исследование устойчивости к физическим факторам показало, что *Bacillus sp. штамм B1M* выдерживает кипячение на водяной бане в течение 4,5 часов и 15 циклов «замораживание-оттаивание» при температуре -180°C в жидком азоте. При переносе культуры с питательной среды в физиологический раствор через 3 часа 90% микроорганизмов переходят в состояние спор.

Нами методом получения ультратонких срезов клеток была изучена ультраструктурная организация матрикса биопленки МО обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние грамм (+) *Bacillus sp. штамм B1M*, выращенного на плотной агаризованной среде при + 37°C.

Ультратонкие срезы клеток получали по следующей технологии:

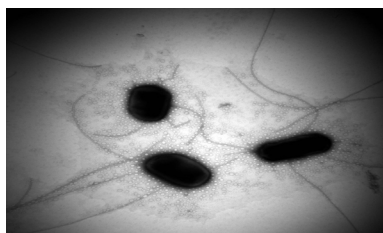
1. Клетки концентрировали центрифугированием (10000 g, 15 мин).

2. Полученную концентрированную суспензию фиксировали в 2% растворе глутарового альдегида в 0.05 М какодилатном буфере (pH 7.2) в течение 1 ч при 4°C.
3. Трижды промывали 0.05 М какодилатным буфером (pH 7.2).
4. Фиксировали 2% раствором OsO₄ 0.05 М в какодилатном буфере (pH 7.2) в течение 4 ч при 18–20°C.
5. Контрастирование полисахаридов капсул и клеточных стенок осуществляли путем глутар-осмиевой фиксации в присутствии рутениевого красного.
6. Обезвоженный материал в кусочках агара пропитывали в эпоксидной смоле Epon 812 в течение 24 ч и полимеризовали в термостате при 60°C в течение 72 ч.
7. Ультратонкие срезы получали на ультратоме Leica EM UC7.
8. Ультратонкие срезы монтировали на опорные сеточки, покрытые формваровой подложкой.
9. После монтажа их окрашивали 3% раствором уранилацетата в 70% спирте, с последующим контрастированием цитратом свинца по Рейнольдсу [28].
10. Полученные препараты помещали на сетки, покрытые формваровой пленкой, укрепленной углеродом.
11. Проводили негативное контрастирование полученных препаратов 1% водным раствором уранил ацетата.
12. Окрашивание МО алыциановым синим проводили в процессе фиксации.
13. Визуализировали полученные ультратонкие срезы на ТЭМ JEM-1011 (“JEOL”, Япония) при ускоряющем напряжении 80 кВ.

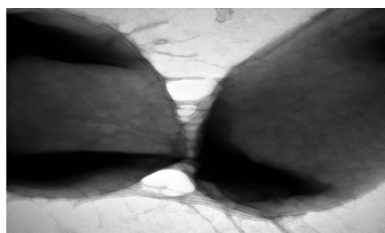
Полученные в ходе визуализации и анализа изображений количественные значения статистически обрабатывались программами «IBM SPSS Statistics 21» и Microsoft Excel. При нормальном распределении использовали следующие статистические параметры: среднее значение (среднее арифметическое значение), дисперсия и ее производное (среднее квадратическое отклонение). Выполнялось сравнение достоверности различий или сходства между статистическими характеристиками, полученными при исследовании сравниваемых выборок (по критерию Стьюдента).

Результаты исследования

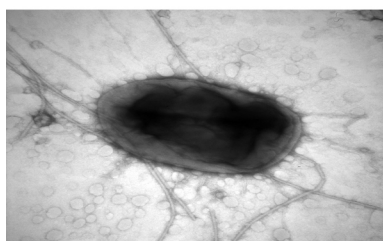
На полученных препаратах (фото 1-8) бактериальные клетки располагались по отдельности, их морфология типичная для грамм (+) бактерий (рис. 2).



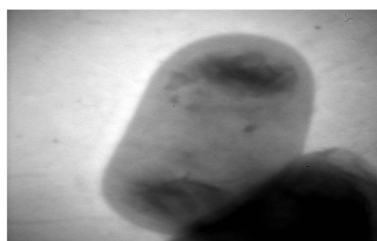
1)



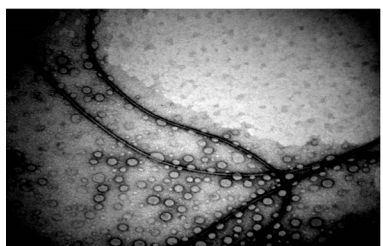
2)



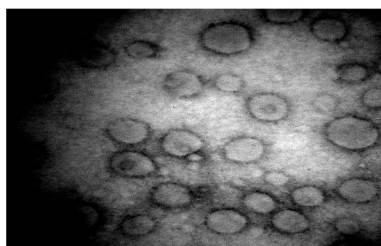
3)



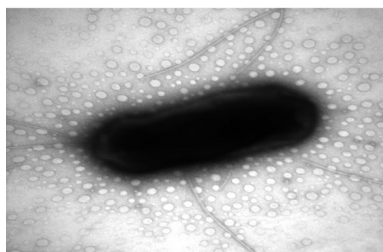
4)



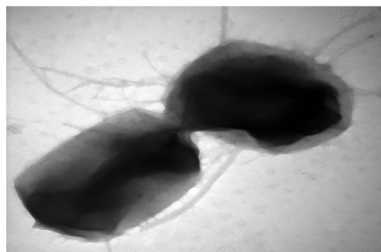
5)



6)



7)



8)

Рис. 2. Ультраструктурная организация *Bacillus* sp. штамм В1М

Лизированных клеток в препарате нами было не обнаружено. Форма бактериальных клеток палочковидная, слегка округлая в длину $880,88 \pm 117,18$ нм и ширину $624,03 \pm 54,57$ нм, что характерно бактерий рода *Bacillus*, находящихся в стационарной фазе. У всех их обнаруживаются тонкие длинные ультраструктурные образования в виде жгутиков количеством $5,0 \pm 1,09$ и диаметром $24,65 \pm 4,15$ нм, обеспечивающие, по-видимому, коммуникативные связи между МО (рис. 1). По-мнению А.В. Брушкова с соавт. (2016), данные образования могут быть нитчатыми видоспецифичными бактериофагами, расшифровка ультраструктуры которых требует проведения специальных дополнительных научных исследований [9].

На полученных изображениях *Bacillus sp. штамм В1М* отмечалась многослойная клеточная стенка толщиной $19,43 \pm 3,04$ нм (фото 3) и нерасширенное периплазматическое пространство. Зона нуклеоида *Bacillus sp. штамм В1М* занимает центральную часть клетки. Его цитоплазматическая мембрана хорошо визуализируется по всему периметру клетки. Внутриклеточное строение хорошо визуализировалось в цитоплазме клеток со средней электронной плотностью (фото 4). Было отмечено в нуклеотиде нитей ДНК и ее конденсированных участков. Хорошо просматриваются отдельные органеллы либо включения. Процесс деления клетки (фото 4) осуществлялся путем перетяжки, что является типичным для грамположительных бактерий.

При изучении ультраструктуры клеток штамма *В1М Bacillus sp.* вокруг групп МО было обнаружено электронно-прозрачное «облако» с четкими очертаниями (фото 1, 3-7). Это изображение биопленки образованной колонией МО находящихся в стационарной фазе. Образование биопленки в лимитированных условиях представляет сложный и строго регулируемый процесс, в ходе которого происходит образование её матрикса. Изучение структуры матрикса биопленки является одним из актуальнейших направлений исследований в современной микробиологии [1].

Нами было выявлено, что внутри биопленки наблюдаются структуры, похожие на вакуоли диаметром $46,01 \pm 3,1$ нм. Они берут начало от клеточной поверхности МО и распространяющиеся в сторону соседних бактерий (особенно хорошо видно на фото 5, 6, 7). Эти «вакуоли» окружены электронно-плотной мембраной, внутри которых в свою очередь просматривается содержимое – частицы разной электронной плотности (фото 5 и 6). Похожие процессы наблюдаются в лизосомах фагоцитов при переваривании различных веществ. Картина напоминает «внешний процесс переваривания», вынесенный из клетки (внешнее переваривание, как

у насекомых), или процесс обработки информации об окружающей среде (хорошо видно на фото 8). Возможно, что этот отмеченный нами процесс обратимый, динамичный, возвратно-поступательный.

Конкуренция за питательные вещества и другие параметры роста, несомненно, является важной движущей силой развития структуры биопленки. Повышенная плотность клеток благоприятствует химическим сигналам для связи с реагирующими клетками для социальных взаимодействий в биопленках. Проживая сложных условиях бактерии извлекают выгоду из разделения труда, коллективных действий и других форм совместной деятельности со своими соседями [18-20].

При изучении *Bacillus sp. штамм В1М с* использованием ТЭМ мы отметили структурную гетерогенность у изучаемых микробных колоний и биопленок. Мы выявили контактирующие друг с другом длинные гибкие выросты (туннельные нанотрубки) с внутренним каналом. Диаметр трубчатых выростов составлял $24,65 \pm 4,15$ нм (табл. 1).

Таблица 1.

Морфометрические параметры бактерий штамма *Bacillus sp.*

№ п/п	Параметры	Среднее
1.	Длина <i>Bacillus sp.</i> , нм	$880,88 \pm 117,18$
2.	Ширина <i>Bacillus sp.</i> , нм	$624,03 \pm 54,57$
3.	Площадь <i>Bacillus sp.</i> , нм ²	$1819809,43 \pm 309433,27$
4.	Толщина клеточной стенки, нм	$19,43 \pm 3,04$
5.	Длина микроворсинок, нм	$36,57 \pm 5,22$
6.	Количество флагелл, шт	$5,0 \pm 1,09$
7.	Диаметр флагелл, нм	$24,65 \pm 4,15$
8.	Размеры везикул, нм	$46,01 \pm 3,1$

Выросты расположены перитрихально. Они находятся только на внешней стороне его оболочки и структурно связаны с оболочкой МО. Поверхность МО также покрыта многочисленными цитоплазматическими выростами – микроворсинками. Это более тонкие и короткие (длиной $36,57 \pm 5,22$ нм) нитевидные образования, чем выросты.

На наш взгляд, клеточная стенка МО относительно проницаема. Об этом свидетельствуют наличие вокруг МО множество круглых везикул размером $46,01 \pm 3,1$ нм, окруженных мембранами. Эти везикулы объединены в цепочки. Отмечен интересный факт, что размер везикул коррелирует с длиной ($r = 0,909$ при $p = 0,012$) и площадью ($r = 0,865$ при $p = 0,26$) МО (Табл. 1, Рис. 2).

Содержимое везикул может составлять сложная органика, фрагменты ДНК и РНК. Но, назначение и функция их самих не вполне понятна. Существуют различные догадки: удаление отходов из МО, пакетная передача данных через аутоиндукторы, горизонтальный перенос генов, подкормка бактерий-симбионтов и т.д. Известно, что между МО существует химическая коммуникация, организованная в quorum sensing системы (QS), которые регулируют различные процессы, определяют концентрации выделяемых клетками аутоиндукторов и контролируют соответствующий ответ. У грамположительных МО аутоиндукторами QS-систем выступают различные олигопептиды, в том числе *нейромедиаторы* [5].

Нами установлено наличие в везикулах стероидных и нейроподобных соединений. Выявлена зависимость между их значениями и глубиной залегания образцов из которых были выявлены данные МО (табл. 2). МО активно продуцируют кортизолподобный стероид, серотонинподобный и дофаминподобный пептиды. При этом уровень их продукции данными МО сопоставим с уровнем продукции современными и хорошо изученными микроорганизмами *Bacillus cereus* (штамм *IP 5832*) и эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* 26Д. А при продукции серотонинподобного и дофаминподобного пептидов значительно и превышают: серотонинподобного пептида более чем в 2 раза; дофаминподобного пептида более чем в 20 раз.

Таблица 2.

Продукция аутоиндукторов МО из дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние, в зависимости от глубины их залегания

Пептиды	Глубина, м			Jp 5832 Бакти-суптил	Д 26 Фито-спорин	Рефе-рентные значе-ния	Уравнение тренда
	≤ 10, n = 4	10-20, n = 4	≥ 20, n = 2				
Кортизол, нмоль/л	451,56 ± 21,05	458,19 ± 29,4	497,75 ± 18,25	575,75 ± 88,63	467,25 ± 20,21	160 - 670	$y = 23,094x + 422,98$ $R^2 = 0,8551$
Серото-нин, нг/мл	70,19 ± 47,44	22,19 ± 1,51	21,12 ± 0,87	29,5 ± 6,85	24,25 ± 2,95	70 - 270	$y = -24,531x + 86,896$ $R^2 = 0,7662$
Дофамин, нг/мл	18,77 ± 11,03	50,16 ± 25,17	21,84 ± 8,9	2,45 ± 0,93	0,5 ± 0,38	< 87,0	$y = 1,5366x + 27,187$ $R^2 = 0,0079$

С увеличением глубины залегания в дисперсных породах, перешедших в мерзлое состояние, МО значительно больше в естественных условиях культи-

вирования при температуре +26°C вырабатывают кортизолподобный стероид ($y = 23,094x + 422,98$ при $R^2 = 0,8551$) и меньше серотонинподобный пептид ($y = -24,531x + 86,896$ при $R^2 = 0,7662$). Проведенный корреляционный анализ показал выраженную зависимость продукции исследуемых аутоиндукторов от физико-химических характеристик дисперсных пород (табл. 3).

Так, с увеличением глубины залегания продукция кортизолподобного стероида увеличивалась ($r = 0,92$ при $p = 0,008$), а серотонинподобного пептида уменьшалась ($r = -0,87$ при $p = 0,022$). При этом, на продукцию кортизолподобного стероида оказывало значимое отрицательное влияние влажность грунта ($r = -0,98$ при $p < 0,001$), а на продукцию серотонинподобного пептида – pH грунта и содержание в нем органики ($r = -0,98$ при $p < 0,001$ и $r = 0,95$ при $p = 0,003$ соответственно).

Таблица 3.

Показатели корреляционного анализа между продукцией аутоиндукторов МО и физико-химическими характеристиками дисперсных пород

Характеристики	кортизол		серотонин		Дофамин	
	г	р	г	р	г	р
Глубина, м	0,92	0,008	-0,87	0,022	0,09	0,867
Влажность грунта, %	-0,98	< 0,001	0,76	0,081	0,12	0,824
pH грунта	0,78	0,066	-0,98	0,001	0,36	0,479
Засоленность, %	-0,38	0,457	-0,48	0,331	0,996	< 0,001
Органика, %	-0,36	0,483	0,95	0,003	-0,78	0,065

В отношении продукции дофаминподобного пептида микроорганизмами из дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние, выявлено, что его уровень значимо прямо пропорционален уровню засоленности грунта ($r = 0,996$ при $p < 0,001$).

Обсуждение

Результаты наших исследований показали, что МО могут весьма длительно – несколько тысяч лет – сохранять свою жизнеспособность. Разнообразие жизнеспособных форм МО в дисперсных породах, перешедших в мерзлое состояние весьма значительно. Вероятно, они не просто находятся в анабиозе, сохраняя жизнеспособность, но и способны к жизнедеятельности (гипометаболизму), пусть даже замедленной, протекающей сотни и тысячи лет в экстремальных условиях.

На наш взгляд, наиболее подходящим модельным МО для научных исследований многообразия регуляторных путей стационарной фазы

из палеобактерий проживающих в дисперсных породах, перешедших в мерзлое состояние является *Bacillus subtilis*, способный к выживанию в экстремальных физико-химических условиях. Как и у других МО, в геноме *Bacillus subtilis* заложена генетическая информация о механизмах биосинтеза и дисперсии биопленок, основанная на пока неизвестных генетических программах, приводящих к созданию сложного микробного биосоциума, являющегося аналогом многоклеточных организмов.

Наличие сложного микробного биосоциума, где МО и их субпопуляции эффективно взаимодействуют между собой, позволяет его членам успешно реагировать на любые изменения внешней среды, адаптируясь к ним, обеспечивая биостабильность. Интенсивная секреция кортизолподобного стероида, а также серотонинподобного и дофаминподобного пептидов интересная функциональная особенность жизнедеятельности *Bacillus subtilis* в сложном микробном биосоциуме – биопленке. Она, возможно, обусловлена экстремальными особенностями его проживания относительно изолировано в глубине дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние. Процесс коммуникации между МО в микробном биосоциуме осуществляется через регуляторные каскады сигнальной трансдукции и происходит при участии мембранных микродоменов (везикул, ворсинок, микротрубочек и др.). У палеобактерий обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние ультраструктурная организация их микродоменов оказалась весьма сложной. А сложная структура обычно в биологии обуславливает разнообразие и многоуровневость выполняемых функций.

Заключение

Полученные результаты свидетельствуют об эволюционно-консервативном характере организации матрикса биопленок, по-видимому, возникших на заре эволюции жизни на нашей планете. Успешная жизнедеятельность микробного биосоциума не возможна без эффективной многоуровневой коммуникации между его образующими членами. Огромная роль в ней играют экзогенные биогенные амины. Поэтому, факт обнаружения у МО выделенных из дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние, таких аутоиндукторов как, кортизолподобный стероид, серотонинподобный и дофаминподобный нейропептиды имеет для науки важное значение. В то же время, без знаний о ультраструктурной клеточной и внеклеточной организации не возможно будет приступить к полномасштабным исследованиям микробного биосоциума и понять механизмы многоуровневой коммуникации его членов. Применение ТЭМ позволило выявить и проана-

лизировать ультраструктурную организацию матрикса биопленки *Bacillus* sp. штамма В1М выделенного из обводненных дисперсных пород, перешедших в мерзлое состояние.

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

Информация о спонсорстве. Исследования выполнялись в рамках госзадания на 2021-2030 годы (Пространственно-временные явления и процессы, происходящие в водах суши Сибири в условиях современного техногенеза и изменения климата (Приоритетное направление 1.5.11. Программа 1.5.11.1)).

Список литературы

1. Воробьева Л.И., Ходжаев Е.Ю., Новикова Т.М., Мулюкин А.Л., Чудинова Е.М., Козлова А.Н., Эль-Регистан Г.И. Стрессопротекторное и перекрестное действие внеклеточного реактивирующего фактора микроорганизмов доменов бактерий, архей и эукариот // Микробиология. 2013. Т. 82, № 5. С. 588–594.
2. Мельников В. П. К созданию цельного образа криосферы // Криосфера Земли. 2014. Т. 18, № 4. С. 3-12.
3. Мохов И. И., Елисеев А. В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX—XXIII веках при сценариях антропогенных воздействий RCP // Докл. Акад. наук. 2012. Т. 443, № 6. С. 732-736.
4. Николаев Ю.А., Плакунов В.К. Биопленка – “город микробов” или аналог многоклеточного организма? // Микробиология. 2007. Т. 76. № 2. С. 148-163.
5. Олескин А.В., Эль-Регистан Г.И., Шендеров Б.А. Межмикробные химические взаимодействия и диалог микробиота-хозяин: роль нейромедиаторов // Микробиология. 2016. Т. 85, № 1. С. 3-25.
6. Складнев Д.А., Мулюкин А.Л., Филиппова С.Н. и др. Моделирование процесса распространения клеток микроорганизмов и фаговых частиц из мест вытаивания мерзлотных слоев // Микробиология. 2016. Т. 85, № 5. С. 580-587. <https://doi.org/10.7868/S0026365616050165>
7. Barry R., Gitai Z. Self-assembling enzymes and the origins of the cytoskeleton // Current Opinion in Microbiology. 2011. Vol. 14 (6). P. 704-711. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2011.09.015>
8. Blaud T.Z., Lerch G.K., Phoenix A.M., Osborn A.M. Arctic soil microbial diversity in a changing world // Research in Microbiology. 2015. Vol. 166. P. 796-813. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.07.013>

9. Brouchkov A., Melnikov V., Kalenova L., Fursova O., Pogorelko G., Potapov V. et al. Permafrost bacteria in biotechnology: Biomedical applications / Margesin R. (eds) // *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology*. Springer, Cham. 2017. 685 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57057-0_23
10. Chu H., Fierer N., Lauber C.L., Caporaso J.G., Knight R., Grogan P. Soil bacterial diversity in the Arctic is not fundamentally different from that found in other biomes // *Environ Microbiol.* 2010. Vol. 12. P. 2998-3006. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02277.x>
11. Dalton A. J. A study of the Golgi material of hepatic and intestinal epithelial cells with the electron microscope // *Cell and Tissue Research*. 1952. Vol. 36. P. 522–540. <https://doi.org/10.1007/BF00347683>
12. Eswaramoorthy P. et al. Cellular architecture mediates DivIVA ultrastructure and regulates Min activity in *Bacillus subtilis* // *mBio*. 2011. Vol. 2(6). <https://doi.org/10.1128/mBio.00257-11>
13. Fierer N., Jackson R.B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities // *Proc Natl Acad Sci USA*. 2006. Vol. 103. P. 626-631. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507535103>
14. Gilichinsky D.A., Vishnivetskaya T.A., Petrova M.A. et al. Bacteria in permafrost // *Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology* / Eds. R. Margesin et al. Berlin: Rosa Springer, 2008. P. 83-102. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74335-4_6
15. Hall-Stoodley L., Costerton J. W., Stoodley P. Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases // *Nat. Rev. Microbiol.* 2004. Vol. 2. P. 95–108. <https://doi.org/10.1038/nrmicro821>
16. Kalenova L.F., Petrov S.A. and Sukhovei Y.G. Reparative and Immunomodulatory Potential of Low-Molecular-Weight Fractions of Secondary Metabolites of *Bacillus* sp. // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2022. Vol. 172 (3). P. 332-335. <https://doi.org/10.1007/s10517-022-05387-5>
17. Kalenova L.F., Petrov S.A. and Bazhin A.S. Dose-Dependent Effect of *Bacillus* sp. Metabolites from Permafrost on Lymphocyte Differentiation in the Thymus // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2016. Vol. 169 (1). P. 67-70. <https://doi.org/10.1007/s10517-020-04826-5>
18. Kolenbrander P.E., Andersen R.N., Blehert D.S., Eglund P.G., Foster J.S., Parmer R.J. Jr. Communication among oral bacteria // *Microbiol. Mol. Bio. Rev.* 2002. Vol. 66. P. 486–505. <https://doi.org/10.1128/mmbr.66.3.486-505.2002>
19. Kreft J.U. Biofilms promotes altruism // *Microbiology*. 2004. Vol. 150. P. 2751-2760. <https://doi.org/10.1099/mic.0.26829-0>
20. Kuramitsu H.K., He X., Lux R., Anderson M.H., Shi W.Y. Interspecies interactions within oral microbial communities // *Microbiol. Mol. Rev.* 2007. Vol. 71. P. 653–670. <https://doi.org/10.1128/mmbr.00024-07>

21. Kreth J., Merritt J., Shi W.J., Qi F.X. Competition and coexistence between *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis* in the dental biofilm // *J. Bacteriol.* 2005. Vol. 187. P. 7193–7203. <https://doi.org/10.1128/JB.187.21.7193-7203.2005>
22. Lenz P., Sogaard-Andersen L. Temporal and spatial oscillations in bacteria // *Nature Reviews. Microbiology.* 2011. Vol. 9 (8). P. 565–577. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2612>
23. Malchevskiy V.A., Subbotin A.M., (...), Petrov S.A. Effect of Contamination with Perennial Permafrost Microorganisms on the Outcome of Closed Brain Neurotrauma // *Bulletin of experimental biology and medicine.* 2016. Vol. 161 (3). P. 388–390. <https://doi.org/10.1007/s10517-016-3421-3>
24. Mona Golmohammadzadeh, Danielle L. Sexton, Shweta Parmar, Elitza I. Tocheva Chapter One - Advanced imaging techniques: microscopy // *Advances in Applied Microbiology.* 2023. Vol. 122. P. 1–25. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2023.01.001>
25. Neufeld J.D., Mohn W.W. Unexpectedly high bacterial diversity in Arctic tundra relative to boreal forest soils, revealed by serial analysis of ribosomal sequence tags // *Appl Environ Microbiol.* 2005. Vol. 71. P. 5710–5718. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5710-5718.2005>
26. Petrov S.A., Subbotin A.M., (...), Narushko M.V. Influence of the Microbiota of the Cryolithozone Paleoecosystems on the Behavioral Functions of the Nervous System of Chickens *Gallus gallus* // *Bulletin of experimental biology and medicine.* 2021. Vol. 171 (2). P. 234–237. <https://doi.org/10.1007/s10517-021-05201-8>
27. Pilhofer M., Jensen G.J. The bacterial cytoskeleton: More than twisted filaments // *Current Opinion in Cell Biology.* 2013. Vol. 25 (1). P. 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2012.10.019>
28. Reynolds E. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy // *J. Cell Biol.* 1963. Vol. 17. P. 208–212. <https://doi.org/10.1083/jcb.17.1.208>
29. Sekowska A., Masson J.B., Celani A., Vergassola M. Repulsion and metabolic switches in the collective behavior of bacterial colonies // *Biophysical J.* 2009. Vol. 97. P. 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2009.04.018>
30. Thanbichler M., Shapiro L. Getting organized-How bacterial cells move proteins and DNA // *Nature Reviews Microbiology.* 2008. Vol. 6 (1). P. 28–40. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1795>
31. Webb J.S., Givskov M., Kjelleberg S. Bacterial biofilms: Prokaryotic adventures in multicellularity // *Curr. Opin. Microbiol.* 2003. Vol. 6. P. 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2003.10.014>

References

1. Vorobyeva L.I., Hodjaev E.Y., Novikova T.M., Mullukin A.L., Chudinova E.M., Kozlova A.N., El-Registan G.I. Stress-protective and cross-talk effect of extracellular reactivating factor of microbial domains of bacteria, archaea and eukaryotes. *Microbiology*, 2013, vol. 82, no. 5, pp. 588-594.
2. Melnikov V. P. Toward the Creation of a Whole Image of the Cryosphere. *Earth's Cryosphere*, 2014, vol. 18, no. 4, pp. 3-12.
3. Mokhov I.I., Eliseev A.. V. Modeling of global climatic changes in the XX-XXIII centuries under scenarios of anthropogenic impacts RCP. *Dokl. Acad. of Sciences*, 2012, vol. 443, no. 6, pp. 732-736.
4. Nikolaev Yu.A., Plakunov V.K. Biofilm - a "city of microbes" or an analog of a multicellular organism? *Microbiology*, 2007, vol. 76, no. 2, pp. 148-163.
5. Oleskin A.V., El-Registan G.I., Shenderov B.A. Intermicrobial chemical interactions and microbiota-host dialog: the role of neurotransmitters. *Microbiology*, 2016, vol. 85, no. 1, pp. 3-25.
6. Skladnev D.A., Mullukin A.L., Filippova S.N. et al. Modeling of the process of microbial cells and phage particles spreading from permafrost layer thawing sites. *Microbiology*, 2016, vol. 85, no. 5, pp. 580-587. <https://doi.org/10.7868/S0026365616050165>
7. Barry R., Gitai Z. Self-assembling enzymes and the origins of the cytoskeleton. *Current Opinion in Microbiology*, 2011, vol. 14 (6), pp. 704-711. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2011.09.015>
8. Blaud T.Z. Lerch G.K. Phoenix A.M., Osborn A.M. Arctic soil microbial diversity in a changing world. *Research in Microbiology*, 2015, vol. 166, pp. 796-813. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2015.07.013>
9. Brouckov A., Melnikov V., Kalenova L., Fursova O., Pogorelko G., Potapov V. et al. Permafrost bacteria in biotechnology: Biomedical applications / Margesin R. (eds). *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology*. Springer, Cham. 2017, 685 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57057-0_23
10. Chu H., Fierer N., Lauber C.L., Caporaso J.G., Knight R., Grogan P. Soil bacterial diversity in the Arctic is not fundamentally different from that found in other biomes. *Environ Microbiol*, 2010, vol. 12, pp. 2998-3006. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2010.02277.x>
11. Dalton A. J. A study of the Golgi material of hepatic and intestinal epithelial cells with the electron microscope. *Cell and Tissue Research*., 1952, vol. 36, pp. 522-540. <https://doi.org/10.1007/BF00347683>
12. Eswaramoorthy P. et al. Cellular architecture mediates DivIVA ultrastructure and regulates Min activity in *Bacillus subtilis*. *mBio*, 2011, vol. 2(6). <https://doi.org/10.1128/mBio.00257-11>

13. Fierer N., Jackson R.B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2006, vol. 103, pp. 626-631. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507535103>
14. Gilichinsky D.A., Vishnivetskaya T.A., Petrova M.A. et al. Bacteria in permafrost. *Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology* / Eds. R. Margesin et al. Berlin: Rosa Springer, 2008, pp. 83-102. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74335-4_6
15. Hall-Stoodley L., Costerton J. W., Stoodley P. Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2004, vol. 2, pp. 95–108. <https://doi.org/10.1038/nrmicro821>
16. Kalenova L.F., Petrov S.A. and Sukhovei Y.G. Reparative and Immunomodulatory Potential of Low-Molecular-Weight Fractions of Secondary Metabolites of *Bacillus* sp. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2022, vol. 172 (3), pp. 332-335. <https://doi.org/10.1007/s10517-022-05387-5>
17. Kalenova L.F., Petrov S.A. and Bazhin A.S. Dose-Dependent Effect of *Bacillus* sp. Metabolites from Permafrost on Lymphocyte Differentiation in the Thymus. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2016, vol. 169 (1), pp. 67-70. <https://doi.org/10.1007/s10517-020-04826-5>
18. Kolenbrander P.E., Andersen R.N., Blehert D.S., Eglund P.G., Foster J.S., Parmar R.J. Jr. Communication among oral bacteria. *Microbiol. Mol. Bio. Rev.*, 2002, vol. 66, pp. 486–505. <https://doi.org/10.1128/mmbr.66.3.486-505.2002>
19. Kreft J.U. Biofilms promotes altruism. *Microbiology*, 2004, vol. 150, pp. 2751-2760. <https://doi.org/10.1099/mic.0.26829-0>
20. Kuramitsu H.K., He X., Lux R., Anderson M.H., Shi W.Y. Interspecies interactions within oral microbial communities. *Microbiol. Mol. Rev.*, 2007, vol. 71, pp. 653–670. <https://doi.org/10.1128/mmbr.00024-07>
21. Kreth J., Merritt J., Shi W.J., Qi F.X. Competition and coexistence between *Streptococcus mutans* and *Streptococcus sanguinis* in the dental biofilm. *J. Bacteriol.*, 2005, vol. 187, pp. 7193–7203. <https://doi.org/10.1128/JB.187.21.7193-7203.2005>
22. Lenz P., Søgaard-Andersen L. Temporal and spatial oscillations in bacteria. *Nature Reviews. Microbiology*, 2011, vol. 9 (8), pp. 565-577. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2612>
23. Malchevskiy V.A., Subbotin A.M., (...), Petrov S.A. Effect of Contamination with Perennial Permafrost Microorganisms on the Outcome of Closed Brain Neurotrauma. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2016, vol. 161 (3), pp. 388-390. <https://doi.org/10.1007/s10517-016-3421-3>
24. Mona Golmohammadzadeh, Danielle L. Sexton, Shweta Parmar, Elitza I. Tocheva Chapter One - Advanced imaging techniques: microscopy. *Advanc-*

- es in Applied Microbiology*, 2023, vol. 122, pp. 1-25. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2023.01.001>
25. Neufeld J.D., Mohn W.W. Unexpectedly high bacterial diversity in Arctic tundra relative to boreal forest soils, revealed by serial analysis of ribosomal sequence tags. *Appl Environ Microbiol.*, 2005, vol. 71, pp. 5710–5718. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5710-5718.2005>
26. Petrov S.A., Subbotin A.M., (...), Narushko M.V. Influence of the Microbiota of the Cryolithozone Paleoecosystems on the Behavioral Functions of the Nervous System of Chickens *Gallus gallus*. *Bulletin of experimental biology and medicine*, 2021, vol. 171 (2), pp. 234-237. <https://doi.org/10.1007/s10517-021-05201-8>
27. Pilhofer M., Jensen G.J. The bacterial cytoskeleton: More than twisted filaments. *Current Opinion in Cell Biology*, 2013, vol. 25 (1), pp. 125-133. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2012.10.019>
28. Reynolds E. The use of lead citrate at high pH as an electron-opaque stain in electron microscopy. *J. Cell Biol.*, 1963, vol. 17, pp. 208–212. <https://doi.org/10.1083/jcb.17.1.208>
29. Sekowska A., Masson J.B., Celani A., Vergassola M. Repulsion and metabolic switches in the collective behavior of bacterial colonies. *Biophysical J.*, 2009, vol. 97, pp. 688–697. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2009.04.018>
30. Thanbichler M., Shapiro L. Getting organized-How bacterial cells move proteins and DNA. *Nature Reviews Microbiology*, 2008, vol. 6 (1), pp. 28-40, <https://doi.org/10.1038/nrmicro1795>
31. Webb J.S., Givskov M., Kjelleberg S. Bacterial biofilms: Prokaryotic adventures in multicellularity. *Curr. Opin. Microbiol.*, 2003, vol. 6, pp. 578–585. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2003.10.014>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Петров Сергей Анатольевич, д-р мед. наук, профессор, руководитель отдела биоресурсов криосферы
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук*

*ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Российская Федерация
tumiki@yandex.ru*

Мальчевский Владимир Алексеевич, д-р мед. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела биоресурсов криосферы
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Российская Федерация
malchevski@mail.ru*

Субботин Андрей Михайлович, канд. биол. наук, доцент, в.н.с. отдела биоресурсов криосферы
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Российская Федерация
subbotin.prion@yandex.ru*

Бажин Александр Сергеевич, младший научный сотрудник отдела биоресурсов криосферы
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Российская Федерация
aleksandrbazhin@mail.ru*

Нарушко Максим Викторович, младший научный сотрудник отдела биоресурсов криосферы
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук
ул. Малыгина, 86, г. Тюмень, 625026, Российская Федерация
narushkomv@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergei A. Petrov, Dr. Sc. (Medicine), Professor, Head of the Department of Cryosphere Bioresources

Tyumen Scientific Centre SB RAS
86, Maligina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation
tumiki@yandex.ru
SPIN-code: 8382-8583
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1566-2299>
ResearcherID: A-7886-2016
Scopus Author ID: 56228113700

Vladimir A. Malchevski, Dr. Sc. (Medicine), professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Department of Cryosphere Biore-sources

Tyumen Scientific Centre SB RAS
86, Maligina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation
malchevski@mail.ru
SPIN-code: 2918-1807
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1308-2899>
ResearcherID: G-9557-2015
Scopus Author ID: 57194276974

Andrei M. Subbotin, Ph.D. biol. Sciences, Associate Professor, Senior Re-searcher Department of Cryosphere Bioresources

Tyumen Scientific Centre SB RAS
86, Maligina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation
subbotin.prion@yandex.ru
SPIN-code: 9865-7586
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5135-3194>
ResearcherID: S-3256-2017
Scopus Author ID: 35776939200

Alexandr S. Bazhin, Junior Researcher, Department of Cryosphere Biore-sources

Tyumen Scientific Centre SB RAS
86, Maligina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation
aleksandrbazhin@mail.ru
SPIN-code: 3267-3544
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5162-0232>
ResearcherID: G-8623-2015
Scopus Author ID: 56600212400

Maxim V. Naruchko, Junior Researcher, Department of Cryosphere Biore-sources

Tyumen Scientific Centre SB RAS

86, Maligina Str., Tyumen, 625026, Russian Federation

narushkov@mail.ru

SPIN-code: 2361-6829

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3845-9066>

ResearcherID: G-9369-2017

Scopus Author ID: 57194446690

Поступила 11.03.2024

После рецензирования 09.06.2024

Принята 26.06.2024

Received 11.03.2024

Revised 09.06.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1020

EDN: FYDOJW

УДК 619:001.608.1:616-22.6:636.2



Научная статья

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВИРУСА ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

*М.В. Петропавловский, И.М. Донник, Н.А. Безбородова,
В.А. Макутина, А.Г. Исаева, А.В. Лысов, А.С. Романова*

Аннотация

Целью исследования являлось изучение молекулярно-генетических свойств возбудителя лейкоза крупного рогатого скота, персистирующего на территории Республики Башкортостан.

Молекулярно-генетические исследования биологического материала от разновозрастных групп крупного рогатого скота республики, инфицированного вирусом лейкоза проведены методами ПЦР-ПДРФ, ДНК-секвенирования.

В результате получены новые знания о молекулярно-генетической структуре и основных полиморфизмах возбудителя лейкоза животных на территории Республики Башкортостан. Впервые осуществлена классификация изолятов вируса лейкоза крупного рогатого скота (BLV), выделенных на территории республики с помощью биоинформатических методов статистической обработки данных. Определены доминирующие генетические группы, дана оценка аминокислотным заменам в структуре поверхностного gp51 (SU) гликопротеина изолятов вируса лейкоза.

В результате проведенного кластерного анализа, большинство последовательностей из республики Башкортостан отнесено к генетической группе BLV 4 (бельгийский генотип по ПДРФ-реакции).

Биоинформатической обработкой определены однонуклеотидные SNP генотип-специфические аминокислотные полиморфизмы в структуре env гена исследуемых изолятов BLV, приводящие к аминокислотным изменениям в

структуре SU gp51 гликопротеина оболочки, основные из которых имели расположение в его N-концевой части.

Выполненные исследования расширяют научные знания о генетических свойствах отдельных генотипов возбудителя лейкоза. Эпизоотологический и молекулярно-генетический мониторинг позволяет также изучать особенности распространения генетических типов возбудителя лейкоза в различных условиях и на разных административных территориях Российской Федерации в корреляции с характером течения лейкозного патологического процесса среди популяций животных. Это позволяет прогнозировать возможности появления новых «агрессивных» генетических вариантов возбудителя, межвидовую передачу и своевременно разрабатывать современные методы диагностики и контроля за их распространением.

Ключевые слова: вирус лейкоза крупного рогатого скота; ДНК-секвенирование; филогенетический анализ; генетические группы; биоинформатический анализ

Для цитирования. Петропавловский М.В., Донник И.М., Безбородова Н.А., Макутина В.А., Исаева А.Г., Лысов А.В., Романова А.С. Особенности молекулярно-генетических свойств вируса лейкоза крупного рогатого скота: первые экспериментальные исследования на территории Республики Башкортостан // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 202-227. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1020

Original article

NEWLY IDENTIFIED NUCLEOTIDE SUBSTITUTIONS IN BOVINE LEUKEMIA VIRUS ISOLATES FROM THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

*M.V. Petropavlovskiy, I.M. Donnik, N.A. Bezborodova,
V.A. Makutina, A.G. Isaeva, A.V. Lysov, A.S. Romanova*

Abstract

The purpose of this paper is to study genetic properties of the causative agent of bovine leukemia, which persists in the territory of the Republic of Bashkortostan.

PCR-RFLP and DNA sequencing methods were used for bovine leukemia virus (BLV) detection in biological material obtained from different age groups of cattle.

The novelty of the research is that new knowledge has been obtained about the molecular genetic structure and the main polymorphisms of the causative agent of leukemia in animals on the territory of the Republic of Bashkortostan. For the first time, the classification of BLV isolates was carried out on the territory of the Republic using bioinformatic methods of statistical data processing. The dominant genetic groups were identified, and amino acid substitutions in the structure of the surface gp51 (SU) glycoprotein were evaluated.

As a result of the cluster analysis, most of the sequences from the Republic of Bashkortostan were assigned to the genetic group BLV 4 (Belgian genotype according to the PDRF reaction).

By bioinformatic processing, we determined single nucleotide SNP genotype-specific amino acid polymorphisms in the structure of the env gene of the studied BLV isolates, leading to amino acid changes in the structure of the SU gp51 shell glycoprotein, the main of which are located in its N-terminal part.

The performed research expands scientific knowledge about genetic properties of individual genotypes of causative agent of leukemia. Epizootological and genetic screening makes it possible to study characteristics of the distribution of genetic types of BLV in different conditions and geographic territories of the Russian Federation. Studies took into account correlation with the course of the leukemic pathological process. That allows us to predict the possibility of the emergence of novel “aggressive” genetic variants of the BLV, interspecies transmission and timely develop modern methods for diagnosing and monitoring pathogen spread.

Keywords: bovine leukemia virus; Sanger sequencing; phylogenetic analysis; genetic groups; bioinformatic analysis

For citation. Petropavlovskiy M.V., Donnik I.M., Bezborodova N.A., Makutina V.A., Isaeva A.G., Lysov A.V., Romanova A.S. Newly Identified Nucleotide Substitutions in Bovine Leukemia Virus Isolates from the Republic of Bashkortostan. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 202-227. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1020

Введение

Лейкоз является одним из наиболее распространенных хронических инфекционных заболеваний крупного рогатого скота во многих странах мира и служит причиной существенных экономических потерь в отрасли животноводства. Этиологическим фактором болезни служит вирус лейкоза (BLV), относящийся к семейству *Retroviridae*, роду *Deltaretrovirus* [2; 9; 24; 27; 32; 37; 38; 39].

По мере развития патологического процесса, индуцируемого заболеванием, у животных происходит формирование функциональных нарушений иммунной системы [18; 20; 24; 37; 66].

Во многих исследованиях отмечено, что BLV имеет наибольший тропизм к субпопуляциям CD2⁺, CD3⁺, CD4⁺ [3; 6; 55], CD8⁺ [7; 57], γ/δ Т-клеток [30], CD5⁺ и CD5⁺ IgM⁺ В-клеток [34], моноцитам и гранулоцитам периферической крови и лимфоидных тканей крупного рогатого скота. Являясь основными мишенями CD5⁺ IgM⁺ В-клетки [2] больше всего подвержены поликлональной экспансии при прогрессировании стадий патологического состояния у инфицированных лейкозом животных, формируя в терминальных стадиях болезни опухолевые клетки [24; 36; 45; 49].

По мере реализации инфекционного процесса происходят нарушения дифференцировки, созревания и апоптоза иммунных клеток, что приводит к изменению соотношения популяций и субпопуляций клеток периферической крови. У инфицированных вирусом лейкоза животных дисфункция В-клеток приводит к ингибции необходимого уровня протективных иммуноглобулинов, что катализирует патологический процесс. Таким образом патоген избегает иммунного надзора, что позволяет осуществлять ему ускоренную репликацию [20].

Поэтому во многих неблагополучных сельскохозяйственных предприятиях отмечают снижение эффективности проводимой вакцинопрофилактики [20], потерю продуктивности животных, повышение восприимчивости их к инфекционным и незаразным патологиям [16; 17; 27; 37; 38; 39; 42; 54; 55; 61].

Типизация вируса лейкоза (BLV), изучение его генетической структуры, оценка мутаций и более подробное раскрытие биологических свойств патогена имеет важное фундаментальное и прикладное значение. Определенные аминокислотные замены в структурных белках возбудителя лейкоза могут оказывать влияние на его инфекционные свойства [10; 51; 59], а также на идентификацию лабораторно-диагностическими методами [19].

В настоящее время большинство научных работ по изучению генетического разнообразия возбудителя лейкоза посвящено изучению env гена [10; 12; 31; 65] ввиду его биологических функций, основными из которых является кодирование поверхностного гликопротеина SU gp51 и трансмембранного TM gp30 [15; 50]. Данные белки индуцируют экспрессию специфических иммуноглобулинов у инфицированных животных, а также играют ведущую роль в распознавании и связывании с поверхностными клеточными рецепторами, что впоследствии приводит к слиянию клеточ-

ных мембран и оболочки вируса [25; 26; 65]. Выявленные и описанные нуклеотидные замены в различных доменах *env* гена позволили классифицировать BLV на 12 генетических групп [48; 58]. Данные о последовательностях патогена важно учитывать при изучении его биологических свойств, усовершенствовании методов лабораторной диагностики, а также при разработке новейших средств специфической профилактики [24; 27; 32] и контроля за распространением заболевания [23; 44; 52], прогнозировании межвидовой передачи.

Изучение особенностей молекулярно-генетических свойств патогена на территории республики Башкортостан проведено впервые.

Материалы и методы исследования

Научная работа выполнена в Уральском НИВИ – структурном подразделении ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Клинические исследования проведены в сельскохозяйственных организациях республики Башкортостан. Объект исследования – крупный рогатый скот разновозрастных групп местного разведения.

Серологические исследования проводили методом ИФА, с использованием набора IDEXX Leukosis Serum Screening-тест (Франция) в соответствии с прилагаемой инструкцией. Учет результатов исследований методом твердофазного ИФА проводили на фотометре «iMark TM» (Bio-RAD, США).

Молекулярно-генетические исследования проводили по следующей схеме. Выделение ДНК производили из цельной крови с использованием набора «Diatom DNA Prep 200» (ООО «ИзоГен», Москва). Для первичного выявления возбудителя лейкоза у животных в образцах, применяли метод ПЦР, используя коммерческие наборы реагентов «Лейкоз» Ampli Sens (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва), в соответствии с инструкцией.

Для проведения гнездовой (nested) ПЦР применяли мастер микс наборы - БиоМастер HS-Tag ПЦР (2^x), ООО «Биолабмикс» (Новосибирск).

Измерение концентрации ДНК проводили флуориметрическим методом при помощи прибора MaxLife H100 Mod.2 ООО «МВМ Диагностика» (Барнаул). Амплификацию в режиме реального времени с применением CFX96 Touch (Bio-Rad, США).

Фрагмент гена *env* 444 п.н. амплифицировали с помощью гнездовой (nested) ПЦР с использованием следующих праймеров: *env* 5032 tct-gtg-cca-agt-ctc-cca-gat-a, *env* 5608 aac-aac-aac-ctc-tgg-gaa-ggg-t, *env* 5099 ccc-

aca-agg-gcg-gcg-ccg-gtt-t, env 5521 gcg-agg-ccg-ggt-cca-gag-ctg-g [10], синтезированных компанией «Евроген» (Москва). С проведением двух последовательных реакций. со следующими параметрами циклов: 2 минуты при +94°C (1 цикл), 30 секунд при +95°C, 30 секунд при +62°C (внешние праймеры) или 30 секунд +70°C (внутренние праймеры), 60 секунд +72°C (40 циклов), 4 минуты +72°C.

На первом этапе постановки гнездовой ПЦР, электрофоретическая подвижность ампликонов соответствовала длине фрагмента 600 п.н., на втором этапе - 444 п.н.

ПДРФ-анализ (RFLP - Restriction Fragment Length Polymorphism) проводили путём разрезания участка ДНК (444 п.н. env гена) с помощью (со следующими параметрами циклов: BamHI, PvuII - 37°C 2 часа; BclI – 55°C 2 часа. Анализ размеров образующихся фрагментов (рестриктов) проводили путём гель-электрофореза по методике Y. Asfaw et al., 2005 [4].

В качестве контроля амплификации, на всех этапах исследований использовали ДНК, выделенную из референтной линии клеток FLK-BLV. Культивирование клеточной линии FLK BLV (M. Van Der Maaten, J. Miller, A. Boothe, 1974) производили монослойным способом на среде 199, с добавлением 10 % бычьей эмбриональной сыворотки.

Учет реакции осуществляли методом горизонтального электрофореза с применением 1,5% агарозного геля с добавлением бромистого этидия в качестве интеркалирующего красителя для ДНК. В работе применяли оборудование, систему для гель-документирования с УФ источником света E-Gel Imagen Sistem (Termo Fisher Scientific Inc.). Для определения размера ампликонов, после проведения ПЦР исследований использовали маркер «Step100» ООО «Биолабмикс» (Новосибирск) и ДНК-маркеры 1 Kb НПО «СибЭнзим» (Новосибирск).

ДНК-секвенирование таргетного участка гена env gp51, длиной 444 п.н. производили в двух направлениях, использовали генетический анализатор ABI 3500 Genetic Analyzer с набором реагентов ABI PRISM BigDye™ Terminator Cycle 3.1 (Applied Biosystems, США) в соответствии с прилагаемой к ним инструкцией.

Полученные последовательности обрабатывали биоинформатически. Первичные данные редактировали с применением пакета программ SeqScape 3 (Applied Biosystems, США). Множественное выравнивание производили на референсную последовательность (GenBank - FLK – BLV M35242.1.) при помощи программы MEGA X (S. Kumar et al., 2018), используя Muscle алгоритм.

Филогенетический (кластерный) анализ изолятов BLV проводили путем построения дендрограммы методом Neighbour-Joining [53] с использованием алгоритма расчета генетических дистанций Maximum Composite Likelihood и Kimura 2 – параметра модели с использованием дискретного гамма распределения для моделирования скорости эволюции между сайтами в программе MEGA X.

Позиции, содержащие пропуски и вырожденные нуклеотиды, исключались в процессе анализа при попарном сравнении последовательностей (опция Pairwise Deletion).

Для сравнительной оценки генетической изменчивости BLV в выборку к полученным в экспериментальном исследовании фрагментам включали последовательности из опубликованных сведений в базах данных NCBI GenBank, имеющие различное географическое происхождение и классификацию (генетическую группу BLV), а также образцы, полученные нами из регионов Российской Федерации в ходе предыдущих экспериментальных исследований (таблица 1).

Таблица 1.

Перечень последовательностей BLV из NCBI GenBank, включенных в биоинформатическую обработку данных

№	GenBank №, название	Происхождение	Генотип	Авторы
1	EU266063.1 Tehran	Иран	1	Hemmatzadehh, F. 2007
2	LC080654.1 lima40	Перу	2	Polat, M. et al, 2016
3	KP201465.1 GBGS-12	Ю. Корея	3	Lee, E. et al, 2015
4	M35242.1 FLK – BLV	США	1	Mamoun, R. et al, 1990
5	JQ686091.1 MC45 Moscow	Московская область	4	Lomakina, A. et al, 2014
6	HM563773.2 1. Russia	Краснодарский край		Rola-Łuszczak, M. et al., 2013
7	HM563772.2 2. Russia			
8	HM563770.2 4. Russia			
9	HM563771.2 5. Russia			
10	2K	Курганская область		Pluta A., Kuzmak, J. et al., 2011
11	HM563782.2 3K	Курганская область		
12	HM563779.2 4Z	Челябинская область, Каслинский р-н		
13	HM563780.2 5Z	Тюменская область, Ялуторовский р-н		
14	HM563783.2 6T	Тюменская область, Ялуторовский р-н		Rola-Łuszczak, M. et al., 2013
15	EU262583.1 237_PL	Польша	4A	
16	HM563778.2 70_PL		4B	

17	KF801459.2 8MD	Молдавия	4C	Pluta, A. et al, 2017
18	JF720354.2 1C	Челябинская область Коелгинский р-н		Rola-Łuszczak, M. et al., 2013
19	JF720355.2 7C			
20	JF720356.2 8C			
21	JF720357.2 9C			
22	JF720358.2 10C			
23	EF065643.1 CRLV	Коста-Рика	5	Zhao, X. et al, 2007
24	FJ808582.1 PL-1238	Аргентина	6	Rodriguez, S. et al, 2009
25	JN695882.1 4V	Вологодская область	7A	Lomakina, A. et al, 2014
26	JQ686119.1 NK13	Новосибирск	7	
27	HM563753.2 4K	Курганская область	7A	Rola-Łuszczak, M. et al., 2013
28	HM563751.2 3. Russia	Краснодарский край		
29	HM563750.2 2 2 Russia	Свердловская об- ласть		
30	HM563748 3 3 Russia			
31	HM563752.2 4 Russia			
32	HM563749 5 Russia			
33	HM563756.2 3T	Тюменская область, Ишимский р-н		
34	HM563757.2 4T	Тюменская область, Заводоуковский р-н		
35	HM563754.2 5T	Тюменская область, Ялуторовский р-н		
36	JQ353633.1 1S-c6			
37	JF720350.2 2S			
38	JF7203.2 3S			
39	JF720352.2 4S			
40	JF720353.2 5S			
41	HM563760.2 3-3 UA	Украина	7B	Rola-Łuszczak, M et al., 2013
42	HM563763.2 160_PL	Польша	7C	
43	KF801457.1 13MD	Молдавия	7D	Pluta, A. et al, 2017
44	JQ675760.1 MKC3511	Московская область	8	Lomakina, A et al, 2014
45	LC080668.1 por28	Боливия	9	Polat, M. et al, 2016
46	KU233543.1 Ns80-D3	Таиланд	10	Lee, E. et al., 2016
47	OK945975.1 9S_BKO	Казахстан Восточно-Казахстанская обл.	12	Sultanov, A. et al., 2022

48	OK283585.1 1CH	Тюменская область, Тюменский р-н	4	Petropavlovskiy, M. et al., 2022
49	OK283599.1 2CH			
50	OK283602.1 3CH			
51	OK283604.1 4CH			
52	OK283606.1 5CH			
53	OK283608.1 6CH			
54	OK283610.1 7CH			
55	OK283612.1 8CH		7	
56	OK283614.1 9CH		4	
57	OK283570.1 10CH			
58	OK283572.1 12CH			
59	OK283574.1 13CH			
60	OK283576.1 15CH			
61	OK283580.1 17CH			
62	OK283582.1 18CH			
63	OK283584.1 19CH			
64	OK283588.1 21CH			
65	OK283591.1 23CH			
66	OK283593.1 24CH			
67	OK283595.1 25CH			
68	OK283596.1 26CH			
69	OK283597.1 27CH			
70	OK283598.1 28CH			
71	OK283601.1 30CH			
72	OK283586.1 1F	Тюменская область, Тавдинский район	4	
73	OK283600.1 2F			
74	OK283603.1 3F			
75	OK283605.1 4F			
76	OK283607.1 5F			
77	OK283609.1 6F			
78	OK283611.1 7F			
79	OK283613.1 8F			
80	OK283615.1 9F			
81	OK283571.1 10F			
82	OK283573.1 12F			
83	OK283575.1 13F			
84	OK283577.1 14F			
85	OK283578.1 15F			
86	OK283579.1 16F			
87	OK283581.1 17F			

88	OK283583.1 18F		
89	OK283587.1 20F		
90	OK283589.1 21F		
91	OK283590.1 22F		
92	OK283592.1 23F		
93	OK283594.1 24F		

Для обработки полученных данных использовали программу Microsoft Excel, входящую в пакет программ Microsoft Office Pro 19.

Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации поставленных задач на первом этапе нами был отобран биологический материал от крупного рогатого скота от серопозитивных (РИД (+)) разновозрастных групп животных из неблагополучных сельскохозяйственных предприятий республики Башкортостан (n= 34).

При первичной серологической (ИФА) диагностике групп животных, процент ложноотрицательных результатов составил – 2,9%, при обследовании методом ПЦР (коммерческая тест система) – 8,6%, что диктовало необходимость детального изучения генетической структуры env гена возбудителя лейкоза выделенных образцов.

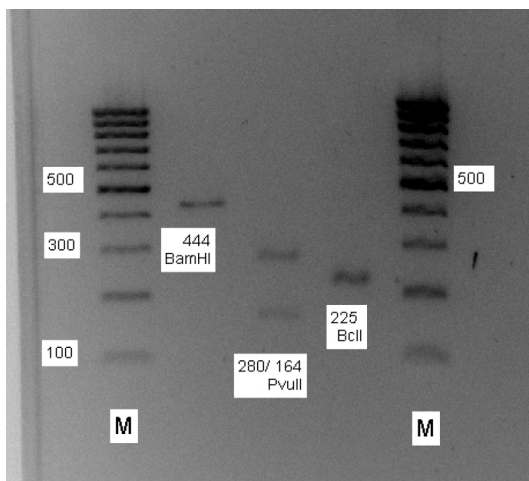


Рис. 1. Электрофореграмма продуктов рестрикции: М - маркер с шагом 100 п.н.; длина сайтов рестрикции фрагмента гена env BLV (444 п.н.) при расщеплении рестриктазами - BamHI- 444 п.н., PvuII – 280, 164 п.н., BclI – 219 (Донник И.М., Петропавловский М.В., Безбородова Н.А.).

В ходе проведения молекулярно-генетических исследований биоматериалов от крупного рогатого скота, были получены специфические ДНК участки ($n=34$) гена *env* (gp51) BLV, длиной 444 п.н.

Методом ПЦР-ПДРФ геноидентификации данных фрагментов генома изолятов BLV, согласно алгоритму, разработанному Y Asfaw et al., 2005 [4], для большинства последовательностей установлен генотип вируса лейкоза «бельгийский» ($n=33$), для одной последовательности – нетипируемый (Рисунок 1).

В рамках дальнейшего изучения молекулярно-генетических характеристик возбудителя лейкоза подобраны образцы ДНК ($n = 21$), для которых проведено ДНК - секвенирование.

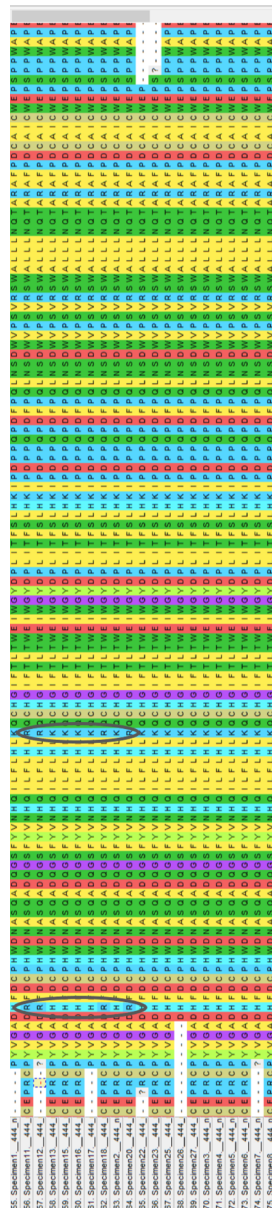
Биоинформатической обработкой данных установлено, что большинство изучаемых последовательностей из республики Башкортостан ($n=21$), (образцы №1,2,3,4,5,6,7,8,13,15,16,17,22,23,25,26,27) расположены в пределах 4 генетической группы, вместе с изолятами из Тюменской, Челябинской, Курганской, Московской областей, Краснодарского края, Молдавии, Польши. Однако, другая часть образцов (№ 11,12,18,20) расположена несколько обособленно от генетической группы 4, что предполагает их возможное отнесение к новому генотипу, для чего требуются дополнительные исследования (Рисунок 2).

При детальном изучении аминокислотных замен в структуре гликопротеина gp51 исследуемых образцов установлено (Рисунок 3), что последовательности генетической группы 4 имели генотип ассоциированные замены гистидина на аланин в 121 (aaRH) позиции в области эпитопа G. Интересно, что другая группа изолятов (11, 12, 28, 20) данных изменений не имела, однако в 150 (aaKR) позиции установлена замена аминокислоты лизина на аргинин в области нейтрализующего домена 2 (ND2), CD 8+ Т-клеточного эпитопа (N11, N12), области Zn-связывания (таблица 2). Подобный набор изменений в образцах из Российской Федерации зафиксирован впервые. Высока вероятность классификации этих последовательностей в новый генотип или субгенотип при дополнительных исследованиях.

Таблица 2.

Выявленные в образцах из республики Башкортостан аминокислотные замены в структуре гликопротеина SU gp 51

Номер образца	Позиции амк. замен	Область <i>env</i> gp51	Генотип BLV (RFLP)	Ген. группа BLV
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 13, 15, 16, 17, 22, 23, 25, 26, 27	121 (aaR-H)	эпитоп G	бельгийский (B)	4
11, 12, 28, 20	150 (aaK-R)	Нейтрализующий домен 2 (ND2), CD 8+ Т-клеточный эпитоп (N11, N12), область Zn-связывания		



Выводы

Впервые на территории республики Башкортостан проведено генотипирование вируса лейкоза крупного рогатого скота с установлением генетической группы патогена методами ПЦР-ПДРФ и ДНК-секвенирования. Биоинформатическая обработка образцов из республики Башкортостан проведена в сравнении с выделенными на территории Российской Федерации последовательностями вируса лейкоза, а также с общеизвестными опубликованными данными генетических групп (12) BLV из библиотеки NCBI (таблица 1). Таким образом филогенетическое дерево выстроено на основе 117 нуклеотидных последовательностей, представляющих из себя фрагменты гена *env* BLV (общей длиной 445 п.н.).

В результате проведенного кластерного анализа, большинство последовательностей из республики Башкортостан отнесено к генетической группе BLV 4 (бельгийский генотип по ПДРФ-реакции).

Определение всех сиквенсов в группы и субгруппы производили согласно исследованию, проведенному A. Pluta et al. [47]. Мы распределили выделенные на территории Российской Федерации последовательности гена *env* на генотипы (4,7,8) субгенотипы (4A-E, 7A-D). В результате филогенетической оценки образцов из республики Башкортостан, одна часть выделенных нами последовательностей из текущего исследования была классифицирована в субгенотипы 4A, 4D, однако другая (19% сиквенсов) имела расположение обособленно от изолятов всех известных генетических групп патогена. Это предполагает возможную их классификацию к новому генотипу, чего требует дополнительных исследований.

Характерной особенностью распределения изолятов вируса лейкоза на территории Российской Федерации является то, что мы чаще всего в настоящее время регистрируем 4 генетический тип BLV во многих регионах. Ранее, на примере Тюменской области, мы уже описывали замещение 7 генетической группы вируса лейкоза на 4 группу [43; 44].

Согласно сведениям, предоставленным государственной ветеринарной службой Тюменской области, основной импорт в регион поголовья крупного рогатого скота производили из стран Европейского союза и США в 2000-е годы. Предполагаем, что вирус лейкоза генетической группы 4 именно в этот период имел широкое распространение. На это указывает также и то, что на территории Свердловской области в 100% случаев регистрировали генотип вируса лейкоза 7, где крайний завоз племенного крупного рогатого скота голштинско-фризской породы из ФРГ, ГДР, Польши и Дании датируется 80-ми годами [1].

Возможно, генотип BLV 4 отличается более высокой степенью иммуногенности, чем другие генетические варианты (7 и 8) патогена, персистирующие на территории Российской Федерации [43-45; 51].

Биоинформатической обработкой мы определили однонуклеотидные SNP генотип-специфические аминокислотные полиморфизмы в структуре env гена исследуемых изолятов BLV, приводящие к аминокислотным изменениям в структуре SU gp51 гликопротеина оболочки, основные из которых имели расположение в его N-концевой части.

Данный структурный белок имеет ключевое значение в инфекционности и иммуногенности вируса лейкоза, взаимодействуя с трансмембранными рецепторами клеток восприимчивого организма, принимает участие в интеграции чужеродного генетического материала в целевые клетки-мишени, индуцирует экспрессию специфических иммуноглобулинов. Помимо гуморального звена иммунитета, SU gp51 инициирует Т-клеточный иммунный ответ (в структуре SU имеются Т-хелперные CD4⁺ и цитотоксические (CTL) CD8⁺ эпитопы Т-лимфоцитов) [6; 7; 11-13; 46; 55; 65].

Наиболее выраженным генотип-ассоциированным полиморфизмом для 4 группы BLV определена замена гистидина на аланин в 121(aaR-H) позиции [46; 47; 51; 59]. Данное аминокислотное замещение было выявлено как в образцах 4 генетической группы, изучаемых ранее, так и при современном исследовании, и имело расположение в конформационном эпитопе G gp51 (SU). Интересно, что другая группа изолятов (11, 12, 28, 20) данных изменений не имела, однако в 150 (aaKR) позиции установлена замена аминокислоты лизина на аргинин в области нейтрализующего домена 2 (ND2), CD 8⁺ Т-клеточного эпитопа (N11, N12) в области Zn-связывания.

Иммунные В-клетки макроорганизма, согласно их мембраносвязанным рецепторам, участвуют в распознавании чужеродных антигенных и в ответ вырабатывают специфичные иммуноглобулины, которые конформационно-комплементарны с ними в определенных сайтах соответствия [12]. Для эпитопов env gp51 (SU) региона возбудителя лейкоза важными в иммуногенности являются конформационные антигенные детерминанты F, G, H [35; 59; 65]. Аминокислотные изменения в данных регионах (для образцов из исследования это эпитоп G) влияют на конформацию gp51 (SU) гликопротеина, что может приводить к потере распознавания связывающими антителами.

Полиморфизм в позиции 150 (aaK-R) цинк-связывающего региона gp51 (SU) в области нейтрализующего домена 2 (ND2) и CD 8⁺ Т-клеточно-

го эпитопа (N 11, 12) не был описан ранее для последовательностей из Российской Федерации [14; 48; 51]. Образцы с данными аминокислотными изменениями не имели генотип – ассоциированных (для генетической группы 4) замен в 121(aaR-H) позиции, поэтому можно их кластеризовать к новому генетическому типу или подтипу BLV.

Нейтрализующий домен 2 (ND2) имеет поверхностную локализацию так как гликопротеин gp51 (SU) имеет третичную пептидную структуру [50]. Возникающие в этом регионе полиморфизмы оказывают влияние на общий заряд спирали белка gp51 (SU), снижая его иммунореактивность [35; 65]. Ранее уже было показано участие цинк-связывающей области нейтрализующего домена 2 (ND2) в слиянии вирусной оболочки, что коррелирует со степенью инфекционности BLV [12], поэтому так важно анализировать полиморфизмы этого участка в разных географических локациях. Выявленные в регионах Российской Федерации генотип-специфичные изменения могли оказать влияние на усиление патогенных свойств возбудителя, что могло послужить одним из факторов широкого распространения вируса лейкоза генетического типа 4.

Предполагаем, что выявленные при исследовании образцов из республики Башкортостан мутации в положениях 121(aaR-H) и 150 (aaK-R) могут снижать распознавание антигенных детерминант gp51 (SU) специфическими иммуноглобулинами макроорганизма [51].

Также следует учитывать, что при первичной серологической диагностике животных из данной выборки (Республика Башкортостан) процент ложноотрицательных результатов составлял – 2,9%, при обследовании методом ПЦР (коммерческая тест система) – 8,6%. Возможно, что замены в структуре поверхностного гликопротеина могли оказывать влияние на серологическую [19] и молекулярно-генетическую диагностику вируса лейкоза крупного рогатого скота.

Ряд нуклеотидных изменений в геноме BLV носит единичный характер и, по-видимому, является частью стратегии возбудителя, связанной с уклонением его от иммунного надзора восприимчивого организма [31; 33; 38; 64].

Выполненные исследования расширяют научные знания о генетических свойствах отдельных генотипов возбудителя лейкоза, персистирующих на отдельных географических территориях. Эпизоотологический и молекулярно-генетический мониторинг позволяет также изучать особенности распространения генетических типов возбудителя лейкоза в различных условиях и на разных административных территориях Российской Федерации в корреляции с характером течения лейкозного патологиче-

ского процесса среди популяций животных. Полученные в ходе научных исследований результаты открывают возможности для прогнозирования возникновения новых «агрессивных» генетических вариантов возбудителя лейкоза, межвидовой передачи и своевременной разработки современных методологических подходов в диагностике (серологической и молекулярно-генетической) и контроле за их распространением.

Заключение комитета по этике. Проведение исследований было одобрено Комитетом по институциональной этике ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (протокол № 36 от 14 марта 2024 г.).

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о финансировании. Исследование проведено в рамках государственного задания №0532-2021-0007.

Список литературы / References

1. Донник И.М. Биологические особенности и устойчивость к лейкозу крупного рогатого скота в различных экологических условиях Урала: Автореф. дис. д-ра биол. наук: 06.02.01, 16.00.03. Новосибирск, 1997. 48 с. (Donnik I.M. Biological features and resistance to bovine leukemia in various environmental conditions of the Urals. Novosibirsk, 1997, 48 p.).
2. Aida Y. Mechanisms of pathogenesis induced by bovine leukemia virus as a model for human T-cell leukemia virus / Y. Aida, H. Murakami, M. Takahashi et al. // Front Microbiol. 2013. Vol. 4. P. 328. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00328>
3. Amills M. Reduced IL-2 and IL-4 mRNA expression in CD4+ T cells from bovine leukemia virus-infected cows with persistent lymphocytosis / M. Amills, V. Ramiya, J. Norimine et al. // Virology. 2002. Vol. 304. P. 1-9. <https://doi.org/10.1006/viro.2002.1651>
4. Asfaw Y. Distribution and superinfection of bovine leukemia virus genotypes in Japan / Y. Asfaw, S. Tsuduku, M. Konishi et al. // Arch Virol. 2005. Vol. 150. P. 493-505. <https://doi.org/10.1007/s00705-004-0433-5>
5. Bai L. Identification and characterization of common B cell epitope in bovine leukemia virus via high-throughput peptide screening system in infected cattle / L. Bai, H. Otsuki, H. Sato et al. // Retrovirology. 2015. Vol. 12. P. 106. <https://doi.org/10.1186/s12977-015-0233-x>

6. Bai L. Mapping of CD4+ T-cell epitopes in bovine leukemia virus from five cattle with differential susceptibilities to bovine leukemia virus disease progression / L. Bai, Sn. Takeshima, M. Sato et al. // *Virol. J.* 2019. Vol. 16. P. 157. <https://doi.org/10.1186/s12985-019-1259-9>
7. Bai L. Novel CD8+ cytotoxic T cell epitopes in bovine leukemia virus with cattle / L. Bai, S. Takeshima, E. Isogai et al. // *Vaccine.* 2015. Vol. 33. P. 7194-7202. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.10.128>
8. Bao Y. The immune potential and immunopathology of cytokine-producing B cell subsets: a comprehensive review / Y. Bao, X. Cao // *J. Autoimmun.* 2014. Vol. 55. P. 10-23. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2014.04.001>
9. Bartlett P.C. Current developments in the epidemiology and control of enzootic bovine leukosis as caused by bovine leukemia virus / P.C. Bartlett, V.J. Ruggiero, B. Norby et al. // *Pathogens.* 2020. Vol. 9. №12. P. 1-13. <https://doi.org/10.3390/pathogens9121058>
10. Beier D. Identification of different BLV provirus isolates by PCR RFLPA and DNA sequencing / D. Beier, P. Blankenstein, O. Marquard et al. 2001. Vol. 114. P. 252-256.
11. Callebaut I. Mapping of B-neutralizing and T-helper cell epitopes on the bovine leukemia virus external glycoprotein gp51 / I. Callebaut, V. Voneche, A. Mager et al. // *J. Virol.* 1993. Vol. 67. P. 5321-5327. <https://doi.org/10.1128/jvi.67.9.5321-5327.1993>
12. De Brogniez A. Determinants of the bovine leukemia virus envelope glycoproteins involved in infectivity, replication and pathogenesis / A. De Brogniez, J. Mast, L. Willems et al. // *Viruses.* 2016. Vol. 8. P. 88. <https://doi.org/10.3390/v8040088>
13. De Brogniez A. Mutation of a Single Envelope N-Linked Glycosylation Site Enhances the Pathogenicity of Bovine Leukemia Virus / A. De Brogniez, A.B. Bouzar, J.R. Jacques et al. // *J. Virology.* 2015. №89 (17). P. 8945-8956. <https://doi.org/10.1128/JVI.00261-15>
14. Donnik I.M., Krivonogova A.S., Petropavlovsky M.V., Shkuratova I.A., Rola-Łuszczak M., Kuzmak J. Revisiting the issue of the molecular-genetic structure of the causative agent of the bovine leukemia virus in the Russian Federation // *Indian Journal of Science and Technology.* 2016. Vol. 9. № 42. P. 104253. <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i42/104253>
15. Dube S. The complete genomic sequence of an in vivo low replicating BLV strain / S. Dube, L. Abbott, D.K. Dube // *Virol. J.* 2009. Vol. 6. P. 120. <https://doi.org/10.1186/1743-422x-6-120>
16. Emanuelson U. Relationships between herd bovine leukemia-virus infection status and reproduction, disease incidence, and productivity in swedish dairy

- herds. Prev / U. Emanuelson, K. Scherling, H. Pettersson // Vet. Med. 1992. Vol. 12. P. 121-131. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(92\)90075-Q](https://doi.org/10.1016/0167-5877(92)90075-Q)
17. Erskine R.J. Bovine leukemia virus infection in dairy cattle: effect on serological response to immunization against J5 Escherichia coli bacterin / R.J. Erskine, P.C. Bartlett, K.M. Sabo // Vet. Med. Int. 2011. <https://doi.org/10.4061/2011/915747>
18. Erskine R.J. Effect of infection with bovine leukosis virus on lymphocyte proliferation and apoptosis in dairy cattle / R.J. Erskine, C.M. Corl, J.C. Gandy // Am. J. Vet. Res. 2011. Vol. 72. P. 1059-1064. <https://doi.org/10.2460/ajvr.72.8.1059>
19. Fechner H. Provirus variants of the bovine leukemia virus and their relation to the serological status of naturally infected cattle // H. Fechner, P. Blankenstein, A.C. Looman et al. // Virology. 1997. Vol. 237. P. 261-269. <https://doi.org/10.1006/viro.1997.8784>
20. Frie M.C. Bovine leukemia virus: a major silent threat to proper immune responses in cattle / M.C. Frie, P.M. Coussens // Vet Immunol Immunopathol. 2015. № 163(3-4). P. 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2014.11.014>
21. Gatot J.S. Bovine Leukemia Virus SU Protein Interacts with Zinc, and Mutations within Two Interacting Regions Differently Affect Viral Fusion and Infectivity In Vivo / J.S. Gatot, I. Callebaut, C. Van Lint et al. // J. Virol. 2002. Vol. 76. P. 7956-7967. <https://doi.org/10.1128/JVI.76.16.7956-7967.2002>
22. Gatot J.S. Conservative mutations in the immunosuppressive region of the bovine leukemia virus transmembrane protein affect fusion but not infectivity in vivo / J.S. Gatot, I. Callebaut, J.P. Mornon et al. // J. Biol. Chem. 1998. Vol. 273. P. 12870-12880. <https://doi.org/10.1074/jbc.273.21.12870>
23. Gulyukin M.I. Genetic polymorphism of the bovine leukemia virus in the Russian federation / M.I. Gulyukin, N.G. Kozyreva, L.A. Ivanova et al. // Russ. Agricult. Sci. 2016. Vol. 42. P. 472-475. <https://doi.org/10.3103/S1068367416060112>
24. Gutiérrez G. Vaccination against δ -retroviruses: The bovine leukemia virus paradigm / G. Gutiérrez, S.M. Rodríguez, A. De Brogniez et al. // Viruses. 2014. Vol. 6. P. 2416-2417. <https://doi.org/10.3390/v6062416>
25. Johnston E.R. Envelope Proteins Containing Single Amino Acid Substitutions Support a Structural Model of the Receptor-Binding Domain of Bovine Leukemia Virus Surface Protein / E.R. Johnston, L.M. Albritton, K. Radke // J. Virol. 2002. № 76. P. 10861-10872. <https://doi.org/10.1128/JVI.76.21.10861-10872.2002>
26. Johnston E.R. The SU and TM envelope protein subunits of bovine leukemia virus are linked by disulfide bonds, both in cells and in virions / E.R. Johnston, K.J. Radke // Virol. 2000. № 74(6). P. 2930-2935. <https://doi.org/10.1128/JVI.74.6.2930-2935.2000>

27. Juliarena M.A. Bovine leukemia virus: Current perspectives / M.A. Juliarena, C.N. Barrios, C.M. Lützelshwab et al. // *Virus Adapt Treat.* 2017. № 9. P. 13-26. <https://doi.org/10.2147/VAAT.S113947>
28. LaDronka R.M. Prevalence of Bovine Leukemia Virus Antibodies in US Dairy Cattle / R.M. LaDronka, S. Ainsworth, M.J. Wilkins et al. // *Vet. Med. Int.* 2018. № 8. <https://doi.org/10.1155/2018/5831278>
29. Lavanya M. Cell surface expression of the bovine leukemia virus-binding receptor on B and T lymphocytes is induced by receptor engagement / M. Lavanya, S. Kinet, A. Montel-Hagen et al. // *J. Immunol.* 2008. Vol. 181. P. 891-898. <https://doi.org/10.4049/jimmunol.181.2.891>
30. Lundberg P. Gamma delta + T-lymphocyte cytotoxicity against envelope-expressing target cells is unique to the alymphocytic state of bovine leukemia virus infection in the natural host / P. Lundberg, G.A. Splitter // *J. Virol.* 2000. Vol. 74. P. 8299-8306. <https://doi.org/10.1128/JVI.74.18.8299-8306.2000>
31. Mamoun R.Z. Sequence variability of bovine leukemia virus env gene and its relevance to the structure and antigenicity of the glycoproteins / R.Z. Mamoun, M. Morisson, N. Rebeyrotte et al. // *J. Virol.* 1990. Vol. 64. P. 4180-4188. <https://doi.org/10.1128/jvi.64.9.4180-4188.1990>
32. Marawan M.A. Bovine Leukaemia Virus: Current Epidemiological Circumstance and Future Prospective / M.A. Marawan, A. Alouffi, S. El Tokhy // *Viruses.* 2021. № 13. P. 2167. <https://doi.org/10.3390/v13112167>
33. Matsumura K. Molecular epidemiology of bovine leukemia virus associated with enzootic bovine leukosis in Japan / K. Matsumura, E. Inoue, Y. Osawa et al. // *Virus Res.* 2011. Vol. 155. P. 343-348. <https://doi.org/10.1016/j.virus-res.2010.11.005>
34. Meirom R. Bovine leukemia virus-gp51 antigen expression is associated with CD5 and IgM markers on infected lymphocytes / R. Meirom, S. Moss, J. Brenner // *Vet. Immunol. Immunopathol.* 1997. Vol. 59. P. 113-119. [https://doi.org/10.1016/S0165-2427\(97\)00056-1](https://doi.org/10.1016/S0165-2427(97)00056-1)
35. Mirsky M.L. The prevalence of proviral bovine leukemia virus in peripheral blood mononuclear cells at two subclinical stages of infection / M.L. Mirsky, C.A. Olmstead, Y. Da et al. // *J. Virol.* 1996. Vol. 70. P. 2178-2183. <https://doi.org/10.1128/jvi.70.4.2178-2183.1996>
36. Moratorio G. Adetailed molecular analysis of complete bovine leukemia virus genomes isolated from B-cell lymphosarcomas / G. Moratorio, S. Fischer, S. Bianchi et al. // *Vet. Res.* 2013. Vol. 44. P. 19. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-19>
37. Nakada S. Estimation of economic loss by carcass weight reduction of Japanese dairy cows due to infection with bovine leukemia virus / S. Nakada, Y.

- Fujimoto, J. Kohara et al. // *Prev Vet Med.* 2022. № 198. P. 105528. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105528>
38. Nekouei O. Lifetime effects of infection with bovine leukemia virus on longevity and milk production of dairy cows / O. Nekouei, J. VanLeeuwen, H. Stryhn et al. // *Prev Vet Med.* 2016. Vol. 133. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.09.011>
39. Ott S.L. Association between bovine-leukosis virus seroprevalence and herd-level productivity on US dairy farms / S.L. Ott, R. Johnson, S.J. Wells // *Prev Vet Med.* 2003. Vol. 61. P. 249-262. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2003.08.003>
40. Panei C. J. Estimation of bovine leukemia virus (BLV) proviral load harbored by lymphocyte subpopulations in BLV-infected cattle at the subclinical stage of enzootic bovine leucosis using BLV-CoCoMo-qPCR // C.J. Panei, S.N. Takeshima, T. Omori et al. 2013. № 9 (95). <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-95>
41. Paul P.S. Evidence for the replication of bovine leukemia virus in B lymphocytes / P.S. Paul, K.A. Pomeroy, D.W. Johnson et al. // *American Journal of Veterinary Research.* 1977. Vol. 38. P. 873-876. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1977.38.06.873>
42. Petropavlovskiy M. Comparative evaluation of amino acid composition of colostrum from BLV-infected and seronegative cows / M. Petropavlovskiy, A. Poryvaeva, A. Lysov, N. Dudkina, L. Khalturina // *Reproduction in domestic animals.* 2021. P. 86.
43. Petropavlovskiy M.V. Detection and immunobiological characterizations of bovine leukemia virus in Russian Federation territory in dependence on geographical variations / M.V. Petropavlovskiy, I.M. Donnik, N.A. Bezborodova, A.S. Krivonogova // *Journal of Integrated OMICS.* 2019. Vol. 9. № 1. P. 23-27. <https://doi.org/10.5584/jiomics.v9i1.255>
44. Petropavlovskiy M.V. Epizootiological and genetic characterization of the bovine leukemia virus in the Russian Federation-evaluation of bovine leukemia virus in Russia / M. V. Petropavlovskiy, I. Donnik, N. Bezborodova // *Veterinarski Arhiv.* 2019. Vol. 89. № 6. P. 785-798. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.0555>
45. Petropavlovskiy M.V. Immuno-biological evaluation of individual genetic variants of bovine leukemia virus in the conditions of the Ural region / M. V. Petropavlovsky, N. A. Vereshchak, N. A. Bezborodova, O. Yu. Oparina // *Digital agriculture - development strategy: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.* Ekaterinburg, 2019. P. 372-377. <https://doi.org/10.2991/ispc-19.2019.84>
46. Pluta A. Computational analysis of envelope glycoproteins from diverse geographical isolates of bovine leukemia virus identifies highly conserved peptide

- motifs / A. Pluta, L.M. Albritton, M. Rola-Luszczak et al. // *Retrovirology*. 2018. Vol. 15. <https://doi.org/10.1186/s12977-017-0383-0>
47. Pluta A. Molecular characterization of bovine leukemia virus from Moldovan dairy cattle / A. Pluta, M. Rola-Luszczak, P. Kubis et al. // *J. Arch. Virol.* 2017. Vol. 162. P. 1563-1576. <https://doi.org/10.1007/s00705-017-3241-4>
48. Pluta A Rola-Luszczak M, Hoffmann FG, Donnik I, Petropavlovskiy M, Kużmak J. Genetic Variability of Bovine Leukemia Virus: Evidence of Dual Infection, Recombination and Quasi-Species // *Pathogens*. 2024. Vol. 13(2), 178. <https://doi.org/10.3390/pathogens13020178>
49. Polat M. Epidemiology and genetic diversity of bovine leukemia virus / M. Polat, S.N. Takeshima, Y. Aida // *Virol J.* 2017. Vol. 14 (1). P. 209. <https://doi.org/10.1186/s12985-017-0876-4>
50. Rice N.R. The nucleotide sequence of the env gene and the post-env region of bovine leukemia virus / N.R. Rice, R.M. Stephens, D. Couez et al. // *Virology*. 1984. № 138. P. 82-93. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(84\)90149-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(84)90149-1)
51. Rola-Luszczak M. The Molecular Characterization of Bovine Leukaemia Virus Isolates from Eastern Europe and Siberia and Its Impact on Phylogeny / M. Rola-Luszczak, A. Pluta, M. Olech, I. Donnik, M. Petropavlovskiy // *PLoS One*. 2013. Vol. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0058705>
52. Ruggiero V.J. Controlling bovine leukemia virus in dairy herds by identifying and removing cows with the highest proviral load and lymphocyte counts / V.J. Ruggiero, B. Norby, O.J. Benitez et al. // *J Dairy Sci.* 2019. № 102 (10). P. 9165-9175. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16186>
53. Saitou N. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees / N. Saitou, M. Nei // *Mol. Biol. Evol.* 1987. Vol. 4. P. 406-425.
54. Sandev N. Influence of enzootic bovine leucosis virus upon the incidence of subclinical mastitis in cows at a different stage of infection / N. Sandev, M. Koleva, R. Binev, D. Ilieva // *Veterinarski Archiv*. 2004. Vol. 76. P. 411-416.
55. Stone D.M. CD4 T lymphocyte activation in BLV-induced persistent B lymphocytosis in cattle / D.M. Stone, L.K. Norton, J.C. Chambers // *Clin. Immunol.* 2000. Vol. 96. P. 280-288. <https://doi.org/10.1006/clim.2000.4900>
56. Stone D.M. Up-regulation of IL-2 receptor alpha and MHC class II expression on lymphocyte subpopulations from bovine leukemia virus infected lymphocytotic cows / D.M. Stone, A.J. Hof, W.C. Davis // *Vet. Immunol. Immunopathol.* 1995. Vol. 48. P. 65-76. [https://doi.org/10.1016/0165-2427\(95\)05423-4](https://doi.org/10.1016/0165-2427(95)05423-4)
57. Stott M.L. Integrated bovine leukosis proviral DNA in T helper and T cytotoxic/suppressor lymphocytes / M.L. Stott, M.C. Thurmond, S.J. Dunn // *J. Gen. Virol.* 1991. Vol. 72. P. 307-315. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-72-2-307>

58. Sultanov A., Rola-Luszczak M., Mamanova S., Rylo A., Osinski Z., Saduakassova M.A., Bashenova E., Kuzmak J. Molecular Characterization of Bovine Leukemia Virus with the Evidence of a New Genotype Circulating in Cattle from Kazakhstan // *Pathogens*. 2022. Vol. 11, 180. <https://doi.org/10.3390/pathogens11020180>
59. Suzuki A. Phylogenetic Analysis of South African Bovine Leukaemia Virus (BLV) Isolates / A. Suzuki et al. // *Viruses*. 2020. № 12 (8). P. 898. <https://doi.org/10.3390/v12080898>
60. Suzuki S. Expression analysis of Foxp3 in T cells from bovine leukemia virus infected cattle / S. Suzuki, S. Konnai, T. Okagawa // *Microbiol. Immunol.* 2013. Vol. 57. P. 600-604. <https://doi.org/10.1111/1348-0421.12073>
61. Thompson-Crispi K.A. Incidence rates of clinical mastitis among Canadian Holsteins classified as high, average, or low immune responders / K.A. Thompson-Crispi, F. Miglior, B.A. Mallard // *Clin. Vaccine Immunol.* 2013. Vol. 20. P. 106-112. <https://doi.org/10.1128/CVI.00494-12>
62. Trueblood E.S. B-lymphocyte proliferation during bovine leukemia virus-induced persistent lymphocytosis is enhanced by T-lymphocyte - derived interleukin-2 / E.S. Trueblood, W.C. Brown, G.H. Palmer // *J. Virol.* 1998. Vol. 72. P. 3169-3177. <https://doi.org/10.1128/JVI.72.4.3169-3177.1998>
63. Yu C. Genotyping bovine leukemia virus in dairy cattle of Heilongjiang, north-eastern China / C. Yu, X. Wang, Y. Zhou // *BMC Vet. Res.* 2019. Vol. 15. P. 179. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1863-3>
64. Zavorotinskaya T. Suppression of a fusion defect by second site mutations in the ecotropic murine leukemia virus surface protein / T. Zavorotinskaya, L.M. Albritton // *J Virol.* 1999. Vol. 73. P. 5034-5042. <https://doi.org/10.1128/JVI.73.6.5034-5042.1999>
65. Zhao X. Natural genetic variations in bovine leukemia virus envelope gene: possible effects of selection and escape / X. Zhao, G.C. Buehring // *Virology*. 2007. Vol. 366. P. 150-165. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2007.03.058>

ВКЛАД АВТОРОВ

Петропавловский М.В.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи, обработка и анализ данных.

Донник И.М.: разработка концепции научной работы, составление черновика рукописи.

Безбородова Н.А.: составление черновика рукописи, проведение лабораторных исследований.

Макутина В.А.: проведение лабораторных исследований.

Исаева А.Г.: обработка и анализ данных.

Лысов А.В.: проведение лабораторных исследований.

Романова А.С.: обработка и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Maxim V. Petropavlovskiy: study conception and design, drafting of the manuscript, data processing and analysis.

Irina M. Donnik: study conception and design, drafting of the manuscript.

Natalia A. Bezborodova: drafting of the manuscript, conducting laboratory tests.

Valeria A. Makutina: conducting laboratory tests.

Albina G. Isaeva: data processing and analysis.

Alexey V. Lysov: conducting laboratory tests.

Alisa S. Romanova: data processing and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Петропавловский Максим Валерьевич, д.в.н., ведущий научный сотрудник отдела мониторинга и прогнозирования инфекционных болезней *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)*
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
petropavlovsky_m@mail.ru

Донник Ирина Михайловна, д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела мониторинга и прогнозирования инфекционных болезней *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)*
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
ktqrjp7@yandex.ru

Безбородова Наталья Александровна, к.в.н., старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных *Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский*

*центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ
УрФАНИЦ УрО РАН)
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
n-bezborodova@mail.ru*

Макутина Валерия Андреевна, к.б.н., старший научный сотрудник отдела геномных исследований и селекции животных
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
makutina_v@rambler.ru*

Исаева Альбина Геннадьевна, д.б.н., доцент, ведущий научный сотрудник отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация
isaeva.05@bk.ru*

Лысов Алексей Викторович, к.в.н., ведущий научный сотрудник отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН)
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Федерация*

Романова Алиса Сергеевна, к.т.н., старший научный сотрудник отдела ветеринарно-лабораторной диагностики с испытательной лабораторией
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский

*центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБНУ
УрФАНИЦ УрО РАН)
ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, 620142, Российская Феде-
рация
Alisic_kolotova@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Maxim V. Petropavlovskiy, Dr. of Vet. Sc., Leading Researcher of the Department of Monitoring and Forecasting of Infectious Diseases
*Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
petropavlovsky_m@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9892-6092>
SPIN-code: 7603-9476
Scopus Author ID: 57205067665*

Irina M. Donnik, Dr. of Biol. Sc., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Monitoring and Forecasting of Infectious Diseases
*Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
ktqrjp7@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8349-3004>
SPIN-code: 2610-5633
ResearcherID: 313786
Scopus Author ID: 55625475300*

Natalia A. Bezborodova, Cand. Vet. Sc., Senior Researcher at the Department of Genomic Research and Animal Breeding
*Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
n-bezborodova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2793-5001>
SPIN-code: 7012-0999
Scopus Author ID: 57210813542*

Valeria A. Makutina, Cand. Biol. Sc., Senior Researcher at the Department of Genomic Research and Animal Breeding
Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
makutina_v@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1127-2792>

Albina G. Isaeva, Dr. of Biol. Sc., Asc. Prof., Leading researcher of the Department of Veterinary Laboratory Diagnostics with a testing laboratory
Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
isaeva.05@bk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8395-1247>
SPIN-code: 7308-9644
Scopus Author ID: 57196947397

Alexey V. Lysov, Cand. Vet. Sc., Leading researcher at the Department of Veterinary and Laboratory Diagnostics with a testing laboratory
Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
boris.wet@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2480-2019>
SPIN-code: 3549-5800

Alisa S. Romanova, Cand. Of Eng. Sc., Senior Researcher at the Department of Veterinary Laboratory Diagnostics with a testing laboratory
Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FSBSI UrFASRC, UrB of RAS)
112a, Belinski Str., Ekaterinburg, 620142, Russian Federation
Alisic_kolotova@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0189-2963>
SPIN-code: 9488-1815

Поступила 02.04.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 25.05.2024

Received 02.04.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 25.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

EDN: GFOGOW

УДК 631.52



Научная статья

ОЦЕНКА МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОДА *GLEDITSIA* В УСЛОВИЯХ АРИДНОГО КЛИМАТА

Е.В. Калмыкова, П.А. Кузьмин, П.А. Крылов, К.А. Мельник

Аннотация

Обоснование. Представители рода *Gleditsia* являются ценными деревьями в условиях аридного климата, так как данный род обладает высокой степенью засухоустойчивости и толерантен к условиям солонцеватых почв.

Целью данной работы является сравнительный анализ морфогенетических параметров семян с разным природным ареалом, интродуцированных в аридных условиях: гледичия техасская (*G. texana*), гледичия трехколючковая (*G. triacanthos*), гледичия трехколючковая форма бесколючковая (*G. triacanthos*, f. *inermis*), гледичия каспийская (*G. caspica*).

Материалы и методы. Объект исследования: семена некоторых видов рода *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, которые произрастают на территории ФНЦ агроэкологии РАН. Исследование проводилось с 2022 по 2024 годы. Генеративная продуктивность изучалась посредством сбора семян, оценки их морфологических показателей и жизнеспособности. Выделение ДНК осуществляли СТАВ-методом из листовой пластинки с последующей оценкой концентрации и качества на длинах волн A260/A280 с помощью спектрофотометра SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия).

Результаты. Выявлено, что у *G. triacanthos* доброкачественность семян за период исследования на более высоком уровне (96,82 %), чем у *Gleditsia caspica*, где данные значения в пределах 66,24 %. Высокая всхожесть зафиксирована у семян *G. triacanthos* (до 92 %). У всех видов быстрее всего развивается зародышевый корешок.

Заключение. Результаты генотипирования позволили определить как общие UBC 873, UBC 890, так и вариативные UBC 826, локусы характерные для представителей всего родового комплекса *Gleditsia*. Также был выявлен более высокий полиморфизм *G. triacanthos* по маркеру UBC 826 по сравнению

с другими представителями рода *Gleditsia*, что согласуется с более лучшими морфологическими признаками и устойчивостью к засухе.

Ключевые слова: всхожесть; генеративная продуктивность; засухоустойчивость; ISSR-анализ; родовой комплекс *Gleditsia*; аридные территории

Для цитирования. Калмыкова Е.В., Кузьмин П.А., Крылов П.А., Мельник К.А. Оценка морфогенетических параметров рода *Gleditsia* в условиях аридного климата // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 228-246. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

Original article

ASSESSMENT OF MORPHOGENETIC PARAMETERS OF THE GENUS *GLEDITSIA* IN ARID CLIMATE

E.V. Kalmykova, P.A. Kuzmin, P.A. Krylov, K.A. Melnik

Abstract

Background. Representatives of the genus *Gleditsia* are valuable trees in arid climates, as this genus has a high degree of drought resistance and is tolerant to saline soil conditions.

The **purpose** of this work is a comparative analysis of the morphogenetic parameters of seedlings with different natural ranges introduced in arid conditions: *gledichia texana* (*G. texana*), *gledichia tricolor* (*G. triacanthos*), *gledichia tricolor* (*G. triacanthos*, *f. inermis*), *gledichia Caspian* (*G. caspica*).

Materials and methods. Object of study: seedlings of some species of the genus *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, which grow on the territory of the Federal Scientific Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences. The study was conducted from 2022 to 2024. Generative productivity was studied by collecting seeds and assessing their morphological characteristics and viability. DNA was isolated using the CTAB method from the leaf blade, followed by assessment of concentration and quality at wavelengths A260/A280 using a SpectrostarNano spectrophotometer (BMG Labtech, Germany).

Results. It was revealed that in *G. triacanthos*, the seed quality during the study period was at a higher level (96.82%) than in *Gleditsia caspica*, where these values are within 66,24 %. High germination was recorded in *G. triacanthos* seeds (up to 92%). In all species, the germinal root develops the fastest.

Conclusion. The results of genotyping allowed us to identify both common UBC 873, UBC 890, and variable UBC 826, loci characteristic of representatives of

the entire *Gleditsia* generic complex. A higher polymorphism of *G. triacanthos* according to the UBC 826 marker was also revealed compared to other representatives of the genus *Gleditsia*, which is consistent with better morphological characteristics and drought resistance.

Keywords: germination; generative productivity; drought resistance; ISSR analysis; *Gleditsia* generic complex; arid territories

For citation. Kalmykova E.V., Kuzmin P.A., Krylov P.A., Melnik K.A. Assessment of Morphogenetic Parameters of the Genus *Gleditsia* in Arid Climate. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 228-246. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1098

Введение

Аридный климат характеризуется незначительной численностью древесных растений. Начало развития науки лесоразведения в засушливой зоне относится к 19 веку. Озеленительные посадки деревьев и кустарников внедряют с 1930 г. В сухих степях и полупустыни значительно позже начали эффективно создавать лесные древесные насаждения различного назначения, в том числе и интродуцированными растениями [8; 12]. Обогащение древесными растениями природной флоры позволяет существенно расширить декоративно-планировочные и санитарно-гигиенические функции в условиях аридного климата. Проблема сохранения биоразнообразия является актуальным вопросом в мировом сообществе [6; 26]. Экосистемы, состоящие из сообщества взаимосвязанных живых организмов с доминированием в нем древесной растительности, характеризуются высоким уровнем биологического разнообразия, это происходит благодаря большому количеству лесообразующих пород, возрастному и пространственному строению древостоев, также различным условиям произрастания [4; 9; 10; 13].

Биоэкологический и экономический потенциал для биоразнообразия аридных территорий представляет род гледичия (*Gleditsia* L.). Североамериканские виды рода *Gleditsia* имеют ценные декоративные и лесомелиоративные качества [23]. *Gleditsia* является теплолюбивой породой [5; 19]. Род *Gleditsia* широко распространен на юге Украины, в Ставропольском крае и Ростовской области, на Кавказе, в республиках Средней Азии, где широко используется для агролесомелиорации.

Для создания дендрологической коллекции родового комплекса *Gleditsia* важным аспектом является проведение генотипирования видов и форм, а также их гибридов, интродуцированных на аридной территории.

Существует широкое разнообразие неспецифических и специфических молекулярно-генетических маркеров, таких как: ISSR [7; 11; 12; 16]. В связи с тем, что в настоящий момент только начали появляться сырые данные сиквенсов генома представителей рода *Gleditsia*, и имеется недостаток данных, было проведено генотипирования с использованием ISSR-маркеров [2; 3; 15; 17; 21].

Цель исследования – сравнительный анализ морфогенетических параметров семян с разным природным ареалом, интродуцированных в аридных условиях: гледичия техасская (*G. texana*), гледичия трехколючковая (*G. triacanthos*), гледичия трехколючковая форма бесколючковая (*G. triacanthos*, f. *inermis*), гледичия каспийская (*G. caspica*).

Материалы и методы исследования

Объект исследования: семена некоторых видов рода *Gleditsia*: *G. texana*, *G. triacanthos*, *G. caspica*, которые произрастают на территории ФНЦ агроэкологии РАН.

Гледичия каспийская – *G. caspica* Desf. Дерево может достигать 15 м высоты. Первичные семена получены из Ереванского ботанического сада в 1973 году.

Гледичия обыкновенная (трехколючковая) – *G. triacanthos* L. Дерево до 45 м высоты. Экземпляры этого вида впервые получили в качестве семян в 1972 году из г. Петрозаводска.

Гледичия техасская *G. texana* Sarg. (гибрид *G. triacanthos* L. x *G. aquatica* Marsh.). Дерево достигает 20 м в высоту. Исходным материалом этого вида были семена, полученные из Ташкентского ботанического сада в 1973 году.

Исследование проводилось с 2022 по 2024 годы. Генеративная продуктивность изучалась посредством сбора семян, оценки их морфологических показателей и жизнеспособности. Собранные семена рода *Gleditsia* перед прорастиванием были подвергнуты скарификации, путем погружения в концентрированную серную кислоту на 120 минут с последующей промывкой в воде в течение суток для разрушения покрова семян [1; 11; 14]. Качество семян определяли по ГОСТ Р 51173-98, а стандарты посадочного материала – по ГОСТ 26869-86, ГОСТ 3317-90.

Оценка морфологических параметров онтогенеза на ранних стадиях проводилась путем измерения высоты растений (см) и длины листьев (см).

Для оценки развития семян на начальных этапах онтогенеза разных видов рода *Gleditsia* были созданы равные условия. Набухшие семена рода

Gleditsia были помещены в почвенный грунт, световой день длился 16 часов, а темная фаза фотосинтеза протекала 8 часов при постоянной температуре 26°C.

Выделение ДНК осуществляли СТАВ-методом из листовой пластинки [18; 20] с последующей оценкой концентрации и качества на длинах волн A260/A280 с помощью спектрофотометра SpectrostarNano (BMG Labtech, Германия).

Для выявления ISSR были использованы праймеры, синтезированные ЗАО Evrogen, Россия (таблица 1).

Таблица 1.

Наименование и последовательность ISSR праймеров

Наименование	Последовательность '5–3'	Tm, °C
UBC811	GAGAGAGAGAGAGAGAC	54.2
UBC826	ACACACACACACACC	54.7
UBC835	AGAGAGAGAGAGAGAGYC	54.0
UBC841	GAGAGAGAGAGAGAGAYC	54.0
UBC873	GACAGACAGACAGACA	50.0
UBC890	VHVGTTGTGTGTGTGTGT	50.0

ISSR-ПЦР проводили на амплификаторе Applied Biosystems QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США) с использованием коммерческого набора qPCRMix-HS (cat: #PK145L, Евrogen, Россия), согласно инструкциями производителя при использовании стандартной программы, проводимой ранее с данными ISSR-праймерами [25].

Электрофорез продуктов ПЦР проводился в 2% агарозном геле. Размер полос ДНК на геле рассчитывали с использованием ДНК-маркера длиной более 100 п.н. (cat: #NL002, Евrogen, Россия). Для окрашивания агарозного геля использовали бромид этидия (Хеликон, Россия). Визуализацию результатов электрофореза проводили с использованием гель-документирующей системы iBright CL750 Imaging Systems (Thermo Fisher Scientific, США) [24; 26].

Математическая обработка данных

Измерения осуществляли для всех листьев каждого вида, все параметры обрабатывались в программе статистика [22]. Стандартная ошибка вычислялась с помощью программы Excel. Данные были собраны в двоичную матрицу 0/1. Расчет характеристик генетической структуры производился с помощью специализированной программы POPGENE версии 1.31.

Результаты исследования

Образцы семян являются типичными для рода *Gleditsia*. У *Gleditsia triacanthos* за два года зафиксировано максимальное количество семян в одном плоде (25 штук), чем у остальных исследуемых видов. Среднее количество семян данного вида варьирует до 18 штук за 2022 и 2023 год, среднее минимальное количество семян было отмечено в 2022 году– 13 шт.

Выявлено, что максимальная масса 100 штук семян за 2023 год у *Gleditsia triacanthos* - 23,5 г, а максимальный выход чистых семян – 37% от массы плодов. Минимальная масса семян была зафиксирована у *Gleditsia texana* (100 штук - 16,09 г.) Также стоит отметить, что в 2022 и 2023 гг. внутривидовые параметры изучаемых видов имели несущественное различие (таблица 2).

Таблица 2.

Характеристика плодоношения различных видов и форм *Gleditsia* (2022-2023 гг.)

Показатели	<i>G. triacanthos</i>	
	2022	2023
Длина плода, см	$\frac{28,2^*}{14^{**}/34,6^{***}}$	$\frac{30,25^*}{22^{**}/37,5^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,3^*}{1,8^{**}/3,2^{***}}$	$\frac{2,77^*}{2,0^{**}/3,2^{***}}$
Масса 1 плода, г	$\frac{9,27^*}{6,51^{**}/18,05^{***}}$	$\frac{12,5^*}{5,03^{**}/18,6^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{13^*}{4^{**}/25^{***}}$	$\frac{18^*}{12^{**}/25^{***}}$
Длина семян, см	$\frac{0,85^*}{0,7^{**}/1,1^{***}}$	$\frac{0,9^*}{1,0^{**}/1,1^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,6^*}{0,5^{**}/0,8^{***}}$	$\frac{0,52^*}{0,5^{**}/0,6^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{12,67^*}{11,0^{**}/15,23^{***}}$	$\frac{19,56^*}{14,5^{**}/23,5^{***}}$
Выход семян,%	$\frac{19,8^*}{9,0^{**}/35,0^{***}}$	$\frac{25,0^*}{15,7^{**}/36,8^{***}}$
Показатели	<i>G. caspica</i>	
	2022	2023
Длина плода,см	$\frac{27,0^*}{23,4^{**}/32,2^{***}}$	$\frac{26,76^*}{20^{**}/35^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,79^*}{2,0^{**}/3,2^{***}}$	$\frac{2,89^*}{2,5^{**}/3,3^{***}}$
Масса 1 плода,г	$\frac{10,7^*}{8,08^{**}/14,08^{***}}$	$\frac{8,8^*}{5,15^{**}/18,75^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{20,8^*}{14^{**}/24^{***}}$	$\frac{20^*}{12^{**}/23^{***}}$

Длина семян, см	$\frac{0,97^*}{0,9^{**}/1,0^{***}}$	$\frac{1,04^*}{0,9^{**}/1,2^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,62^*}{0,6^{**}/0,7^{***}}$	$\frac{0,64^*}{0,5^{**}/0,8^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{24,6^*}{28,0^{**}/34,0^{***}}$	$\frac{18,5^*}{15,5^{**}/21,7^{***}}$
Выход семян, %	$\frac{34,6^*}{27,0^{**}/44,0^{***}}$	$\frac{26,5^*}{16,5^{**}/42,7^{***}}$
Показатели	<i>G. texana</i>	
	2022	2023
Длина плода, см	$\frac{22,04^*}{17,6^{**}/25,5^{***}}$	$\frac{22,2^*}{19^{**}/27^{***}}$
Ширина плода, см	$\frac{2,5^*}{2,3^{**}/2,9^{***}}$	$\frac{2,71^*}{2,3^{**}/3,0^{***}}$
Масса 1 плода, г	$\frac{6,07^*}{3,62^{**}/7,8^{***}}$	$\frac{6,97^*}{5,15^{**}/8,76^{***}}$
Количество семян, шт	$\frac{8^*}{3^{**}/11^{***}}$	$\frac{14^*}{7^{**}/25^{***}}$
Длина семян, см	$\frac{0,89^*}{0,7^{**}/1,1^{***}}$	$\frac{0,7^*}{0,6^{**}/1,0^{***}}$
Ширина семян, см	$\frac{0,65^*}{0,5^{**}/0,9^{***}}$	$\frac{0,54^*}{0,4^{**}/0,7^{***}}$
Масса 100,г	$\frac{9,6^*}{9,32^{**}/9,93^{***}}$	$\frac{13,9^*}{11,04^{**}/16,09^{***}}$
Выход семян, %	$\frac{21,3^*}{13,5^{**}/21,9^{***}}$	$\frac{19,1^*}{28,9^{**}/37,6^{***}}$

** , *** – минимальные и максимальные значения показателей,
* – среднее значение признака,

Доброкачественность семян *G. triacanthos* имеет высокие показатели - 96,82 %, по сравнению с семенами *G. caspica* (66,24 %) за период исследования в условиях аридного климата (таблица 3).

Таблица 3.

Сравнительная оценка плодоношения и доброкачественность семян
исследуемых видов рода *Gleditsia*

Вид	Плодоношение, балл	Доброкачественность семян, %
<i>Gleditsia triacanthos</i>	4,7 ± 0,11	96,82 ± 3,12
<i>Gleditsia triacanthos.</i> , f. <i>inermis</i>	4,2 ± 0,14	76,71 ± 3,73
<i>Gleditsia texana</i>	2,4 ± 0,18	86,81 ± 3,84
<i>Gleditsia caspica</i>	3,9 ± 0,17	66,24 ± 4,09

Для получения сеянцев проращивали семена 2023 года, так как сохранность семян у всех видов имела наибольший процент, чем в другие года.

Всхожесть семян *G. triacanthos* доходила до 92 %. *G. texana* дала всхожесть ниже на 20 % (таблица 4).

На третьи сутки после посева семена всех видов начинают прорастать, появляются всходы. Быстрее всего развивается зародышевый корешок. Фаза открытие семядолей длится около двух суток. Появление первых настоящих листочков отмечается через неделю. Все исследуемые виды рода *Gleditsia* успешно прошли стадии развития проростков (рисунок 1).

Таблица 4.

Всхожесть семян *Gleditsia* в лабораторных условиях

Вид	Дата появления сходов		Всхожесть, %
	единичных	массовых	
<i>G. caspica</i>	16/ III	19/ III	65
<i>G. texana</i>	17/ III	18/ III	78
<i>G. triacanthos</i>	17/ III	18/ III	92
<i>G. triacanthos</i> , f. <i>inermis</i>	18/ III	21/ III	75

**Рис. 1.** Стадии развития проростков *Gleditsia* в течение 7 суток

У сеянцев *G. triacanthos* сложные первые листья достигают размеров до 4 см с 9-11 парами парноперистных листочков в 15-дневном возрасте, до полного развития семядолей. Максимальный рост у сеянцев *G. caspica* составлял 10 см в 15-дневном возрасте, это на 2-4 см меньше, чем у североамериканских видов (таблица 5).

Для выявления межвидового генетического разнообразия рода *Gleditsia* было использовано 6 ISSR-праймеров с высокой степенью амплифицируемости, определённой по предыдущим исследованиям.

В результате были получены генетические спектры для *G. triacanthos*, *G. triacanthos* f. *inermis*, *G. caspica* и *G. texana* (рисунки 2, 3).

Проведенные исследования выявили отсутствие уникальных ISSR-локусов между *G. triacanthos* и *G. triacanthos* f. *inermis* (рисунки 2А, 2Б).

Таблица 5.

**Морфологические параметры различных видов сеянцев *Gleditsia*
в 15-дневном возрасте**

Вид	Длина листьев (см)			Кол-во листьев (пар, шт)			Рост (см)		
	min	ср	max	min	ср	max	min	ср	max
<i>G. caspica</i>	2 ±0,18	3 ±0,27	3,5 ±0,31	5 ±0,11	7 ±0,12	9 ±0,13	3 ±0,12	8 ±0,10	10 ±0,14
<i>G. texana</i>	2 ±0,18	3 ±0,27	4 ±0,36	9 ±0,11	10 ±0,12	11 ±0,14	7 ±0,12	11 ±0,08	14 ±0,09
<i>G. triacanthos</i>	1,5 ±0,13	3,5 ±0,31	4 ±0,36	9 ±0,11	10 ±0,12	11 ±0,14	9 ±0,12	12 ±0,08	14 ±0,09
<i>G. triacanthos</i> , f. <i>inermis</i>	1,5 ±0,13	2 ±0,18	3 ±0,27	9 ±0,11	9 ±0,11	10 ±0,14	6 ±0,12	9 ±0,13	13 ±0,08

Это позволяет говорить о том, что использование данных ISSR-маркеров не способствует выявлению генетической обусловленности (детерминированность) бесколючковой формы *G. triacanthos*.

Использование данных праймеров также не позволило выявить отличий между *G. triacanthos* и *G. caspica* и *G. texana*. Оставшиеся 4 праймера не дают возможности определить уникальные локусы, связанные с видовыми и форменными особенностями у рода *Gleditsia*.

В ходе исследования ISSR у *G. triacanthos* и *G. texana* был обнаружен уникальный локус при использовании UBC 826 (350, 400 п.н.), который свидетельствует об их родстве (рисунок 2). У *G. caspica* ISSR-локус (400 п.н.) отсутствует.

UBC 835 и 841 показали низкую информативность при оценке генетической структуры *G. triacanthos*, *G. triacanthos inermis*, *G. caspica* и *G. texana*.

Для определения степени родства исследуемых видов рода *Gleditsia* была построена дендрограмма на основе матрицы генетических различий (рисунок 4).

Полученная дендрограмма демонстрирует наибольшую генетическую отдаленность *G. triacanthos* от другой формы, вида и гибрида. Максимальное родство имеют *G. caspica* и *G. texana* (дистанция по Неоу 0,0685). Примечательным является то, что *G. triacanthos* имеет низкую степень сродства с *G. triacanthos* f. *inermis* и *G. texana*. Таким образом, полученные результаты показали, что выбранные шесть ISSR не позволяют с высокой вероятностью определить уникальные локусы для форм.

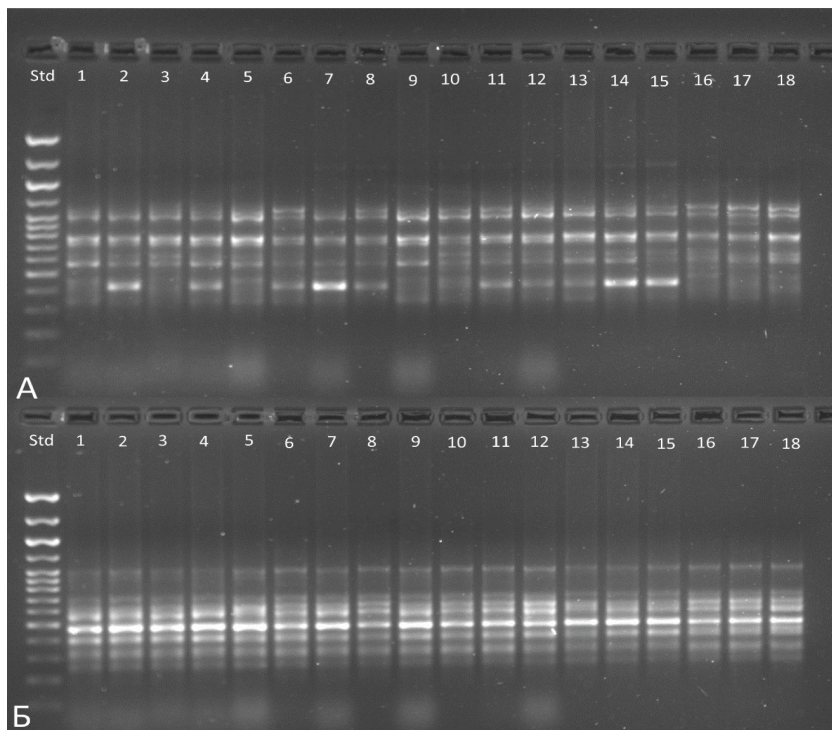


Рис. 2. Пример электрофореграммы продуктов амплификации с ISSR-праймерами: А – UBC 873, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. triacanthos inermis*; Б – UBC 890, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. triacanthos inermis*. Std маркер молекулярного веса (100-3000 п.н.)

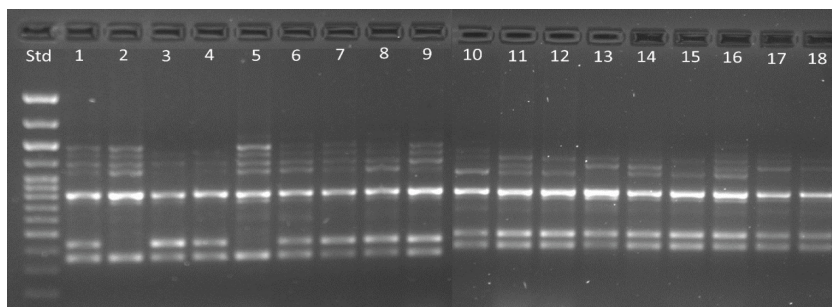


Рис. 3. Пример электрофореграммы продуктов амплификации с UBC 826, 1-9 – *G. triacanthos*, 10-18 – *G. texana*. Std маркер молекулярного веса (100-3000 п.н.)



Рис. 4. Дендрограмма генетических различий представителей рода *Gleditsia*

Заключение

Семена *G. triacanthos* и *G. texana* имеют высокую доброкачественность и всхожесть в аридных условиях, так как североамериканские виды менее подвержены засухе. У семян *G. caspica* показатель доброкачественности имел низкий параметр из-за стресс факторов (высокая температура, дефицита воды). Исследуемые сеянцы видов рода *Gleditsia* во время эксперимента динамично развивались и проходили все стадии развития, поэтому родовой комплекс имеет большой потенциал для агролесомелиорации.

Результаты генотипирования позволили определить как общие, так и вариативные локусы характерные для представителей всего родового комплекса *Gleditsia*. Однако, для получения более точных данных необходимо проведение дополнительных исследований по подбору и тестированию других ISSR-маркеров. Также был выявлен более высокий полиморфизм *G. triacanthos* по маркеру UBC 826 по сравнению с другими представителями рода *Gleditsia* что согласуется с более лучшими морфологическими признаками.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00273, «Создание биоресурсной коллекции видов растений для борьбы с деградацией аридных регионов России», <https://rscf.ru/project/23-26-00273/>

Список литературы

1. Балакина А.А., Нефедьева Е.Е., Ларинова Ю.С. Исследование структуры и состава семенной клетки *Gleditsia* и некоторых изменений в ее структуре при набухании // Аграрный вестник Урала. 2021. Т. 206, №03. С. 46-52. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52>
2. Беляев А.И., Крылов П.А., Пугачева А.М., Деревщикова Л.В. Анализ наличия геномов древесных и кустарниковых растений, используемых в

- агролесомелиорации южных регионов России // Труды Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2023. №2(70). С. 30-42.
3. Кузьмин П.А. Изучение полиморфизма ISSR-маркеров *Caragana arborescens* Lam / П.А. Кузьмин, И.М. Романова, Е.Д. Великанова // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1(37). С. 77-86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926169>
 4. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // *Arid Ecosyst.* 2020. Vol. 10. P. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
 5. Мельник К.А., Хужахметова А.Ш. Особенности плодоношения интродуцированных представителей родового комплекса *Gleditsia* в возрастном аспекте // Труды Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2022. №4(68). С. 184-193.
 6. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Долгих А.А., Сапронов В.В. Научные основы обогащения дендрофлоры малолесных регионов хозяйственно ценными растениями // *Всемирный экологический журнал.* 2021. Т. 12, №2. С. 35-51. <https://doi.org/10.25726/v1064-3614-5462-o>
 7. Abd-Dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg) // *Journal, genetic engineering & biotechnology.* 2023. Vol. 21(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
 8. Andablo-Reyes A. D. C., Moreno-Calles A. I., Cancio-Coyac B. A., Gutiérrez-Coatecatl E., Rivero-Romero A. D., Hernández-Cendejas G., Casas A. Agri-silvicultures of Mexican Arid America // *Journal of ethnobiology and ethnomedicine.* 2023. Vol. 19, № 1. P. 39. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5>
 9. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological Processes // *Ecological Engineering and Environmental Technology.* 2022. Vol. 23(3). P. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
 10. Cappellini F., Marinelli A., Toccaceli M., Tonelli C., Petroni K. Anthocyanins: From Mechanisms of Regulation in Plants to Health Benefits in Foods // *Front. Plant Sci.* 2021. Vol. 12, 748049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.748049>
 11. Carta A., Mattana E., Dickie J., Vandeloof F. Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants // *Seed Science Research.* 2022. Vol. 32(1). <https://doi.org/10.1017/S0960258522000071>

12. Kader A., Sinha S.N., Ghosh P. Clonal fidelity investigation of micropropagated hardened plants of jackfruit tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with RAPD markers // Journal, genetic engineering & biotechnology. 2022. Vol. 20. № 1. P. 145. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00426-0>
13. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes // Arid Ecosystems. 2023. Vol. 1(94). P. 4-14. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>
14. Lorca A., Ferreras A., Funes G. Seed size and seedling ontogenetic stage as modulators of damage tolerance after simulated herbivory in a woody exotic species // Australian Journal of Botany. 2019. Vol. 67(2). P. 159-164. <https://doi.org/10.1071/BT18093>
15. Louati M., Ucarli C., Arikan B., Ghada B., Hannachi A. S., Turgut-Kara, N. Genetic, Morphological, and Biochemical Diversity of Argan Tree (*Argania spinosa* L.) (Sapotaceae) in Tunisia // Plants (Basel, Switzerland). 2019. Vol. 8(9), 319. <https://doi.org/10.3390/plants8090319>
16. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR analysis of genetic relationship and classification in chrysanthemum germplasm collection // Horticultural Plant Journal. 2018. Vol. 4(2). P. 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>
17. Middleton E. Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function // Advances in experimental medicine and biology. 2009. Vol. 439. P. 175–182. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13
18. Møller M., Kjes U., Budde K. B., Gailing O. Applying molecular and genetic methods to trees and their fungal communities // Applied microbiology and biotechnology. 2023. Vol. 107. № 9. P. 2783–2830. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12480-w>
19. Nourmohammadi K., Kartoolinejad D., Naghdi R., Baskin C.C. Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth // Folia Oecologica. 2019. Vol. 46(2). P. 115-126. <https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014>
20. Novikova A.A., Sheikina O.V., Novikov P.S., Doronina G.U. Estimation of the ISSR-markers application for systematization and genetic certification of Genus *Rhododendron* // Scientific Journal of KubSAU. 2012. №82. P. 79-89. <https://sm1.kubsau.ru/authors/2338>
21. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR) // Saudi journal of biological sciences. 2021. Vol. 28(3). P. 1770–1778. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>

22. Redwan O. Germination of the seeds of *Gleditsia triacanthos* L. and the effect of some agricultural communities on the growth and development of their seedlings // *Biological Sciences Series*. 2019. Vol. 41(6). P. 11-26.
23. Sergio J., Yohana G., Romina D. Structure of the forests of *Gleditsia triacanthos* as a function of age (Valle de La Sala, Tucum n, Argentina) // *Austral Ecology*. 2020. Vol. 30. P. 251-259. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.2.0.1083>
24. Shestibratov K.A., Baranov O.Y., Mescherova E.N., Kiryanov P.S., Pantelev S.V., Mozharovskaya L.V., Krutovsky K.V., Padutov V.E. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome // *Frontiers in genetics*. 2021. № 12. P. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
25. Simpson M. Evolution and Diversity of Woody and Seed Plants // *Plant Systematics*. 2019. P. 131-165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812628-8.50005-5>
26. Tyshchenko A., Tyshchenko O., Konovalova V., Fundirat K., Piliarska O. Methods of determining the drought resistance of plants // *InterConf*. 2023. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>

References

1. Balakina A.A., Nefedieva E.E., Larikova Y.S. Study of the structure and composition of the seed cell of *Gleditsia* and some changes in its structure during swelling. *Agrarny Vestnik Urala*, 2021, vol. 206, no. 03, pp. 46-52. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-206-03-46-52>
2. Belyaev A.I., Krylov P.A., Pugacheva A.M., Derevshchikova L.V. Analysis of the availability of genomes of woody and shrubby plants used in agroforestry in the southern regions of Russia. *Proceedings of the Nizhnevolzhskiy agro-university complex: science and higher education*, 2023, no. 2(70), pp. 30-42.
3. Kuzmin P.A. Study of polymorphism of ISSR-markers of *Caragana arborescens* Lam / P.A. Kuzmin, I.M. Romanova, E.D. Velikanova. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki*, 2024, no. 1(37), pp. 77-86. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10926169>
4. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the North-western Caspian Region. *Arid Ecosyst.*, 2020, vol. 10, pp. 358–367. <https://doi.org/10.1134/S2079096120040149>
5. Melnik K.A., Khuzhakhmetova A.Sh. Features of fructification of introduced representatives of the genus complex *Gleditsia* age aspect. *Proceedings of the Nizhnevolzhskiy agro-university complex: science and higher professional education*, 2022, no. 4(68), pp. 184-193.
6. Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Dolgikh A.A., Saponov V.V. Scientific bases of enrichment of dendroflora of low forested regions with econom-

- ically valuable plants. *World Ecological Journal*, 2021, vol. 12, no. 2, pp. 35-51. <https://doi.org/10.25726/v1064-3614-5462-o>
7. Abd-Dada H., Bouda S., Khachtib Y., Bella Y.A., Haddioui A. Use of ISSR markers to assess the genetic diversity of an endemic plant of Morocco (*Euphorbia resinifera* O. Berg). *Journal, genetic engineering & biotechnology*, 2023, vol. 21(1), 91. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00543-4>
 8. Andablo-Reyes A. D. C., Moreno-Calles A. I., Cancio-Coyac B. A., Gutiérrez-Coatecatl E., Rivero-Romero A. D., Hernández-Cendejas G., Casas A. Agri-silvicultures of Mexican Arid America. *Journal of ethnobiology and ethnomedicine*, 2023, vol. 19, no. 1, p. 39. <https://doi.org/10.1186/s13002-023-00612-5>
 9. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological Processes. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 2022, vol. 23(3), pp. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
 10. Cappellini F., Marinelli A., Toccaceli M., Tonelli C., Petroni K. Anthocyanins: From Mechanisms of Regulation in Plants to Health Benefits in Foods. *Front. Plant Sci.*, 2021, vol. 12, 748049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.748049>
 11. Carta A., Mattana E., Dickie J., Vandeloos F. Correlated evolution of seed mass and genome size varies among life forms in flowering plants. *Seed Science Research*, 2022, vol. 32(1). <https://doi.org/10.1017/S0960258522000071>
 12. Kader A., Sinha S.N., Ghosh P. Clonal fidelity investigation of micropropagated hardened plants of jackfruit tree (*Artocarpus heterophyllus* L.) with RAPD markers. *Journal, genetic engineering & biotechnology*, 2022, vol. 20, no. 1, p. 145. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00426-0>
 13. Kulik K.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. The role of protective afforestation in combating drought and desertification of agricultural landscapes. *Arid Ecosystems*, 2023, vol. 1(94), pp. 4-14. <https://doi.org/10.1134/S2079096123010079>
 14. Lorca A., Ferreras A., Funes G. Seed size and seedling ontogenetic stage as modulators of damage tolerance after simulated herbivory in a woody exotic species. *Australian Journal of Botany*, 2019, vol. 67(2), pp. 159-164. <https://doi.org/10.1071/BT18093>
 15. Louati M., Ucarli C., Arikani B., Ghada B., Hannachi A. S., Turgut-Kara, N. Genetic, Morphological, and Biochemical Diversity of Argan Tree (*Argania spinosa* L.) (Sapotaceae) in Tunisia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2019, vol. 8(9), 319. <https://doi.org/10.3390/plants8090319>
 16. Luo C., Chen D., Cheng X., Liu H., Li Y., Huang C. SSR analysis of genetic relationship and classification in chrysanthemum germplasm collection. *Horticultural Plant Journal*, 2018, vol. 4(2), pp. 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2018.01.003>

17. Middleton E. Effect of plant flavonoids on immune and inflammatory cell function. *Advances in experimental medicine and biology*, 2009, vol. 439, pp. 175–182. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5335-9_13
18. Мӱller M., Кӱes U., Budde K. B., Gailing O. Applying molecular and genetic methods to trees and their fungal communities. *Applied microbiology and biotechnology*, 2023, vol. 107, no. 9, pp. 2783–2830. <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12480-w>
19. Nourmohammadi K., Kartoolinejad D., Naghdi R., Baskin C.C. Effects of dormancy-breaking methods on germination of the water impermeable seeds of *Gleditsia caspica* (Fabaceae) and seedling growth. *Folia Oecologica*, 2019, vol. 46(2), pp. 115-126. <https://doi.org/10.2478/foecol-2019-0014>
20. Novikova A.A., Sheikina O.V., Novikov P.S., Doronina G.U. Estimation of the ISSR-markers application for systematization and genetic certification of Genus *Rhododendron*. *Scientific Journal of KubSAU*, 2012, no. 82, pp. 79-89. <https://sm1.kubsau.ru/authors/2338>
21. Ramzan F., Kim H.T., Younis A., Ramzan Y., Lim K.B. Genetic assessment of the effects of self-fertilization in a *Lilium* L. hybrids using molecular cytogenetic methods (FISH and ISSR). *Saudi journal of biological sciences*, 2021, vol. 28(3), pp. 1770–1778. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.019>
22. Redwan O. Germination of the seeds of *Gleditsia triacanthos* L. and the effect of some agricultural communities on the growth and development of their seedlings. *Biological Sciences Series*, 2019, vol. 41(6), pp. 11-26.
23. Sergio J., Yohana G., Romina D. Structure of the forests of *Gleditsia triacanthos* as a function of age (Valle de La Sala, Tucum n, Argentina). *Austral Ecology*, 2020, vol. 30, pp. 251-259. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.2.0.1083>
24. Shestibratov K.A., Baranov O.Y., Mescherova E.N., Kiryanov P.S., Pantelev S.V., Mozharovskaya L.V., Krutovsky K.V., Padutov V.E. Structure and phylogeny of the curly birch chloroplast genome. *Frontiers in genetics*, 2021, no. 12, p. 625764. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.625764>
25. Simpson M. Evolution and Diversity of Woody and Seed Plants. *Plant Systematics*, 2019, p. 131-165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812628-8.50005-5>
26. Tyshchenko A., Tyshchenko O., Konovalova V., Fundirat K., Piliarska O. Methods of determining the drought resistance of plants. *InterConf.*, 2023. <https://doi.org/10.51582/interconf.19-20.05.2023.030>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Калмыкова Елена Владимировна, главный научный сотрудник, зав. лабораторией биоэкологии древесных растений, д-р с.-х. наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kalmykova.elena-1111@yandex.ru*

Кузьмин Петр Анатольевич, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной селекции, кандидат сельскохозяйственных наук
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
kizmin-p@vfanc.ru*

Крылов Павел Андреевич, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией геномных и постгеномных технологий, кандидат биологических наук
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
krylov-p@vfanc.ru*

Мельник Кристина Андреевна, младший научный сотрудник, лаборатория биоэкологии древесных растений
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мели-*

ораций и защитного лесоразведения Российской Академии Наук»
(ФНЦ агроэкологии РАН)
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Феде-
рация
melnik-k@vfanc.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena V. Kalmykova, Chief Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants, Dr. agricultural Sciences, Associate Professor
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kalmykova.elena-1111@yandex.ru
SPIN-code: 1736-9543
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8530-9995>
ResearcherID: AAY-3733-2020
Scopus Author ID: 57216752208

Pyotr A. Kuzmin, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Breeding, Candidate of Agricultural Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
kuzmin-p@vfanc.ru
SPIN-code: 7551-8803
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1303-765X>
ResearcherID: N-4277-2016
Scopus Author ID: 56192995500

Pavel A. Krylov, Leading Researcher, Laboratory of Genomic and Postgenomic Technologies, Candidate of Biological Sciences
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences" (FSC Agroecology RAS)
97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
krylov-p@vfanc.ru

SPIN-code: 9652-7459

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9587-5886>

ResearcherID: V-6884-2017

Scopus Author ID: 57213164834

Kristina A. Melnik, Junior Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants

Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (FSC Agroecology RAS)

97, Universitetskiy Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation

melnik-k@yfanc.ru

SPIN-code: 1736-9543

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7103-6436>

ResearcherID: AAE-5262-2021

Scopus Author ID: 57458285500

Поступила 05.07.2024

После рецензирования 26.08.2024

Принята 14.09.2024

Received 05.07.2024

Revised 26.08.2024

Accepted 14.09.2024

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-983

EDN: GVGCYI

УДК 633.2.031/.033



Научная статья

СРОКИ И НОРМЫ ВЫСЕВА СОРГО ЗЕРНОВОГО
В НИЖНЕВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ*А.В. Солонкин, Е.П. Сухарева, А.В. Беликина**Аннотация*

Обоснование. Культура сорго широко используется в народном хозяйстве. Особенное значение культура приобретает для животноводческой отрасли, которая остро нуждается в обеспечении стабильной кормовой базой. Сорго зерновое занимает одно из важных мест в этом вопросе. Широкое использование сорго для приготовления кормов имеет актуальность вследствие адаптивности культуры в засушливых условиях. Поэтому в изменяющихся природно-климатических условиях важно проводить исследования, способствующие формированию технологии выращивания культуры сорго для агрохозяйственных нужд.

Цель. Определить оптимальный срок сева и норму высева в зоне каштановых почв в засушливом климате Нижневолжского региона России.

Материалы и методы. Исследования проводились 2021-2023 гг. на участке, расположенном в зоне каштановых почв, Камышинском районе, Волгоградской области. Климат местонахождения участка умеренно-континентальный. Предшественник – черный пар. Варианты в опыте размещались согласно методике полевого опыта по Доспехову Б.А. В опыте использовались семена репродукции супер-элиты сортов зернового сорго Камышинское 75 и Белогорское.

Изучались четыре срока сева сорго зернового: первый при прогревании почвы на глубине 10 см до 10-12°C, второй до 14-16°C, третий 18-20°C, четвертый 22-24°C. В каждом сроке сева изучались три нормы высева: 6, 10, 15 кг/га.

Результаты. Наиболее высокая продуктивность в посевах сорго зернового была в посевах второго и третьего сроков с нормой высева 10 кг/га. При устойчивом прогревании почвы на глубине 10 см до 14-16°C и 18-20°C обеспечивается оптимальное количество всходов, их сохранность и развитие. Продуктивность сорго достигает 2,95 т/га.

Заключение. В процессе исследования установлено, что оптимальными сроками сева сорго зернового является время, когда почва прогревается от 14-16°C и от 18 до 20°C с нормой высева 10 кг/га.

Ключевые слова: сорго зерновое; норма высева; срок посева; влажность почвы; высота растений; засоренность

Для цитирования. Солонкин А.В., Сухарева Е.П., Беликина А.В. Сроки и нормы высева сорго зернового в Нижневолжском регионе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 247-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-983

Original article

TIMES AND NORMS OF SEEDING GRAIN SORGHUM IN THE LOWER VOLGA REGION

A.V. Solonkin, E.P. Sukhareva, A.V. Belikina

Abstract

Background. The sorghum crop is widely used in the national economy. The crop is of particular importance for the livestock industry, which is in dire need of providing a stable feed supply. Grain sorghum occupies one of the important places in this issue. The widespread use of sorghum for the preparation of feed is relevant due to the adaptability of the crop in arid conditions. Therefore, in changing natural and climatic conditions, it is important to conduct research that contributes to the formation of technology for growing sorghum crops for national economic needs.

Purpose. To determine the optimal sowing time and seeding rate in the zone of chestnut soils in the arid climate of the Lower Volga region of Russia.

Materials and methods. The research was carried 2021-2023 years out on a site located in the zone of chestnut soils, Kamyshinsky district, Volgograd region. The climate of the site is temperate continental. The predecessor is black steam. Options in the experiment were placed according to the field experiment methodology according to B.A. Dosphehov. The experiments used seeds of reproduction of super-elite varieties of grain sorghum Kamyshinskoe 75 and Belogorskoe. Four

sowing periods for grain sorghum were studied: the first when the soil was heated at a depth of 10 cm to 10-12°C, the second to 14-16°C, the third 18-20°C, the fourth 22-24°C. In each sowing period, three seeding rates were studied: 6, 10, 15 kg/ha.

Results. The highest productivity in grain sorghum crops was in crops of the second and third terms with a seeding rate of 10 kg/ha. With stable heating of the soil at a depth of 10 cm to 14-16°C and 18-20°C, the optimal number of seedlings, their safety and development are ensured. The productivity of sorghum reaches 2.95 t/ha.

Conclusion. During the research, it was found that the optimal time for sowing grain sorghum is the time when the soil warms up from 14-16°C and from 18 to 20°C with a seeding rate of 10 kg/ha.

Keywords: grain sorghum; seeding rate; sowing time; soil moisture; plant height; weed infestation

For citation. Solonkin A.V., Sukhareva E.P., Belikina A.V. Times and Norms of Seeding Grain Sorghum in the Lower Volga Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 247-262. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-983

Введение

Обеспечение животноводства полноценными кормами в современных условиях ведения сельскохозяйственного производства сложная задача. Сорго зерновое находит применение в кормопроизводстве в качестве сырья для комбикормов, также используется в пищевой промышленности в хлебопечении, получении круп, крахмала, спирта и др. Сорго засухоустойчивая культура, которая способна формировать урожай зерна и зеленой массы в экстремальных условиях, ведь родина культуры экваториальная Африка и в мире по производству зерна занимает пятое место [12; 21]. Крупными производителями сорго являются Индия, Нигерия, Судан и США [1; 14]. В России посевы сорго занимают свыше 70 тыс. га. В Волгоградской области посевные площади достигают 16 тыс. га, что позволяет ей занимать третье место в рейтинге производителей зерна и коромов, получаемых при переработке культуры [15].

В Волгоградской области ведется селекционная работа по выведению сортов сорго и отработке адаптивной технологии выращивания культуры с 70-х годов прошлого столетия [5; 21]. Однако в связи с аридизацией климата требуется уточнения некоторых подходов в производстве зерна и зеленой массы, получаемой из сорго для кормления сельскохозяйственных животных. Проведенные исследования, посвященные определению оптимального срока сева и норм высева для получения зерна сорго, были

проведены с **целью** изучения сроков и норм высева семян сорго зернового в Нижневолжском регионе.

Материалы и методы

Опыт был заложен на участке, землепользования ФНЦ агроэкологии РАН, который расположен в Камышинском районе, Волгоградской области 50.027371 с.ш., 45.127398 в.д., 160 м выше уровня моря. Климат местоположения участка умеренно-континентальный, с летним периодом 145 дней, суммой активных температур 2850-3050°C. Большая часть весенне-летних осадков выпадает в июле, до 35 мм [16].

Почва участка каштановая. Технология возделывания выращивания сорго, рекомендованная в засушливом климате Нижневолжского региона [6]. Предшественник – чёрный пар. Предпосевная обработка почвы состояла из покровного боронования зяби в два следа, одной предпосевной культивации для первого срока сева, двух культиваций во второй и третий сроки, и трех под четвертый срок посева. Посев широкорядный с междурядьями 0,7 м. Уход за посевами сорго зернового состоял из трех междурядных культиваций для первого срока сева и двух для второго и третьего сроков сева. Все посеы сорго зернового, кроме четвертого срока сева обрабатывались гербицидом аминоплекс 1 л/га в фазу 3-6 листьев.

Размещение вариантов в опыте систематическое, последовательное, в соответствии с методикой полевого опыта Доспехова Б.А. [8]. Все повторения в опыте размещены в одном поле, площадью 300 м², повторность – трехкратная. В опыте использовались семена репродукции супер-элиты сортов зернового сорго Камышинское 75 и нового Белогорское [2; 21].

Изучались четыре срока сева сорго зернового в Волгоградской области. Первый при прогревании почвы на глубине 10 см до 10-12 °C, второй до 14-16°C, третий – 18-20°C, четвертый 22-24°C.

В каждом сроке сева изучались три нормы высева: 6, 10, 15 кг/га.

Схема опыта

Нормы высева, кг/ га на 1 га	Срок сева (температура прогревания почвы)			
	1 (10-12°C) 21.04	2 (14-16°C) 28.04	3 (18-20°C) 01.05	4 (22-24°C) 06.05
Камышинское 75				
6	21.04	28.04	01.05	06.05
10	21.04	28.04	01.05	06.05
15	21.04	28.04	01.05	06.05

Белогорское				
6	21.04	28.04	01.05	06.05
10	21.04	28.04	01.05	06.05
15	21.04	28.04	01.05	06.05

Погодные условия за время вегетации в 2021-2023 гг. представлены на рис. 1.

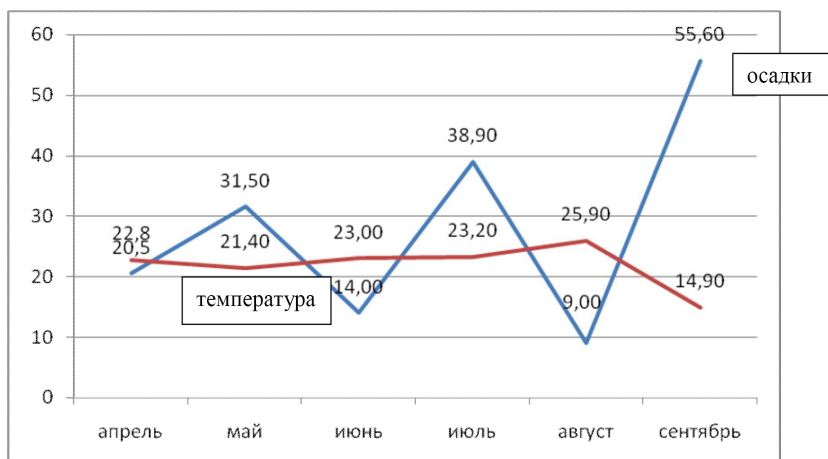


Рис. 1. Метеорологические условия периода вегетации сорго в 2021-2023 гг.

Метеорологические условия за три года исследований складывались по-разному, но в каждом сельскохозяйственном году был получен урожай. В соответствии с разработанной шкалой Шашко, в изложении Зинковского [9; 22] вегетация сорго зернового с апреля по сентябрь 2021-2023 гг. по данным метеонаблюдений, характеризуется как оптимальный по влагообеспечению (ГТК=1,2). Среднее значение ГТК по Селянинову составил 1,2. Сумма положительных температур в годы наблюдений составила 2021 г. – 3736,8 °C; 2022 г. – 3818,7 °C; 2023 г. - 2920 °C, что соответствовало потребности сорго в тепле [7,16,19]. Обеспеченность осадками в период исследования не всегда соответствовало многолетним среднемесячным нормам, и была неоднородная. Фактическая обеспеченность осадками: в мае, июле немного превышала среднегодовой на 1%, а в июне, августе недостаток влаги был в 2,7-3,4 раза больше, чем в среднемноголетний показатель [16].

Математическая обработка урожайных данных проведена методом дисперсионного анализа. Инструментом для проведения анализа послужила программа Microsoft Excel 8.

Цель проведенного исследования: определить оптимальный срок сева и норму высева в зоне каштановых почв в засушливом климате Нижневолжского региона России.

Научная новизна

Определены нормы и сроки высева сорго зернового для сортов в условиях природно-климатических условий сухостепной зоны светолокаштановых почв Нижнего Поволжья.

Результаты исследования

Выпавшие осадки в период исследования непосредственно сказались на почвенном увлажнении. Было определено, что влажность почвы в слое 0-5 см значительно снижается, особенно в 4 сроке сева. На глубине 0-10 см почва остается достаточно влажной для получения всходов во все сроки сева.

В таблице 1 представлены данные о количестве всходов растений сорго зернового.

Таблица 1.

Всходы сорго зернового в зависимости от сроков посева и норм высева (шт/м²) в среднем за 2021-2023 гг.

Нормы высева (кг/га)	Сроки сева			
	1 (10-12°C) 21.04	2 (14-16°C) 28.04	3(18-20°C) 01.05	4 (22-24°C) 06.05
Камышинское 75				
6	110	113	114	100
10	132	158	155	142
15	165	174	182	185
Белогорское				
6	112	115	115	105
10	136	159	158	144
15	168	179	184	189

При нарастании температуры воздуха, почва прогревается, время появления всходов сокращается.

При первом сроке сева всходы сорго зернового появляются на 17-19 день, при втором сроке на 8-10 день, при третьем на 6 и при четвертом сроке на 4-5 день со времени посевных работ.

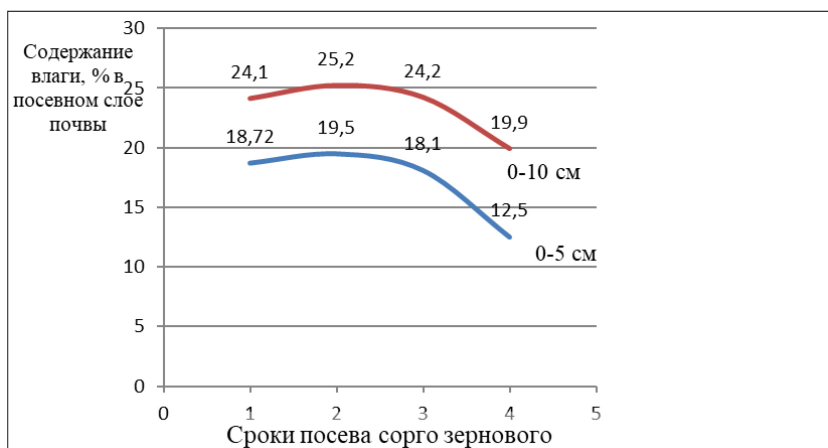


Рис. 2. Содержание влаги, % в посевном слое почвы на участках в зависимости от срока сева сорго сортов Камышинское 75 и Белогорское в 2021-2023 гг.

Наибольшее количество всходов было на участках, высеянных на втором, третьем и четвертом сроках сева со всеми нормами высева рис. 3. С увеличением нормы высева сорго зернового, увеличивается густота всходов (таблица 2).

Таблица 2.

Всходы сорго зернового в зависимости от сроков посева с разными нормами высева

Нормы высева (кг/га)	Сроки сева			
	1	2	3	4
Камышинское 64				
6	109	119	115	101
10	139	156	152	139
15	163	169	179	183
Белогорское				
6	112	115	115	105
10	136	159	158	144
15	168	179	184	189

Самое большое количество всходов на участках четвертого и третьего 183 и 179 шт/м² у сорта Камышинское 75 и 184 и 189 у сорта Белогорское соответственно при норме высева 15 кг/га.

Наибольшее количество сорняков отмечено на первом сроке посева за весь период исследований (таблица 2).

Таблица 2.

Засоренность посевов сорго зернового в фазу всходов по срокам сева и нормам высева, шт/м², в среднем 2021-2023 гг.

Нормы высева (кг/га)	Сроки сева			
	1 (10-12°C) 21.04	2 (14-16°C) 28.04	3(18-20°C) 01.05	4 (22-24°C) 06.05
Камышинское 75				
6	119	27	4	2
10	134	15	3	3
15	102	34	3	3
Белогорское				
6	116	25	4	5
10	132	17	5	3
15	98	36	3	3

По данным таблицы 2, можно наблюдать, что самое малое количество сорняков было на участке четвертого срока сева со всеми нормами высева семян.

Проводимые в этот срок предпосевные культивации не позволяют полностью уничтожить сорняки. В более поздние сроки, при лучшем прогреве почвы, создаются условия для массового прорастания сорняков всех видов, и проведение очередной культивации позволяет их уничтожить.

С повышением нормы высева увеличивается количество растений сорго зернового на единицу площади. Нарастание положительных температур, прогрев почвы и оптимальная влагообеспеченность для прорастания, а также более меньшая засоренность посевов, способствовали активному росту растений сорго (таблица 3).

По данным таблицы 3 можно увидеть, что растения сорго на участках второго и третьего сроков сева наиболее высокие: сорт Камышинское 75 120-130 см и сорт Белогорское 121-130 см. С увеличением нормы высева и соответственно, густоты стояния, растений сорго зернового, снижается их высота: норма высева 15 кг, 4 срок сева – высота растения сорго 97 см, при более низкой норме высева 6 кг/га, при втором и третьем сроках сева растения сорго всех сортов достигают высоты 130 см.

Результаты о продуктивности сортов сорго зернового представлены в таблице 4.

Таблица 3.

**Высота растений (см) сорго зернового в зависимости от сроков сева
и норм высева, в среднем 2021-2023 гг.**

Нормы высева (кг/га)	Сроки сева			
	1 (10-12°C) 21.04	2 (14-16°C) 28.04	3(18-20°C) 01.05	4 (22-24°C) 06.05
Камышинское 75				
6	114	130	125	96
10	100	128	127	101
15	97	126	120	93
Белогорское				
6	114	121	130	102
10	98	127	125	108
15	110	130	114	95

Таблица 4.

**Урожайность сорго зернового в зависимости от сроков и норм высева,
2021-2023 гг.**

Нормы высева (кг/га)	Сроки посева			
	1 (10-12°C) 21.04	2 (14-16°C) 28.04	3(18-20°C) 01.05	4 (22-24°C) 06.05
Камышинское 75				
6	1,98	2,7	2,54	2,13
10	2,1	3,06	3,21	1,8
15	2,25	2,2	2,85	1,73
НСП _{0,5}	0,1	0,13	0,14	0,09
Белогорское				
6	2,3	2,55	2,64	2,2
10	2,18	2,95	3,46	1,93
15	2,64	2,7	2,75	1,68
НСП _{0,5}	0,11	0,13	0,13	0,09

Анализируя данные таблицы 4, заметим, что наиболее высокая продуктивность в посевах сорго зернового была на участках второго и третьего сроков с нормой высева 10 кг/га. С повышением температуры почвы и увеличением количества междурядных культиваций перед посевом, влажность почвы снижается [6]. Однако на глубине заделки семян сорго зернового 6-10 см, влаги остается достаточно для получения всходов даже в более поздние сроки. При устойчивом прогревании почвы на глубине 10 см до 14-16°C обеспечивается оптимальное количество всходов и их со-

хранность. Посев при более ранних сроках, не достигшей прогрева почвы 14-16⁰С, приводит к затягиванию появления всходов и угнетению их сорняками. В поздние сроки посева растения сорго не всегда успевают завершить полноценную вегетацию из-за понижения температур или осенних осадков [6; 18; 20].

Таким образом, проведенные исследования по установке оптимальной нормы высева и срока сева, позволили установить, что:

- во-первых, быстрее всего на 4-5 день со времени посевных работ, всходы сорго появлялись на участке четвертого срока сева;
- во-вторых, наибольшее количество всходов на участках четвертого и третьего сроков сева у обоих сортов при норме высева 15 кг/га;
- в-третьих, наибольшее количество сорняков было в посевах первого срока высева семян;
- в-четвертых, растения сорго на участках второго и третьего сроков сева были наиболее высокими: сорт Камышинское 75 120-130 см и сорт Белогорское 121-130 см;
- в-пятых, более высокая продуктивность зернового сорго при втором и третьем сроках сева от 2,54 до 3,46 т/га у всех сортов зернового сорго.

Обсуждение

В исследованиях российских ученых технологий выращивания сорго в природно-климатических регионах страны, имеющих ограничение по влагообеспечению, рекомендуют сев культуры, с шириной рядов, размером 70 см и с густотой стояния растений от 80 до 350 тысяч на 1 га в зависимости от сортовых особенностей растения [10; 17; 21]. Исследования сроков сева были проведены в более северных районах России. В итогах исследований самарских ученых сообщается, что наиболее лучшие результаты по урожайности сорго были при втором сроке сева при температуре почвы 16,2-19,9 ⁰С, с нормой высева 800 тыс. всхожих семян на 1 гектар более 2,6 т/га в 2001-2003 годах [13; 18]. В наших исследованиях определено, что в зоне каштановых почв сухой степи Нижнего Поволжья наилучшее время для сева сорго зернового соответствует периоду сева в Самарской области. Срок сева может способствовать наибольшей продуктивности во второй и третий сроки сева сорго, когда температура почвы будет достигать 14-16⁰С и 18-20 ⁰С, урожайность составит от 3,06 до 3,46 т/га. В исследованиях 2021-2023 гг. установлено, что в указанные сроки сева оптимальной нормой высева сорго будет 10 кг/га (300-350 тыс. шт. всхожих семян на га).

Заключение

В проведенном исследовании определено, что наиболее удачным сроком сева сорго зернового для получения зерна в условиях каштановых почв Нижневолжского региона является второй 14-16 °С и третий 18-20 °С сроки сева, когда почва прогревается 14-16°С и 18-20°С с нормой высева 10 кг/га, продуктивность достигнута 2,95-3,46 т/га.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках ГЗ № 122020100448-6 «Создание новых конкурентоспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Алабушев А. В., Шишова Е. А., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М., Горпиниченко С. И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Научный журнал КубГАУ. 2017. №127. С. 1-14. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>
2. Алабушев А. В., Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Горпиниченко С. И. Семеноводство сорго зернового в Ростовской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. №1 (50). С. 12-15.
3. Алабушев А.В., Ковтунов В.В., Лушпина О.А. Сорго зерновое – перспективное сырьё для производства крахмала // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 64-66.
4. Антимонов А. К., Сыркина Л. Ф., Антимонова О. Н. Селекция зернового сорго пищевого направления // Земледелие. 2021. №8. С. 28-32. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-8-28-32>
5. Беляев А.И., Пугачева А.М., Солонкин А.В., Крючков С.Н., Питоня А.А., Питоня В.Н., Игольникова Л.В., Кулешов А.М., Маркова И.Н., Шатрыкин А.В., Шарко Н.С., Неймышева А.Н., Смутнев П.А. Сухарева Е.П. Каталог селекционных достижений ФНЦ агроэкологии РАН. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2021. 72 с.
6. Беляков А.М., Солонкин А.В., Бабаян Л.А. и др. Региональная адаптивно-ландшафтная система земледелия Нижнего Поволжья. Волгоград: Рос.

- акад. с.-х. наук, Нижне-Волж. науч.-исследоват. ин-т сел. хоз-ва, 2012. С. 70-72.
7. Васильченко С. А., Метлина Г. В., Ковтунов В. В. Влияние метеоусловий на продуктивность сорго зернового в южной зоне Ростовской области // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №120. С. 744-754.
 8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Альянс, 2014. С. 257-353.
 9. Зинковский В.Н., Зинковская Т.С. Учёт атмосферных осадков при агрометеорологических расчётах // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №5. С.130-135. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.019>
 10. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Бочкарева Ю. В., Прахов А. В., Семин Д. С. Продуктивность сорговых культур в зависимости от агротехнических приемов возделывания в регионах Российской Федерации (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. №22(2). С. 155-166. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>
 11. Ковтунова Н.А., Ермолина Г.М., Горпиниченко С.И., Романюкин А.Е. Кормовая ценность сахарного сорго // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. №3. С. 21-25.
 12. Кононенко И. С. Использование сорго в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы // Научный журнал КубГАУ. 2012. №82. С. 825-842.
 13. Косых Л. А., Антимонов А. К., Сыркина Л. Ф., Антимонова О. Н. Сорта и технология возделывания сорго зернового для засушливых условий лесостепи Среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. №2-4. С.705-711.
 14. Матвиенко Е. В. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сорго в России и Самарской области // Аграрный вестник Урала. 2019. № 12 (191). С. 9–18. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2019-191-12-9-18>
 15. Романюкин А.Е., Ковтунова Н.А., Шишова Е.А. Сорго, как кормовая культура // Фермер. Поволжье. 2018. №2(66). С. 40-41.
 16. Сажин А.Н., Кулик, К.Н., Васильев, Ю.И. Погода и климат Волгоградской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. С. 81-134.
 17. Семин Д.С., Кибальник О. П., Каменева О. Б. Селекция зернового сорго на пищевые цели в условиях Нижневолжского региона РФ // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 1(9). С. 80-86.
 18. Сыркина, Л.Ф., Антимонова О.Н. Экологическое испытание и морфо - физиологический анализ растений зернового сорго различных групп спелости

- в условиях Самарской области // Успехи современной науки и образования. 2016. № 12. Т. 9. С. 106-111.
19. Растениеводство Центрального Черноземья России / Федотов В.А., Кондратьев С.В., Кадыров Д.И., Щедрина О.В., Столяров О.В., Подлесных Н.В.: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019, 581 с.
 20. Царев А.П., Морозов Е.В. Агробиологические основы выращивания и использования сорговых культур в Поволжье / ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». Саратов, 2011. 244 с.
 21. Шатрыкин А.А., Шарко Н.С. Новый сорт зернового сорго Белогорское // Научно-агрономический журнал. 2021. №1. С. 45-47. <https://doi.org/10.34736/FNC.2021.112.1.007>
 22. Шашко Д.И. Агроклиматические ресурсы СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 248 с.

References

1. Alabushev A. V. V., Shishova E. A., Romanyukin A. E., Ermolina G. M., Gorpichenko S. I. Origin of sorghum and development of its breeding. *Scientific Journal of KubGAU*, 2017, no. 127, pp. 1-14. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>
2. Alabushev A. V. V., Kovtunov V. V., Kovtunova N. A., Gorpichenko S. I. Seed production of grain sorghum in the Rostov region. *Agricultural Science of the Euro-North-East*, 2016, no. 1 (50), pp. 12-15.
3. Alabushev A.V., Kovtunov V.V., Lushpina O.A. Grain sorghum - a promising raw material for starch production. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, 2016, vol. 30, no. 7, pp. 64-66.
4. Antimonov A. K., Syrkina L. F., Antimonova O. N. Selection of grain sorghum of food direction. *Zemledeliye*, 2021, no. 8, pp. 28-32. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-8-28-32>
5. Belyaev, A.I., Pugacheva A.M., Solonkin A.V., Kryuchkov S.N., Pitonya A.A., Pitonya V.N., Igolnikova L.V., Kuleshov A.M., Markova I.N, Shatrykin A.V., Sharko N.S., Neymysheva A.N., Smutnev P.A. Sukhareva E.P. *Catalog of breeding achievements of FSC Agroecology RAS*. Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2021, 72 p.
6. Belyakov A.M., Solonkin A.V., Babayan L.A. et al. *Regional adaptive-landscape system of farming in the Lower Volga Region*. Volgograd, 2012, pp. 70-72.
7. Vasilchenko S. A., Metlina G. V., Kovtunov V. V. Influence of meteorological conditions on the productivity of grain sorghum in the southern zone of the Rostov region. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2016, no. 120, pp. 744-754.

8. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Alliance, 2014, pp. 257-353.
9. Zinkovskiy V.N., Zinkovskaya T.S. Accounting of atmospheric precipitation in agromeliorative calculations. *International Research Journal*, 2018, no. 5, pp. 130-135. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.71.019>
10. Kibalnik O. P., Efremova I. G., Bochkareva Y. V., Prakhov A. V., Semin D. C. Productivity of sorghum crops depending on agrotechnical methods of cultivation in the regions of the Russian Federation (review). *Agricultural Science of the Euro-North-East*, 2021, no. 22(2), pp. 155-166. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.155-166>
11. Kovtunova N.A., Ermolina G.M., Gorpinichenko S.I., Romanyukin A.E. Fodder value of sugar sorghum. *Agricultural Science of the Euro-North-East*, 2017, no. 3, pp. 21-25.
12. Kononenko I. S. The use of sorghum in the feeding of farm animals and poultry. *Scientific Journal of KubGAU*, 2012, no. 82, pp. 825-842.
13. Kosykh L. A., Antimonov A. K., Syrkina L. F., Antimonova O. N. Varieties and cultivation technology of grain sorghum for arid conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. *Izvestia Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 2-4, pp. 705-711.
14. Matvienko E. V. Sowing areas, gross yields and sorghum yield in Russia and the Samara region. *Agrarny vestnik Urala*, 2019, no. 12 (191), pp. 9–18. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2019-191-12-9-18>
15. Romanyukin A.E., Kovtunova N.A., Shishova E.A. Sorghum as a forage crop. *Farmer. Volga region*, 2018, no. 2(66), pp. 40-41.
16. Sazhin A.N., Kulik, K.N., Vasiliev, Y.I. *Weather and climate of the Volgograd region*. Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2017, pp. 81-134.
17. Semin D.S., Kibalnik O.P., Kameneva O. B. Selection of grain sorghum for food purposes in the conditions of the Lower Volga region of the Russian Federation. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2017, no. 1(9), pp. 80-86.
18. Syrkina, L.F., Antimonova O.N. Ecological testing and morpho-physiological analysis of grain sorghum plants of different ripeness groups in the conditions of the Samara region. *Uspekhi sovremennoi nauki i obrazovanie*, 2016, no. 12, vol. 9, pp. 106-111.
19. *Crop Production of the Central Black Earth Region of Russia* / Fedotov V.A., Kondratyev S.V., Kadyrov D.I., Shchedrina O.V., Stolyarov O.V., Podlesnykh N.V. Voronezh State Agrarian University, 2019, 581 p.
20. Tsarev A.P., Morozov E.V. *Agrobiological bases of cultivation and use of sorghum crops in the Volga region* / Saratov GAU. Saratov, 2011, 244 p.

21. Shatrykin A.A., Sharko N.S. New variety of grain sorghum Belogorskoye. *Scientific and Agronomic Journal*, 2021, no. 1, pp. 45-47. <https://doi.org/10.34736/FNC.2021.112.1.007>
22. Shashko D.I. *Agroclimatic resources of the USSR*. L.: Gidrometeoizdat, 1985, 248 p.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Солонкин Андрей Валерьевич, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора, руководитель селекционно-семеноводческого центра древесных и кустарниковых пород

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
solonkin-a@vfanc.ru*

Сухарева Елена Петровна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
lena.sukhareva.60@mail.ru*

Беликина Анна Васильевна, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук
пр. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
belikina-a@vfanc.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Solonkin, Doctor of Agricultural Science, Head of the Seed Center
Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
solonkin-a@vfanc.ru
SPIN-code: 8724-5383
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>
Researcher ID: 57219094230
Scopus Author ID: 57219094230

Elena P. Sukhareva, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Production
Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
lena.sukhareva.60@mail.ru
SPIN-code: 7044-3359
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1083-3650>
Scopus Author ID: 57286423700

Anna V. Belikina, Research Associate, Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery Production
Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
belikina-a@vfanc.ru
SPIN-code: 7387-6935
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6576-3226>
Scopus Author ID: 57212194301

Поступила 11.03.2024

После рецензирования 02.05.2024

Принята 15.05.2024

Received 11.03.2024

Revised 02.05.2024

Accepted 15.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1010

EDN: IZICMQ

УДК 631.559:633.15:633.62:636.085.2(470.33)



Научная статья

УРОЖАЙНОСТЬ И ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ КУКУРУЗЫ РЕМОНТАНТНОГО ТИПА (STAY GREEN) И СОРГО САХАРНОГО В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

*А.В. Дронов, С.А. Бельченко, В.В. Дьяченко,
С.М. Сычев, Г.П. Малявко*

Аннотация

Обоснование. Актуальность исследования обусловлена реализацией продуктивного потенциала ремонтантной кукурузы, сорго сахарного и диверсификацией полевого кормопроизводства Центрального региона России.

Цель данной работы - выявить эффективность возделывания и применения ремонтантных гибридов кукурузы и сорго сахарного в условиях Брянской области.

Материалы и методы. Объектами являлись 6 ремонтантных (*stay green*) гибридов кукурузы разного эколого-географического происхождения, 4 отечественных сорта сорго сахарного и 10 сортообразцов сорго компании *Lidea*. Применялись лабораторно-полевые и статистические методы исследований.

Результаты. Выявлены высокоурожайные гибриды ремонтантной кукурузы Воронежский 175 АСВ, Креатив, ЛГ 3285, обеспечивающие более 78-79 т/га зелёной массы или 21,1-22,3 т сухого вещества и зерна до 8,0 т/га. Урожайность надземной массы сортов сорго Лиственит и Сажень составила более 60 т/га или до 15,0 т сухого вещества. Сортообразцы сорго сахарного селекции *Lidea* (№1, 2, 6, 8, 9, 10) формировали 67,0-75,1 т/га зелёной массы или более 16-17 т/га сухой массы. Определена высокая концентрация водорастворимых сахаров в стеблях до 13,5-16,5% в фазу восковой спелости зерна образцов 4, 5, 6, 9, 10.

Закключение. В результате проведенных исследований сделан вывод, что ремонтантность является важным признаком современных генотипов кукурузы и сорго в производстве высокоэнергетических кормов (9,0-10,2 МДж/1 кг сухого вещества). Ремонтантные гибриды Воронежский 175 АСВ, Креатив,

ЛГ 3285 рекомендовать для заготовки качественного силоса и зернофуража, перспективные сортообразцы сорго для дальнейшего испытания.

Ключевые слова: кукуруза ремонтантного типа; сорго сахарное; агроэкологическое испытание; урожайность биомассы; сухое вещество; питательная ценность; водорастворимые сахара

Для цитирования. Дронов А.В., Бельченко С.А., Дьяченко В.В., Сычев С.М., Малявко Г.П. Урожайность и питательная ценность кукурузы ремонтантного типа (*stay green*) и сорго сахарного в условиях Центральной России // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 263-285. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1010

Original article

YIELD AND NUTRITIONAL VALUE OF CORN REMONTANT TYPE (STAY GREEN) AND SUGAR SORGHUM IN CONDITIONS OF CENTRAL RUSSIA

*A.V. Dronov, S.A. Belchenko, V.V. Dyachenko,
S.M. Sychev, G.P. Malyavko*

Abstract

Background. The relevance of study is due to realization the productive potential of remountant corn and sugar sorghum and diversification field feed production in the Central region of Russia.

Purpose. The aim of this work was to identify the effectiveness of cultivation and use remountant hybrids of corn and sugar sorghum in conditions of the Bryansk region.

Materials and methods. The objects were 6 remountant (*stay green*) hybrids of corn on different ecological and geographical origin, 4 domestic varieties of sugar sorghum and 10 varieties of sorghum from *Lidea*. Laboratory-field and statistical research methods were used.

Results. High-yielding hybrids of remountant corn Voronezhsky 175 ACV, Creative, LG 3285 have been identified and providing more than 78-79 t/ha of green mass or 21.1-22.3 t of dry matter and grain up to 8.0 t/ha. The yield of aboveground mass sorghum varieties Listvenit and Sazhen amounted to more than 60 t/ha or up to 15.0 t of dry matter. Sugar sorghum cultivars of *Lidea* (No. 1, 2, 6, 8, 9, 10) formed 67.05-75.1 t/ha of green mass or more than 16-17 t/ha of dry mass. High concentration of water-soluble sugars in stems up to 13.5-16.5% was determined in phase of waxy ripeness grain of cultivars No. 4, 5, 6, 9, 10.

Conclusion. It was concluded that remontant type (stay green) is an important feature of modern corn and sorghum genotypes in production of high-energy feed (9.0-10.2 MJ/1 kg of dry matter). Remontant hybrids Voronezhsky 175 ACV, Creative, LG3285 are recommended for harvesting high-quality silage and grain fodder, prospective sorghum varieties for further testing.

Keywords: remontant type corn; sugar sorghum; agroecological testing; biomass yield; dry matter; nutritional value; water-soluble sugars

For citation. Dronov A.V., Belchenko S.A., Dyachenko V.V., Sychev S.M., Malyavko G.P. Yield and Nutritional Value of Corn Remontant Type (Stay Green) and Sugar Sorghum in Conditions of Central Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 263-285. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1010

Введение

Высокая значимость и широкое распространение посевов кукурузы и сорго объясняется их высокой продуктивностью и многопрофильностью использования. Эти ценные культуры дополняют друг друга в производстве растительных объёмистых кормов различного хозяйственного направления.

В Российской Федерации кукуруза является базовой (ведущей) зернофуражной культурой, которая используется для заготовки энергонасыщенных растительных кормов. Питательная ценность кукурузы очень высока по сравнению с другими зернокармowymi культурами, её зерно используется в производстве комбикормов для различных видов сельскохозяйственных животных и птицы. При этом отмечается, что при кормлении плющеного, дроблёного или размолотого зерна улучшается его усвояемость [16; 24; 25]. На территории нашей страны кукуруза возделывается как главная кормовая культура на силос, сухое вещество которого должно содержать не менее 10 МДж/1 кг обменной энергии. В кукурузном силосе такая концентрация физиологически доступной энергии достигается при уборке в фазу восковой спелости и при возделывании по зерновой технологии. Технологически правильно заготовленный кукурузный силос характеризуется высокой переваримостью и относится к молокогонному корму с хорошим диетическим качеством.

В отношении сорго сахарного следует констатировать, что культура является одной из высокоурожайных и питательно ценных, которое субьективно, но называется «русским сахарным тростником». Сахарное сорго следует рассматривать как альтернатива кукурузе и как эвритопное расте-

ние - с широким ареалом возделывания и универсального применения. По биологическим особенностям сорго сходно с кукурузой и может с успехом возделываться в тех регионах, где высевают кукурузу. Весьма характерной особенностью сорго сахарного является высокая концентрация сахаров в стеблях, их сочность, сохранность зелёных листьев даже к фазе полной спелости зерна.

На сегодня важен такой закономерный факт, что с тенденцией изменения (потепления) климата в мире, в том числе и на территории Российской Федерации участилось количество экстремально высоких летних засух. В этой связи важными биологическими свойствами сорго являются из-за природного и эволюционного развития (родина - Африка): самая высокая жаро- и засухоустойчивость с низким коэффициентом транспирации и обладающая свойством анабиоза, когда температура окружающей среды повышается больше, чем на 35°C растения приостанавливают свой рост, как бы замирают, впадают в анабиоз на 30 дней и более. При выпадении даже незначительных осадков сорго трогается в рост - более чем по 5 см в сутки. Поэтому эту культуру за высокую засухоустойчивость называют «верблюдом» растительного мира. Высокий уровень засухоустойчивости сорго связан с мощной и избирательной способностью корневой системы, строением устьичного аппарата и уплотненного эпидермиса, восковидного белого налёта, который оберегает растение от сильного перегрева и испарения [10; 12].

Известно, что правильный подбор сортов является одним из резервов дальнейшего повышения урожайности сельскохозяйственных культур, а сортосмена - одним из направлений инновационного процесса в современном земледелии. Однако следует отметить потенциальные возможности сортов и сортосмены в производстве не всегда используются в полной мере. В этой связи сорт (гибрид, популяция), как биологическая система, является важнейшим фактором регулирования продуктивности посевов и качества продукции растениеводства, определяет эффективность и безопасность ведения сельского хозяйства, влияет на состояние окружающей среды [1; 5; 31; 37]. По сведениям учёных-исследователей Дона, Поволжья (Аграрный Научный Центр «Донской», РосНИИСК «Россорго») отмечается высокая способность растений сорго сахарного накапливать в соке стеблей до 18-24 % водорастворимых сахаров. Данное уникальное свойство сорго сахарного дает возможность расширения продуктивного потенциала культуры в производстве различных качественных кормов для зимнего кормления животных, а также для получения новых продуктов пе-

переработки - сиропа, соргового мёда, биоспирта, биотоплива. В состав сахаров сока стеблей входят моносахариды (глюкоза - 70%, фруктоза - 20%) и дисахариды (сахароза - 10%). Передовой опыт и практика показывают, что силос из сорго сахарного, заготовленный в фазе восковой спелости зерна, является высокомолокогонным и ранним кормом (поедается животными в течение 2-4 месяцев от времени заготовки силоса) [2; 6; 14; 15].

Для агроклиматических условий европейской части Нечерноземной зоны РФ сорговые культуры возделываются лишь эпизодически. Однако следует отметить, за последние 5-10 лет накоплен положительный опыт испытания и внедрения сорго сахарного как кормовой культуры в ряде регионов - Брянской, Владимирской, Калужской, Костромской, Новгородской, Смоленской, Ульяновской областях, а также в соседней Республике Беларусь [3; 7; 11; 19; 20; 21; 27].

В данной научной статье, по-нашему мнению, и в связи с изменяющимися условиями климата уделено внимание ремонтантности (*stay green*) или способности кукурузы и сорговых культур в сухих или засушливых условиях сохранять зелёной листостебельную массу растений. По сведениям и научным публикациям как российских, а в большей степени иностранных авторов известно, ремонтантные генотипы обладают повышенной фотосинтетической активностью, что характеризует их высокие показатели чистой продуктивности фотосинтеза и потенциала посевов [13; 29; 30; 35]. В этой связи ремонтантные гибриды кукурузы отличаются рядом таких преимуществ как высокое накопление сухого вещества, разная отдача влаги зерном, устойчивость к засухе, вредителям, стеблевым гнилям, полеганию растений при экстремальных погодных флуктуациях. Поэтому следует отметить, что ремонтантность как важный признак (дескриптор) описания оригинаторами эффекта *stay green*, которым должны на сегодня обладать современные зерновые и силосные гибриды кукурузы, залог высокой урожайности при неблагоприятных условиях возделывания [22].

Зарубежными учёными Австралии, Индии, Пакистана, Кении, Эфиопии в отношении сорго сахарного раскрывается физиологический механизм ремонтантности (сохранения зелёных листьев в условиях дефицита влаги и засушливого стресса). Сохранение зелёного цвета - свойство, которое помогает сорго адаптироваться к засухе после цветения, задерживая старение листьев и повышая урожайность биомассы. Исследования показали, что данное свойство связано с большей концентрацией азота в листьях, уровнем цитокининов и содержанием хлорофилла, что свиде-

тельствует о более медленном темпе старения (усыхания) листовой поверхности. Более того, этот признак связан с улучшением эффективности транспирации, высокой степенью корреляции урожайности надземной массы с фитометрическими показателями растений сорго - высота, диаметр стебля, количество и площадь листьев. При этом экономия воды перед цветением повышает доступность влаги, позволяя растениям сохранять свой фотосинтетический потенциал в течение более длительного периода времени и оставаться зелёными до фазы созревания зерна [32; 33; 34; 36].

Таким образом, ремонтантность (*stay green*) можно рассматривать как механизм засухоустойчивости, который улучшает использование воды, необходимой как для общего роста, так и для формирования высокой продуктивности надземной массы и зерна. Поэтому в данном контексте нами рассмотрены и изучены вопросы продукционного процесса ремонтантных гибридов кукурузы и сортамента сахарного сорго в условиях Нечерноземной зоны.

В ранее проведённых исследованиях аспирантами Брянского государственного аграрного университета по изучению и совершенствованию отдельных элементов агротехнологии сорговых культур показана возможность и перспективность их возделывания при производстве качественных кормов в регионе [4; 8; 23]. В настоящее время дальнейшая научно-исследовательская работа связана с селекционно-технологическим сопровождением реализации продуктивного потенциала ремонтантных гибридов кукурузы и нового сортамента сорго сахарного в условиях серых лесных почв Центральной России (Брянская область).

Научная новизна выполненного нами исследования и представленного материала в данной публикации обоснована тем, что впервые дана сравнительная оценка урожайности и качества биомассы кукурузы ремонтантного типа (*stay green*) и сорго сахарного, получены новые данные по адаптивному потенциалу изучаемых культур в регионе, экспериментально подтверждена целесообразность их возделывания на кормовые цели.

Материалы и методы

Исследования и агроэкологическое испытание проведены в течение 2020-2023 гг. на опытном поле ФГБОУ ВО Брянского ГАУ. Объектами являлись 6 ремонтантных (*stay green*) гибридов кукурузы разного эколого-географического происхождения - Воронежский 175 АСВ (ВНИИ кукурузы), Родник 292 МВ (ИПА «Отбор»), Дельфин и Креатив (компания

Lidea), Каролин и ЛГ 3285 (*Limagrain*), 4 отечественных сорта сорго сахарного - Дебют, Лиственит, Сажень, Север и 10 сортообразцов сорго селекции *Lidea* (Воронежская область).

Экспериментальная работа выполнена согласно общепринятым методам сортоиспытания и полевого опыта с кормовыми культурами [17; 18; 26; 28]. Почва опытного поля - серая лесная легкосуглинистая по гранулометрическому составу с содержанием гумуса - 3,5-3,6 % (по Тюрину), структура - комковато-зернистая. Содержание подвижных форм фосфора составляла 285-302 мг/кг и калия - 178-194 мг/кг почвы (по Кирсанову), рН солевой вытяжки - слабокислая (5,5-5,7). Почва имела высокий уровень содержания оснований 85,6% (по Каппену и Гельковицу). Агротехника возделывания одновидовых посевов кукурузы и сорго сахарного в опытах общепринятая для данной зоны.

Предшественники по годам - соя культурная, озимая тритикале, однолетние травы (вика яровая+овёс посевной на зелёный корм). Посев отдельно кукурузы и сорго проводили сеялкой точного высева СПЧ-6 широкорядным способом в оптимальные сроки с рекомендуемыми нормами высева оригинаторами сортов и гибридов испытываемых культур. Размещение вариантов - систематическое. Общая площадь каждой деланки составляла 100 м², учётной - 25 м², повторность - четырёхкратная. При агроэкологическом испытании 10 сортообразцов сорго силосного селекции компании *Lidea* посев осуществляли ручной селекционной сеялкой с рекомендуемой нормой высева 220 тыс. всхожих зёрен на 1 га. Площадь опытной деланки - 20 м², учётной - 10 м², ширина междурядий - 70 см. Размещение вариантов рендомизированное, повторность - 3-х кратная.

В 2020-2021 годах на посевах кукурузы для борьбы с сорняками применяли эффективный почвенный гербицид фирмы «Август» Камелот (норма 4 л/га), в последующие годы - Фултайм (2 л/га). Посевы сорго сахарного в фазу 3-5 листьев обрабатывали препаратом Балерина (0,3 л/га). Биологическую урожайность зелёной массы сорго, кукурузы и зерна определяли с учётной площади каждого варианта (сорт, гибрид) вручную. Оценка биометрических показателей и элементов структуры урожая зерна кукурузы проводили по стандартной методике госсортоиспытания. Для выполнения структурного и химического анализов и определения сухого вещества отбирали пробный сноп зелёной массы 1 кг. Содержание сахаров в стеблях сорго осуществляли с помощью рефрактометра в полевых условиях. Химические анализы растительных образцов выполнены в лицензированной

лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по методике Б.А. Доспехова [9].

Результаты и обсуждение

Погодные условия вегетационных периодов кукурузы ремонтантного типа и сортимента сорго сахарного в годы проведения исследования заметно отличались температурным режимом и количеством выпавших осадков. Так, по данным метеорологической станции Брянского ГАУ за четыре года полевых опытов отмечена высокая среднесуточная температура воздуха в период май-сентябрь 2020 г. - 19,3°C и 2023 г. - 18,4°C (по сравнению с климатической нормой 15,2°C), что оказалось благоприятным для созревания зерна кукурузы и наступления восковой-начала полной спелости семян сорго сахарного.

Количество осадков за вегетационные периоды (май-сентябрь 2020-2023 гг.) колебалось от 216,9 до 517 мм при среднемноголетнем значении 312 мм. Отличительной особенностью условий 2022 года были погодные аномалии: посевы пострадали от прошедших проливных дождей в первой декаде июля, шквалистого ветра, сопровождаемого грозой и градом. Обильные осадки в сентябре (120 мм) негативно отразились на продуктивном потенциале исследуемого материала кукурузы и сорго сахарного.

В результате проведения испытаний установлено, что в среднем за 4 года ремонтантные гибриды кукурузы разного эколого-географического происхождения заметно отличались по урожайности надземной массы и зерна. В таблице 1 представлены урожайные данные зелёной массы и нормализованной урожайности сухого вещества изучаемых генотипов кукурузы ремонтантного типа.

При анализе данных таблицы 1 нами отмечены высокопродуктивные гибриды Креатив и ЛГ 3285 с урожайностью зелёной массы 79,41 и 78,20 т/га или нормализованной урожайностью сухого вещества соответственно 22,26 и 21,92 т/га. Отечественный гибрид Воронежский 175 АСВ также характеризовался достаточно высокой урожайностью надземной массы свыше 68,5 т или 21,12 т СВ с 1 га.

Урожайность зерна испытываемых гибридов ремонтантной кукурузы широко варьировала как по годам, так и между генотипами (табл.2). Для формирования высокого урожая зерна с меньшей уборочной влажностью наиболее благоприятным оказался 2023 год.

Таблица 1.

**Урожайность биомассы ремонтантных гибридов кукурузы, т/га
(2020-2023 гг.)**

Гибрид, оригинатор	Урожайность зелёной массы по годам				В среднем за 4 года	Нормализованная урожайность сухого вещества
	2020	2021	2022	2023		
Воронежский 175 АСВ, ВНИИ кукурузы	66,85	65,80	70,25	71,30	68,55	21,12
Родник 292 МВ, ИПА «Отбор»	63,10	67,20	61,05	65,13	64,12	20,94
Дельфин, <i>Lidea</i>	60,63	63,50	61,77	64,18	62,52	20,55
Креатив, <i>Lidea</i>	77,10	78,40	80,94	81,20	79,41	22,26
Каролин, <i>Limagrain</i>	61,54	66,25	63,07	67,14	64,50	18,84
ЛГ 3285, <i>Limagrain</i>	80,25	77,52	75,20	79,24	78,20	21,92
НСР ₀₅	3,7	3,0	3,4	2,9		

Таблица 2.

Урожайность зерна ремонтантных гибридов кукурузы, т/га при 14% влажности (2020-2023 гг.)

Гибрид, оригинатор	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	В среднем за 4 года
Воронежский 175 АСВ, ВНИИ кукурузы	7,64	8,02	7,26	7,90	7,71
Родник 292 МВ, ИПА «Отбор»	6,44	6,67	7,06	7,37	6,90
Дельфин, <i>Lidea</i>	6,07	7,09	6,25	7,78	6,78
Креатив, <i>Lidea</i>	7,01	7,37	8,21	7,70	7,57
Каролин, <i>Limagrain</i>	7,59	8,10	6,33	8,57	7,65
ЛГ 3285, <i>Limagrain</i>	6,94	6,22	6,52	7,68	6,84
НСР ₀₅	1,1	1,8	1,7	1,2	

В этом плане можно отметить среднеранний гибрид Каролин селекции *Limagrain* (ФАО 230), урожайность зерна которого составила свыше 8,57 т/га, раннеспелый гибрид Воронежский 175 АСВ (ФАО 180) - 7,90 т/га и Дельфин компании *Lidea* (ФАО 190) - 7,78 т/га. В среднем за четыре года испытания нами выделены высокоурожайный отечественный гибрид Воронежский 175 АСВ (7,71 т/га) и 2 гибрида зарубежной селекции - Каролин (7,65 т/га), Креатив - 7,57 т/га зерна с 1 га.

По результатам сортоиспытания (2020-2022 гг.) сорго сахарного - Дебют, Лиственит, Сажень, Север дана оценка продуктивного потенциала и в среднем за 3 года выявлены высокоурожайные посевы сортов Лиственит и Сажень (60,1-61,0 т/га зелёной массы или 14,90-14,09 т сухого вещества с 1 га соответственно). Содержание сахаров в стеблях (фаза молочно-восковой

спелости) составило соответственно сорт Дебют - 13,8%; Лиственит - 11,0; Сажень - 16,0; Север - 12,5% (табл.3).

Таблица 3.

**Оценка продуктивного потенциала сортимента сорго сахарного,
2020-2022 гг.**

Сорт	Урожайность надземной массы, т/га				Урожайность сухого вещества, т/га	Содержание сахаров в соке стеблей %
	2020	2021	2022	в среднем за 3 года		
Дебют, АНЦ «Донской»	47,4	45,0	42,8	45,1	10,69	13,8
Лиственит, АНЦ «Донской»	62,8	58,1	59,4	60,1	14,90	11,0
Сажень, «Агроплазма»	63,6	60,4	59,0	61,0	14,09	16,0
Север, «Агроплазма»	59,4	56,4	52,0	55,9	13,70	12,5
НСР ₀₅	3,1	3,4	3,7			

На основании данных урожайности зелёной массы и содержания сахаров в соке стеблей 4-х сортов сорго нами проведён расчёт выхода сахаров с единицы площади и их содержание в 1 кг СВ (табл.4).

В результате анализа урожайности и оценки питательности надземной массы сорго установлено, что перспективный и высокосахаристый сорт Сажень селекции компании «АГРОПЛАЗМА» характеризовался большим выходом сахаров 4,880 т/га и их содержанием 346 г в 1 кг сухого вещества.

Таблица 4.

**Урожайность и кормовая ценность надземной массы сортов сорго
сахарного в среднем за 3 года**

Сорт, оригинатор	Урожайность сухого вещества, т/га	Сбор кормовых единиц, т/га	Количество сахаров в зелёной массе, * т/га	Содержание сахаров в 1 кг СВ, г
Дебют, АНЦ «Донской»	10,69	8,19	3,600	337
Лиственит, АНЦ «Донской»	14,90	10,91	4,808	323
Сажень, «Агроплазма»	14,09	11,09	4,880	346
Север «Агроплазма»	13,70	13,70	4,472	326

Примечание: * - выход сахаров из расчёта 8% от урожая зелёной массы (методика ВИРа)

При проведении агроэкологического испытания в почвенно-климатических условиях Брянской области 10 новых сортономеров (образцов) сорго сахарного селекции *Lidea* (Воронежская область, г. Павловск) в среднем за три года выявлена высокая урожайность зелёной массы 67,0-75,1 т/га или от 14,51 до 18,22 т/га сухой массы сортообразцов СО-№1, 2, 6, 8, 9, 10. Повышенная концентрация сахаров в соке стеблей 13,5-16,5% отмечено в фазу восковой спелости зерна сортообразцов СО-№4, 5, 6, 9 (табл.5).

Таблица 5.

Урожайность сортообразцов сорго сахарного селекции *Lidea*, 2021-2023 гг.

Наименование сортообразца	Урожайность зелёной массы по годам, т/га				Выход сухой массы, т/га	Содержание сахаров в соке стеблей, %
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	в среднем за 3 года		
СО - 1	68,3	63,2	72,8	68,1	15,81	10,0
СО - 2	67,6	65,4	68,0	67,0	14,51	12,0
СО - 3	58,4	55,7	60,5	58,2	13,87	8,0
СО - 4	65,0	59,9	69,5	64,8	17,10	13,5
СО - 5	65,4	63,7	7,7	65,6	17,64	16,5
СО - 6	67,3	65,0	70,2	67,5	17,18	15,0
СО - 7	58,7	56,3	62,0	59,0	14,05	11,5
СО - 8	69,7	67,2	75,5	70,8	16,53	9,7
СО - 9	68,8	65,4	74,3	69,5	17,38	14,0
СО - 10	74,8	69,6	80,7	75,1	18,22	13,5
НСР ₀₅	3,1	2,7	4,3			

Из полученных данных химического состава надземной массы ремонтантных гибридов кукурузы (табл.6) следует, что высокое содержание сырого протеина установлено у следующих гибридов: Родник 292 МВ (ИПА «Отбор») - 8,5%, ЛГ 3285 (Лимагрен) - 8,4% и Креатив (Лидеа) - 8,3% или сбор сырого протеина в урожае сухой массы составил 1,780, 1,841 и 1,848 т/га соответственно.

По энергетической оценке сухого вещества корма с наибольшей концентрацией обменной энергии (10,25 МДж/1 кг) выделился ремонтантный гибрид ЛГ 3285, который отличился высокой долей початков в структуре урожая (41,6%) и меньшим содержанием сырой клетчатки (22,7%). Следует отметить, что отечественный гибрид Родник 292 МВ по химическому составу имел высокое содержание безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) свыше 62% по сравнению с другими гибридами.

Таблица 6.

Химический состав и энергетическая ценность сухого вещества зелёной массы ремонтантных гибридов кукурузы (2020-2022 гг.)

Название гибрида	Содержание, %					Обменная энергия, МДж/ кг СВ
	сырой протеин	сырой жир	сырая зола	сырая клетчатка	БЭВ	
Воронежский 175 АСВ	8,1	2,5	4,7	23,7	61,0	10,06
Родник 292 МВ	8,5	2,2	4,1	22,9	62,3	10,19
Дельфин	7,9	2,4	4,4	23,6	61,7	10,08
Креатив	8,3	2,3	4,8	23,2	61,4	10,09
Каролин	8,1	2,7	4,9	24,8	59,8	9,95
ЛГ 3285	8,4	2,8	4,5	22,7	61,6	10,25

Изучение химического состава надземной массы перспективных сортов сорго сахарного показало, что содержание питательных веществ изменялось и заметно варьировало по фазам развития (табл.7). Данные химического анализа выполнены и представлены в научном докладе аспирантом кафедры агрономии, селекции и семеноводства Брянского ГАУ Васькиной Т.И. [4].

Таблица 7.

Химический состав и питательность надземной массы перспективных сортов сорго сахарного по фазам развития (данные Васькиной Т.И., Брянский ГАУ, 2020-2021гг.) [4]

Сорт	Фаза развития	Содержание в сухом веществе, %					Содержание в 1 кг СВ		
		сырой протеин	сырой жир	сырая клетчатки	сырая золы	БЭВ	МДж ОЭ	к.ед.	п.п., г
Лиственит	Вымётывание	11,4	2,5	29,5	8,9	47,7	9,2	0,69	83,2
	Восковая спелость	6,4	2,4	30,5	4,8	55,9	9,4	0,72	46,7
Сажень	Вымётывание	7,6	1,5	31,8	4,5	54,6	9,0	0,66	53,2
	Восковая спелость	6,5	1,4	33,5	3,0	55,6	8,8	0,63	45,5

Так, сорт сахарного сорго Лиственит в фазу вымётывания выделился содержанием сырого протеина (11,4%), сырой золы (8,9%), и сырой клетчатки - 29,5% (из-за высокой облиственности побегов сорта). При переходе растений сортов сорго к фазе восковой спелости зерна наблюдалось

снижение сырого протеина (6,4-6,5%) и заметное повышение клетчатки (до 33,5%) и БЭВ (55,6-55,9%). Содержание сырого жира в кормовой массе изменялось в пределах 1,4-2,5%. Содержание обменной энергии в 1 кг СВ кормовой массы перспективных сортов сорго сахарного составило 8,8-9,4 МДж в фазу восковой спелости зерна (уборка на силос).

Выводы

В результате проведенных исследований сделан вывод, что ремонтантность является важным признаком современных генотипов кукурузы и сорго в производстве высокоэнергетических кормов (9,0-10,2 МДж/1 кг сухого вещества). Выявлены высокоурожайные гибриды ремонтантной кукурузы Воронежский 175 АСВ, Креатив, ЛГ 3285, обеспечивающие более 78-79 т/га зелёной массы или 21,1-22,3 т сухого вещества и зерна до 8,0 т/га. Урожайность надземной массы сортов сорго Лиственит и Сажень составила более 60 т/га или до 15,0 тонн сухого вещества. Перспективный и высокосахаристый сорт Сажень характеризовался большим выходом сахаров 4,880 т/га и их содержанием 346 г в 1 кг сухого вещества. Сортообразцы сорго сахарного селекции *Lidea* (№1,2,6,8,9,10) формировали 67,0-75,1 т/га зелёной массы или более 16-17 т/га сухой массы. Определена высокая концентрация водорастворимых сахаров в стеблях до 13,5-16,5% в фазу восковой спелости зерна образцов 4,5,6,9,10. Таким образом, ремонтантные гибриды кукурузы Воронежский 175 АСВ, Креатив, ЛГ 3285 следует рекомендовать для заготовки качественного силоса и зернофуража (корнажа). Высокоурожайные посевы сортов Лиственит и Сажень и выделенные перспективные сортообразцы сорго сахарного рекомендуются для дальнейшего испытания и производственной апробации в агроклиматических условиях региона.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской помощи.

Благодарности. Авторы выражают благодарность студентам-дипломникам выпускающей кафедры агрономии, селекции и семеноводства, аспирантам Свист М.Е., Дьяченко Вит. В., Васькиной Т.И., Верхоламочкину С.В., Ланцеву В.В. за исследования по усовершенствованию элементов агротехнологии кукурузы, сорго кормового и сахарного, в проведении химического анализа растительных образцов сотрудникам Центра коллек-

тивного пользования научным оборудованием Брянского государственного аграрного университета.

Список литературы

1. Алабушев А.В., Шишова Е.А., Романюкин А.Е., Ермолина Г.М., Горпиниченко С.И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2017а. № 127. С. 281-294. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>
2. Алабушев А.В., Ковтунова Н.А., Романюкин А.Е., Горпиниченко С.И., Ермолина Г.М. Основные факторы повышения урожайности и качества зеленой массы сорго // Успехи современного естествознания. 2017б. №6. С. 50-55. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36498> (дата обращения: 25.02.2024).
3. Бельченко С.А., Дронов А.В., Васькина Т.И. Особенности биологии, опыт возделывания и перспективы переработки сорго сахарного на юго-западе Центральной России // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №2(46). С. 24-32. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-2-24-32>
4. Васькина Т.И. Агроэкономическое обоснование возделывания кормового (сахарного) сорго в условиях юго-запада Центрального региона России: научный доклад об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации). Брянск, 2021. 29 с.
5. Вертикова Е.А. Селекция зернокармальных культур в условиях Поволжья // В мире научных открытий. 2016. №9(81). С. 74-93. <https://doi.org/10.12731/wsd-2016-9-74-93>
6. Вертикова Е.А., Кузнецова А.Н. Изучение селекционных линий сахарного сорго по комплексу признаков в условиях Нижнего Поволжья // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2018. Т.10. №1. С. 12-29. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-1-12-29>
7. Верхоламочкин С.В., Бельченко С.А., Васькина Т.И. Агроэкологическое испытание сортов и гибридов сорго кормового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] в условиях юго-западной части Центральной России // Вестник Курской ГСХА. 2021. № 3. С. 27-38.
8. Верхоламочкин С.В. Формирование высокопродуктивных посевов сорго кормового в условиях Центрального региона России: дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2022. 130 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.

10. Дронов А.В. Агробιοлогические обоснование интродукции сорговых культур в юго-западный регион Нечерноземья России: дис. ... д. с.-х. наук. Брянск, 2007. 404 с.
11. Дронов А.В., Бельченко Д.С. Урожайность кормовой массы сорго сахарного (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers) в зависимости от плотности посева на юго-западе Нечерноземья // Сахарная свекла. 2023. №5. С. 28-31. <https://doi.org/10.25802/SB.2023.56.52.006>
12. Дьяченко В.В. Научное сопровождение возделывания суданской травы в юго-западной части Нечерноземной зоны: дис. ... д. с.-х. наук. Брянск, 2009. 448 с.
13. Кагермазов А.М., Хачидогов А.В. Механизмы засухоустойчивости кукурузы // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. №2. С. 62-65. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2018-0-2-62-65>
14. Каменева О.Б., Кибальник О.П., Ефремова И.Г., Семин Д.С., Калинин Ю.А. Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор) // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. №5. <https://doi.org/10.51419/20216602>
15. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. №3. С. 3-9. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9>
16. Кузнецова Л.В., Мазуров В.Н. Технология возделывания кукурузы для получения консервированного плющеного зерна (на примере Калужской области) // Кормопроизводство. 2021. № 5. С. 26-30.
17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2. М.: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 197 с.
18. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов имени В.Р. Вильямса, 1997. 156 с.
19. Никифорова С.А., Власов В.Г. Продуктивность и кормовая ценность сорговых культур в Ульяновской области: монография. Ульяновск: Изд-во Ульяновский государственный технологический университет, 2021. 124 с.
20. Персикова Т.Ф., Блохина Е.А. Возделывание сорго в Беларуси: монография. Горки: Изд-во Белорусская ГСХА, 2018. 144 с.
21. Пигарев И.Я., Степкина И.И., Салтык И.П. Эффективность выращивания сорго на корм в условиях лесостепи России. Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV междунар. науч. конф. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. С. 512-515.

22. Ремонтантность - залог высокой урожайности при неблагоприятных условиях выращивания. URL: <https://www.agrodialog.com.ua> (дата обращения: 29.02.2024).
23. Свист М.Е. Совершенствование элементов технологии возделывания сорговых культур на серых лесных почвах юго-западной части Центрального региона России: дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2011. 167 с.
24. Солнцева О.И. Действие гербицидов на химический состав корма из кукурузы // Агрохимический вестник. 2019. № 2. С. 65-67. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10031>
25. Ториков В.Е., Бельченко С.А., Дронов А.В., Дьяченко В.В., Ланцев В.В. Кукуруза и сорго в интенсивном земледелии юго-запада Центрального региона России: монография. Брянск, Брянский ГАУ, 2018. 208 с.
26. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. Павловск: Типография ВИР, 1977. 80 с.
27. Шкодина Е.П. Биологические основы выращивания сорго на Северо-Западе Нечерноземной зоны // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. №22(4). С. 531-541. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541>
28. Якушевский Е.С., Варадинов С.Г., Корнейчук В.А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. Л.: ВИР, 1982. 36 с.
29. Abebe T., Belay G., Tadesse T., Keneni G., Stay-green genes contributed for drought adaptation and performance under post-flowering moisture stress on sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Journal of Plant Breeding and Crop Science, 2021, vol.13, no. 4, pp. 190-202. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2020.0894>
30. Arshad A., Abbas A., Rehman A.U. Mechanism of drought stress tolerance in maize // Biol. Agri. Sci. Res. J., 2022, vol. 1, no. 3. <https://doi.org/10.54112/basrj.v2022i1.3>
31. Belous N.M., Belchenko S.A., Dronov A.V., Zaitseva O.A., Mameev V.V. Influence of growth regulators on the development and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) and sorghum crops (*Sorghum* spp.) // Journal of Critical Reviews. China (Taipei), 2020, vol. 7, issue 12, pp. 1925-1935. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.12.296>
32. Galyuon I.K., Gay A.P., Hash C.T., Bidingier F.R., Howarth C.J. A comparative assessment of the performance of a stay-green sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) introgression line developed by marker-assisted selection and its parental lines // African Journal of Biotechnology, 2019, vol. 18, no. 26, pp. 548-563. <https://doi.org/10.5897/AJB2019.16826>
33. George-Jaeggli B., Mortlock M.Y., Borrell A.K. Bigger is not always better: Reducing leaf area helps stay-green sorghum use soil water more slowly // En-

- viron. Exp. Bot., 2017, vol. 138, pp. 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.002>
34. Kazungu F.K., Muindi E. M., Mulinge J. M. Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya // *International Journal of Plant & Soil Science*, 2023, vol. 35, no. 1, pp. 62-71. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i12744>
35. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent advances for drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): present status and future prospects // *Front. Plant Sci.*, 2022, no. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
36. Tiwari M., Singh S., Kumar S., Chauhan R. S., Tiwari U., Pushpendra, Singh A. Study on Correlation and Path Analysis in Forage Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] // *International Journal of Plant & Soil Science*, 2024, vol. 36, no. 4, pp. 52-59. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i44452>
37. Tonapi V.A., Talwar H.S., Are A.K., Bhat B.V., Reddy Ch. R., Dalton T.J. Sorghum in the 21st Century: Food - Fodder -Feed - Fuel for a Rapidly Changing World(eBook). Springer, 2020. 932 p.

References

1. Alabushev A.V., Shishova E.A., Romanyukin A.E., Yermolina G.M., Gorpichenko S.I. Proiskhozhdeniye sorgo i razvitiye yego selektsii [The origin of sorghum and the development of its breeding]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU* [Polythematic Online Electronic Scientific Journal of KubGAU], 2017a, no.127, pp. 281-294. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>
2. Alabushev A.V., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Gorpichenko S.I., Yermolina G.M. Osnovnyye faktory povysheniya urozhaynosti i kachestva zelenoy massy sorgo [The main factors of increasing the yield and quality of sorghum green mass]. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2017b, no. 6, pp. 50-55. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36498> (accessed February 25, 2024).
3. Bel'chenko S.A., Dronov A.V., Vas'kina T.I. Osobennosti biologii, opyt vozde-lyvaniya i perspektivy pererabotki sorgo sakharnogo na yugo-zapade Tsen-tral'noy Rossii [Features of biology, cultivation experience and prospects of processing of sugar sorghum in the south-west of Central Russia]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2019, no. 2(46), pp. 24-32. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-2-24-32>

4. Vas'kina T.I. *Agroekonomicheskoye obosnovaniye vozdeleyvaniya kormovogo (sakharnogo) sorgo v usloviyakh yugo-zapada Tsentral'nogo regiona Rossii* [Agro-economic justification of forage (sugar) sorghum cultivation in conditions of south-west Central region of Russia]. Scientific report on the main results of scientific qualification work (dissertation). Bryansk, 2021, 29 p.
5. Vertikova E.A. Seleksiya zernokormovykh kultur v usloviyakh Povolzhya [Breeding of grain feed crops in the conditions of the Volga region]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Scientific Discoveries], 2016, no. 9(81), pp. 74-93. <https://doi.org/10.12731/wsd-2016-9-74-93>
6. Vertikova E.A., Kuznetsova A.N. Izucheniye selektsionnykh liniy sakharnogo sorgo po kompleksu priznakov v usloviyakh Nizhnego Povolzhya [The study of breeding lines of sugar sorghum by a complex of characteristics in the conditions of the Lower Volga region]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2018, vol.10, no. 1, pp. 12-29. <https://doi.org/10.12731/wsd-2018-1-12-29>
7. Verkholamochkin S.V., Bel'chenko S.A., Vas'kina T.I. Agroekologicheskoye ispytaniye sortov i gibridov sorgo kormovogo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] v usloviyakh yugo-zapadnoy chasti Tsentral'noy Rossii [Agroecological testing of varieties and hybrids of forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in the conditions of the south-western part of Central Russia]. *Vestnik Kurskoy GSKHA* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2021, no. 3, pp. 27-38.
8. Verkholamochkin S.V. *Formirovaniye vysokoproduktivnykh posevov sorgo kormovogo v usloviyakh Tsentral'nogo regiona Rossii* [Formation of highly productive forage sorghum crops in conditions of the Central region of Russia]. Dissertation ... candidate of agricultural sciences. Bryansk, 2022, 130 p.
9. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Alliance, 2014, 351 p.
10. Dronov A.V. *Agrobiologicheskoye obosnovaniye introduktsii sorgovykh kul'tur v yugo-zapadnyy region Nechernozem'ya Rossii* [Agrobiological rationale for introduction of sorghum crops into the southwestern of Non-Black Earth Region of Russia]. Dissertation ... doctor of agricultural sciences. Bryansk, 2007, 404 p.
11. Dronov A.V., Bel'chenko D.S. Urozhaynost' kormovoy massy sorgo sakharnogo (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers) v zavisimosti ot plotnosti poseva na yugo-zapade Nechernozem'ya [The yield of feed mass sugar sorghum (*Sorghum saccharatum* (L.) Pers) depending on the density of sowing in south-west of the Non-Chernozem region]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2023, no. 5, pp. 28-31. <https://doi.org/10.25802/SB.2023.56.52.006>

12. D'yachenko V.V. *Nauchnoye soprovozhdeniye vozdeleyvaniya sudanskoy travy v yugo-zapadnoy chasti Nechernozemnoy zony* [Scientific support for cultivation of Sudanese grass in southwestern part of the Non-Chernozem Zone]. Dissertation ... doctor of agricultural sciences. Bryansk, 2009, 448 p.
13. Kagermazov A.M., Khachidogov A.V. Mekhanizmy zasukhoustoychivosti kukuruzy [Mechanisms of corn drought resistance]. *Innovatsii i prodovol'stvennaya bezopasnost'* [Innovation and food security], 2018, no. 2, pp. 62-65. <https://doi.org/10.31677/2311-0651-2018-0-2-62-65>
14. Kameneva O.B., Kibalnik O.P., Yefremova I.G., Semin D.S., Kalinin YU.A. Sakharoye sorgo kak sakharonos i alternativnyy istochnik bioenergii (obzor) [Sugar sorghum as a sugar-bearing and alternative source of bioenergy (review)], *AgroEkoInfo: Elektronnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal*, 2021, no. 5. <https://doi.org/10.51419/20216602>
15. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. Ispolzovaniye sorgo sakharogo v kachestve istochnika pitatelnykh veshchestv dlya cheloveka (obzor literatury) [The use of sugar sorghum as a source of nutrients for humans (literature review)]. *Zernovoye khozyaystvo Rossii* [Grain farming in Russia], 2019, no. 3, pp. 3-9. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-3-9>
16. Kuznetsova L.V., Mazurov V.N. Tekhnologiya vozdeleyvaniya kukuruzy dlya polucheniya konservirovannogo plyushchenogo zerna (na primere Kaluzhskoy oblasti) [Technology of corn cultivation for the production of canned flattened grain (on the example of the Kaluga region)]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder Production], 2021, no. 5, pp. 26-30.
17. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vypusk 2* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 2]. Moscow: State Commission for variety testing of agricultural crops, 1989, 197 p.
18. *Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kulturami* [The methodology of the state variety testing of agricultural crops]. Moscow: V.R. Williams Institute of Feed, 1997, 156 p.
19. Nikiforova S.A., Vlasov V.G. *Produktivnost' i kormovaya tsennost' sorgovykh kul'tur v Ul'yanovskoy oblasti* [Productivity and feed value of sorghum crops in the Ulyanovsk region]. Ulyanovsk: Ulyanovsk State Technological University Publ, 2021, 124 p.
20. Persikova T.F., Blokhina E.A. *Vozdeleyvaniye sorgo v Belarusi* [Sorghum cultivation in Belarus]. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy Publ, 2018, 144 p.
21. Pigarev I.Ya., Stepkina I.I., Saltyk I.P. Effektivnost' vyrashchivaniya sorgo na korm v usloviyakh lesostepi Rossii [Efficiency of growing sorghum for fodder in the conditions of the forest-steppe of Russia]. *Agroekologicheskiye aspekty*

- ustoychivogo razvitiya APK* [Agroecological aspects of sustainable development of agro-industrial complex]: materials of the XIV International scientific conf. Bryansk: Bryansk GAU Publ, 2017, pp. 512-515.
22. Remontant type is a key to high yields under unfavorable growing conditions. [https:// www.agrodialog.com.ua](https://www.agrodialog.com.ua)
 23. Svist M.E. *Sovershenstvovaniye elementov tekhnologii vozdeleyvaniya sorgovykh kul'tur na serykh lesnykh pochvakh yugo-zapadnoy chasti Tsentral'nogo regiona Rossii* [Improving elements of technology for cultivating sorghum crops on gray forest soils in southwestern part of the Central region of Russia]. Dissertation ... candidate of agricultural sciences. Bryansk, 2011, 167 p.
 24. Solntseva O.I. Deystviye gerbitsidov na khimicheskiy sostav korma iz kukuruzy [The effect of herbicides on the chemical composition of corn feed]. *Agrokhimicheskiy Vestnik* [Agrochemical Bulletin], 2019, no. 2, pp. 65-67. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10031>
 25. Torikov V.E., Bel'chenko S.A., Dronov A.V., D'yachenko V.V., Lantsev V.V. *Kukuruza i sorgo v intensivnom zemledelii yugo-zapada Tsentral'nogo regiona Rossii* [Corn and sorghum in intensive agriculture in the south-west of the Central region of Russia]. Bryansk, Bryansk GAU Publ, 2018, 208 p.
 26. *Shirokiy unifitsirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodnyy klassifikator SEV vidov Zea mays L.* [The wide unified classifier of CMEA and the international classifier of CMEA species *Zea mays* L.]. Pavlovsk: VIR Publ, 1977, 80 p.
 27. Shkodina E.P. Biologicheskiye osnovy vyrashchivaniya sorgo na Severo-Zapade Nechernozemnoy zony [Biological basis of sorghum cultivation in the North-West of the Non-Chernozem zone]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* [Agricultural science of the Euro-Northeast], 2021, no. 22(4), pp. 531-541. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541>
 28. Yakushevsky E.S., Varadinov S.G., Korneychuk V.A., Banyai L. *Shirokiy unifitsirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodnyy klassifikator SEV vozdeleyvayemykh vidov roda Sorghum Moench* [The broad unified classifier of CMEA and the international classifier of CMEA of cultivated species of the genus *Sorghum Moench*]. Leningrad: VIR, 1982, 36 p.
 29. Abebe T., Belay G., Tadesse T., Keneni G., Stay-green genes contributed for drought adaptation and performance under post-flowering moisture stress on sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 2021, vol. 13, no. 4, pp. 190-202. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2020.0894>
 30. Arshad A., Abbas A., Rehman A.U. Mechanism of drought stress tolerance in maize. *Biol. Agri. Sci. Res. J.*, 2022, vol. 1, no. 3. <https://doi.org/10.54112/basrj.v2022i1.3>
 31. Belous N.M., Belchenko S.A., Dronov A.V., Zaitseva O.A., Mameev V.V. Influence of growth regulators on the development and productivity of soybean (Gly-

- cine max (L.) and sorghum crops (*Sorghum* spp.). *Journal of Critical Reviews*, 2020, vol.7, issue 12, pp. 1925-1935. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.12.296>
32. Galyuon I.K., Gay A.P., Hash C.T., Biding F.R., Howarth C.J. A comparative assessment of the performance of a stay-green sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) introgression line developed by marker-assisted selection and its parental lines. *African Journal of Biotechnology*, 2019, vol. 18, no. 26, pp. 548-563. <https://doi.org/10.5897/AJB2019.16826>
33. George-Jaeggli B., Mortlock M.Y., Borrell A.K. Bigger is not always better: Reducing leaf area helps stay-green sorghum use soil water more slowly. *Environ. Exp. Bot.*, 2017, vol. 138, pp. 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.002>
34. Kazungu F.K., Muindi E.M., Mulinge J.M. Overview of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.), its Economic Importance, Ecological Requirements and Production Constraints in Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2023, vol. 35, no. 1, pp. 62-71. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i12744>
35. Sheoran S., Kaur Y., Kumar S., Shukla S., Rakshit S., Kumar R. Recent advances for drought stress tolerance in maize (*Zea mays* L.): present status and future prospects. *Front. Plant Sci.*, 2022, no. 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.872566>
36. Tiwari M., Singh S., Kumar S., Chauhan R. S., Tiwari U., Pushpendra, Singh A. Study on Correlation and Path Analysis in Forage Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *International Journal of Plant & Soil Science*, 2024, vol. 36, no. 4, pp. 52-59. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i44452>
37. Tonapi V.A., Talwar H.S., Are A.K., Bhat B.V., Reddy Ch. R., Dalton T.J. *Sorghum in the 21st Century: Food - Fodder - Feed - Fuel for a Rapidly Changing World* (eBook). Springer, 2020, 932 p.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дронов Александр Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
dronov.bsgha@yandex.ru

Бельченко Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
sabel032@rambler.ru

Дьяченко Владимир Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрономии, селекции и семеноводства
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
vvd16777@yandex.ru

Сычев Сергей Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
bgsha@bgsha.com

Малявко Галина Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
ФГБОУ ВО Брянский государственный аграрный университет
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
MalyavkoGP@bgsha.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. Dronov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky district, 243365, Bryansk region, Russian Federation
dronov.bsgha@yandex.ru
SPIN-code: 7580-0523
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5398-4822>

Sergei A. Belchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky district, 243365, Bryansk region, Russian Federation
sabel032@rambler.ru
SPIN-code: 1938-4203
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7467-8314>

Vladimir V. Dyachenko, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky district, 243365, Bryansk region, Russian Federation
vvd16777@yandex.ru
SPIN-code: 7970-2041
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6302-9113>

Sergei M. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky district, 243365, Bryansk region, Russian Federation
bgsha@bgsha.com
SPIN-code: 9450-7299
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0941-2963>

Galina P. Malyavko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky district, 243365, Bryansk region, Russian Federation
MalyavkoGP@bgsha.com
SPIN-code: 8679-6466
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2844-3324>

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 02.06.2024

Принята 26.06.2024

Received 29.03.2024

Revised 02.06.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1004

EDN: KQYUTJ

УДК 633.491:632.4:632.952



Научная статья

ГРИБЫ КОМПЛЕКСА ВИДОВ *Fusarium solani* В МИКОБИОТЕ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ: ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ, ПАТОГЕННОСТЬ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ФУНГИЦИДАМ

А.С. Орина, О.П. Гаврилова, И.И. Трубин, Т.Ю. Гагзаева

Аннотация

Обоснование. Фузариозная сухая гниль картофеля приводит к потере урожая в период хранения, в также ухудшает семенное качество клубней. Разнообразие видового состава возбудителей заболевания, а также их агрессивность и чувствительность к фунгицидам, применяемым для защиты картофеля, значительно варьирует.

Цель – молекулярно-генетическая идентификация и характеристика физиолого-биохимических свойств грибов комплекса видов *Fusarium solani* (FSSC), выделенных из клубней картофеля с симптомами фузариозной сухой гнили.

Материалы и методы. В исследование включили 9 штаммов грибов FSSC, выделенных из клубней картофеля различного географического происхождения. Определение видовой принадлежности штаммов проводили с помощью филогенетического анализа последовательностей *tef* и *rpb2*. Проанализировали скорость роста грибов *Fusarium* в диапазоне температур 5–35 °С. Патогенность штаммов оценивали в результате инокуляции клубней картофеля сортов Гала и Импала. Чувствительность штаммов к четырем действующим веществам, выявляли при их культивировании на питательной среде с добавлением фунгицидов в различных концентрациях.

Результаты. Установлена принадлежность анализированных штаммов к четырем видам: *F. mori* (1 штамм), *F. noneumartii* (4), *F. stercicola* (2) и *F. vanettenii* (2). Оптимальными для роста штаммов *F. noneumartii*, *F. stercicola* и *F. vanettenii* оказался диапазон температур 25–30 °С, а для штамма *F. mori* – 30 °С. Все анализированные штаммы не росли на питательной среде при температуре 5 °С, пять штаммов продемонстрировали способность к росту при 35 °С. Агрессивность штаммов разных видов к клубням картофеля двух

сортов значительно варьировала. Наиболее агрессивные оказались штаммы вида *F. noneumartii*. Сорт Импала, по сравнению с сортом Гала, оказался более устойчивым к инфицированию грибами *F. stercicola* и *F. vanettenii*, однако более восприимчивым к *F. mori*. Препарат, содержащий беномил, наиболее эффективно ингибировал рост всех штаммов, по сравнению с другими препаратами. Все штаммы *F. noneumartii* проявили резистентность к препарату, содержащему азоксистробин, но оказались чувствительными к препарату, содержащему флудиоксонил. Тогда как все анализированные штаммы *F. mori*, *F. stercicola* и *F. vanettenii* проявили перекрёстную резистентность к двум монопрепаратам, содержащим азоксистробин и флудиоксонил.

Заключение. При создании современных систем защиты картофеля от возбудителей фузариозной сухой гнили, необходимо применение патоген-ориентированных подходов, включающих не только культивирование устойчивых сортов, оценку видового состава грибов в конкретном регионе, но их чувствительности к применяемым фунгицидам.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*; *Fusarium*; сухая гниль клубней картофеля; температура; агрессивность; фунгициды; резистентность, сорт

Для цитирования. Орина А.С., Трубин И.И., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю. Грибы комплекса видов *Fusarium solani* в микобиоте клубней картофеля: видовое разнообразие, патогенность и чувствительность к фунгицидам // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 286-312. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1004

Original article

DIVERSITY OF FUNGI WITHIN *Fusarium solani* SPECIES COMPLEX OCCURRING ON POTATOES, THEIR PATHOGENICITY AND SENSITIVITY TO FUNGICIDES

A.S. Orina, O.P. Gavrilova, I.I. Trubin, T.Yu. Gagkaeva

Abstract

Background. *Fusarium* dry rot leads to yield loss of potato during storage and also reduces the quality of seed tubers. The diversity of *Fusarium* species caused the disease, as well as their aggressiveness and sensitivity to fungicides used for plant protection, varies significantly.

Purpose is the molecular genetic identification of *Fusarium* fungi from *F. solani* species complex (FSSC) isolated from potato tubers with dry rot symptoms, and the characterization of their physiological and biochemical features.

Materials and methods. The nine FSSC strains isolated from potato tubers of different geographical origin strains were included in the study. The species identification was carried out using phylogenetic analysis of *tef* and *rpb2* loci. The growth rate of *Fusarium* fungi was analyzed in the temperature range of 5–35 °C. The pathogenicity of strains was assessed as a result of inoculation of potato tubers cvs. Gala and Impala. The sensitivity of the strains to active substances was determined by cultivation them on a nutrient medium with the addition of fungicides in various concentrations.

Results. The strains were identified as *F. mori* (1 strain), *F. noneumartii* (4), *F. stercicola* (2) and *F. vanettenii* (2) species. The optimal temperature for the growth of *F. noneumartii*, *F. stercicola* and *F. vanettenii* strains was the range of 25–30 °C, and for the *F. mori* strain – 30 °C. All analyzed strains did not grow on a PSA at temperature of 5 °C, five strains demonstrated the ability to grow at 35 °C. The aggressiveness of strains to potato tubers of two cultivars varied significantly. The *F. noneumartii* strains can be characterized as consistently highly aggressive. The cv. Impala compared to cv. Gala turned out to be more resistant to infection with *F. stercicola* and *F. vanettenii* fungi and more susceptible to *F. mori*. The fungicide containing benomyl inhibited the growth of all strains most effectively, compared to other fungicides. The *F. noneumartii* strains have demonstrated the high resistance to azoxystrobin, but they were sensitive to fludioxonil. In all analyzed strains of *F. mori*, *F. stercicola* and *F. vanettenii* was detected the cross-resistance to azoxystrobin and fludioxonil.

Conclusion. The modern pathogen-oriented system of potato protection from *Fusarium* dry rot includes analysis of *Fusarium* species composition in a particular region, as well as the sensitivity of fungi to widely applied fungicides should be used.

Keywords: *Solanum tuberosum*; *Fusarium*; dry rot of potato tubers; temperature; aggressiveness; fungicides; resistance, cultivar

For citation. Orina A.S., Trubin I.I., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. Diversity of Fungi within *Fusarium solani* Species Complex Occurring on Potatoes, their Pathogenicity and Sensitivity to Fungicides. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 286-312. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1004

Введение

Клубни картофеля содержат 70-75 % воды, что делает их благоприятным субстратом для роста грибов. Фузариозная сухая гниль картофеля (ФСГК),

вызываемая грибами рода *Fusarium*, является широко распространенным вредоносным заболеванием, вызывающим потери урожая в период хранения, в также снижающим семенное качество клубней [1; 7; 20; 48]. Заболевание проявляется в виде бурых пятен, иногда с темной каймой, сопровождающихся образованием концентрических колец и сморщиванием перидермы.

Согласно современным представлениям среди возбудителей сухой гнили могут встречаться до 13 видов *Fusarium*, состав которых существенно зависит от условий выращивания картофеля [2; 10; 11]. Среди них часто преобладает вид *F. sambucinum* [3; 12; 20; 21]. Также с высокой частотой в микобиоте клубней встречаются представители комплексов видов *F. solani* [20; 43; 45] и *F. oxysporum* [2; 16; 23]. Агрессивность разных видов *Fusarium* в отношении клубней картофеля существенно варьирует [23; 25].

Среди грибов *Fusarium* комплекс видов *F. solani* является одним из самых больших и в настоящее время насчитывает более 110 филогенетических видов [35]. Ввиду сходства микро- и макроморфологических характеристик этих грибов, корректная идентификация видов требует привлечения филогенетического анализа нескольких локусов генома. В связи с появившимися возможностями установления корректного видового статуса патогенов возникла необходимость уточнения их распространения и выявления свойств. До настоящего времени такие исследования на территории РФ не проводились, сведения о распространении, как правило, относятся к морфологически идентифицированным штаммам, а их свойства во много остаются неизученными. Новые знания о видовом разнообразии возбудителей сухой гнили из комплекса *F. solani* и влиянии условий окружающей среды на их характеристики необходимы для выявления возможностей профилактики заболевания и разработки методов борьбы с ним.

Цель исследования

Целью исследования являлась молекулярно-генетическая идентификация и характеристика физиолого-биохимических свойств грибов комплекса видов *F. solani*, выделенных из клубней картофеля с симптомами фузариозной сухой гнили.

Материалы и методы исследования

Материал исследования. В качестве объектов исследования были выбраны 9 штаммов грибов, выделенных из клубней картофеля, и предварительно морфологически идентифицированных как представителей комплекса видов *F. solani* (Таблица 1).

Таблица 1.

Штаммы грибов *Fusarium*, включенные в исследование

Вид	Номер штамма в коллекции	Субъект РФ	Номер нуклеотидной последовательности в GenBank	
			<i>tef</i>	<i>rpb2</i>
<i>F. mori</i>	MFG 70147	Самарская обл.	OR020716	OR727777
<i>F. noneumartii</i>	MFG 70154	Башкортостан	OR020719	OR727778
<i>F. noneumartii</i>	MFG 70155	Башкортостан	OR020720	OR727779
<i>F. noneumartii</i>	MFG 70176	Московская обл.	OR020731	OR727781
<i>F. noneumartii</i>	MFG 70177	Московская обл.	OR020732	OR727782
<i>F. stercicola</i>	MFG 70108	Псковская обл.	OR020705	OR727775
<i>F. stercicola</i>	MFG 70141	Ставропольский край	OR020715	OR727776
<i>F. vanettenii</i>	MFG 70164	Чувашия	OR020726	OR727780
<i>F. vanettenii</i>	MFG 80216	Псковская обл.	OR020740	OR727783

Молекулярно-генетические методы. Выделение ДНК из 10-50 мг мицелия, собранного с поверхности колонии гриба, проводили по адаптированной методике с помощью 2% раствора цетилтриметиламмоний бромиды и хлороформа. Для установления филогенетических отношений между штаммами *Fusarium* spp. амплифицировали фрагмент гена фактора элонгации трансляции EF-1a (*tef*) и фрагмент гена, кодирующего большую субъединицу РНК полимеразы II типа (*rpb2*) с использованием праймеров и протоколов авторов [32; 34; 36].

Нуклеотидную последовательность фрагментов определяли на секвенаторе ABI Prism 3500 (Applied Biosystems, Hitachi, Япония) с использованием набора реактивов BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, США). Процедуры ручного редактирования хроматограмм и получение консенсусных нуклеотидных последовательностей проводили с помощью программ Vector NTI Advance 10 (Thermo Fisher Scientific). Полученные последовательности были депонированы в базу данных NCBI GenBank (Таблица 1).

В филогенетический анализ были включены последовательности репрезентативных штаммов *Fusarium* spp. из коллекций Службы сельскохозяйственных исследований (NRRL, США), Института грибного биоразнообразия Вестердейк (CBS, Нидерланды) и других коллекций. Филогенетические отношения между таксонами оценивали методами максимального правдоподобия (maximum likelihood; ML) с помощью программы IQ-TREE 2 v.2.1.3 и максимальной экономии (maximum parsimony; MP) с

использованием программы MEGA X 10.1. Достоверность топологии филогенетических деревьев определяли посредством бутстрэп-анализа (1000 повторностей). Также рассчитывали байесовскую вероятность (Bayesian probability; BP) с помощью MrBayes v. 3.2.1 на платформе Armadillo 1.1 [33].

Анализ влияния температуры на рост грибов. Штаммы грибов предварительно выращивали на картофельно-сахарозном агаре (КСА) 7 суток в темноте при 25 °С. Затем стерильным пробочным сверлом вырезали диски диаметром 4 мм из края колонии и помещали их мицелием вниз на поверхность свежей КСА в центр пластиковой чашки Петри диаметром 85 мм. Культивировали штаммы в термостатируемых шкафах Innova 44R (Eppendorf, Германия) в диапазоне температур 5–35 °С с шагом 5 °С в течение недели без освещения. Эксперимент проводили в двухкратной повторности. На 7 сутки измеряли диаметр колоний грибов в двух взаимно перпендикулярных направлениях, вычитая размер инокуляционного диска. Скорость роста грибов определяли, как отношение расчетного диаметра колонии к числу суток культивирования (мм/сут).

*Анализ патогенности штаммов *Fusarium* к клубням картофеля.* Патогенность штаммов *Fusarium* оценивали при 23 °С в отношении клубней картофеля столовых сортов Гала и Импала, которые характеризуются сходным содержанием крахмала в клубнях (10,2–13,2 и 10,5–14,6 %) и относятся к среднеранней и ранней группе спелости, соответственно [4].

Клубни поверхностно стерилизовали 5 % гипохлоритом натрия в течение 2–3 мин, промывали водой и высушивали при комнатной температуре. Затем микробиологическим сверлом в области столона вырезали отверстие глубиной 20 мм и шириной 5 мм, сохраняя цилиндр вырезанной ткани. Из культур грибов, предварительно выращенных на КСА в течение 7 суток, микробиологическим сверлом вырезали диски диаметром 4 мм и помещали их внутрь вырезанного отверстия в клубне, которое закрывали сохранённым цилиндром. Одним штаммом инокулировали не менее 5 клубней, затем помещали их в пластиковые кюветы, неплотно закрывали крышкой и инкубировали при 23 °С в течение 4 недель. В контрольном варианте в отверстие помещали диск чистой среды КСА. Через две недели инкубации у клубней удаляли появившиеся проростки. Через 4 недели клубни разрезали пополам вдоль оси инокуляции и измеряли перпендикулярные размеры симптома поражения клубня (мм), рассчитывая среднее значение. Относительные размеры повреждений, вызванных грибами, для каждого варианта оценивали, исключая средние размеры инокуляционного канала в контроле.

*Анализ чувствительности штаммов *Fusarium* к фунгицидам.* Определяли влияние на рост штаммов трёх монофунгицидов, содержащих действующие вещества (д.в.) из химических классов бензимидазола, стробилурины и фенилпирролы, а также двухкомпонентный фунгицид, содержащий амиды и триазолы (Таблица 2).

Таблица 2.

Фунгициды препараты, включенные в исследование

Препарат	Действующее вещество	Норма расхода кг, л*	Применение
Бенорад, СП	беномил, 500 г/кг	0.5–1	Предпосадочная обработка клубней. Расход рабочей жидкости – 2 л/т.
Максим, КС	флудиоксонил, 25 г/л	0.4	Опрыскивание клубней перед закладкой на хранение. Расход рабочей жидкости – до 10 л/т
Квадрис, СК	азоксистробин, 250 г/л	3	Опрыскивание почвы во время посадки клубней. Расход рабочей жидкости – 80-200 л/га.
Эместо Сильвер, КС	пенфлуфен, 100 г/л + протиоконазол, 18 г/л	0.4	Обработка клубней до или во время посадки. Расход рабочей жидкости – 10-20 л/т

* «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов», разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2023

Препараты разводили в стерильной воде таким образом, чтобы получить концентрацию рабочего раствора для обработки клубней или почвы, содержащего максимальную норму расхода, рекомендованную для использования (Таблица 2). В дальнейшем рабочие растворы последовательно десятикратно разводили стерильной водой и вносили в охлажденный до 50 °С КСА. Конечные концентрации препаратов в среде составляли 1; 0,1; 0,01 и 0,01 % от концентрации рабочего раствора. После тщательного перемешивания КСА разливали по 20 мл в чашки Петри диаметром 85 мм.

Из культур грибов, предварительно выращенных на КСА в течение 7 сут., вырезали диски диаметром 4 мм, которые мицелием вниз помещали на поверхность питательной среды в центр каждой чашки Петри. В контрольном варианте диск помещали на поверхность чистой КСА. Через 7 сут. инкубации в темноте при 25 °С определяли средний диаметр колонии гриба, вычитая размер инокуляционного диска. Эксперимент проводили в двух повторностях. Действие фунгицида на линейный рост штамма оцени-

вали по снижению диаметра колонии в каждом варианте по сравнению с контролем, выраженному в процентах. Дополнительно с использованием программы Quest Graph™ EC50 Calculator рассчитывали полумаксимальную эффективную концентрацию фунгицида, приводящую к 50 % подавлению роста каждого штамма гриба (EC_{50}).

Статистический анализ. Расчёт средних значений показателей, их доверительных интервалов при уровне значимости 95 %, корреляционный анализ проводили с использованием статистических методов в программах Microsoft Excel 2010 и Statistica 10.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Идентификация штаммов с помощью молекулярно-генетических методов. Мультилокусный анализ нуклеотидных последовательностей 9 исследуемых штаммов, а также 64 рефересных штаммов *Fusarium* spp. из комплекса видов FSSC, включал 1489 пар нуклеотидов (п.н.) (*tef* – 669 п.н., *rpb2* – 820 п.н.), среди которых 1012 п.н. были консервативными, 467 п.н. – переменными, в т.ч. 354 п.н. (23.8 %) – информативными. Штамм *Geejayessia atrofusca* CBS 125482 был использован в качестве внешней группы. Филогенетическое отношения между штаммами представлены на Рисунке 1.

С высокой бутстрэп-поддержкой ML/MP/BP 100/100/1.0 четыре исследуемых штамма MFG 70154, MFG 70155, MFG 70176 и MFG 70177 формировали кладу с двумя референсными штаммами *F. noneumartii*. Два штамма MFG 70108 и MFG 70141 класеризовались совместно с референсными штаммами *F. stercicola* (ML/MP/BP 100/100/1.0), два штамма MFG 70164 и MFG 80216 формировали кладу с референсными штаммами *F. vanettenii* (ML/MP/BP 98/95/0.95), еще один штамм MFG 70147 формировал кладу с типовым штаммом *F. mori* (ML/MP/BP 100/98/1.0). Таким образом, установлена принадлежность анализируемых штаммов к четырём видам комплекса FSSC.

В РФ при анализе видового состава микобиоты клубней картофеля с симптомами фузариозной сухой гнили идентификацию грибов, как правило, проводят только по морфологическим признакам. Поэтому, ученые-исследователи, селекционеры и менеджеры компаний, производящих пестициды, работают со штаммами, идентифицированными как *F. solani*. Начиная с 2021 г. появилась единичная информация об обнаружении филогенетических видов комплекса FSSC, например, *F. vanettenii* [2; 5]. В данном исследовании мы идентифицировали четыре вида FSSC, ассоциированных с сухой гнилью клубней картофеля, – *F. mori*, *F. noneumartii*, *F. stercicola* и *F. vanettenii*, которые кроме картофеля выявляли на растениях разных семейств в Азии [9; 19; 31; 41; 50], Африке [27] и Северной Америке [41].

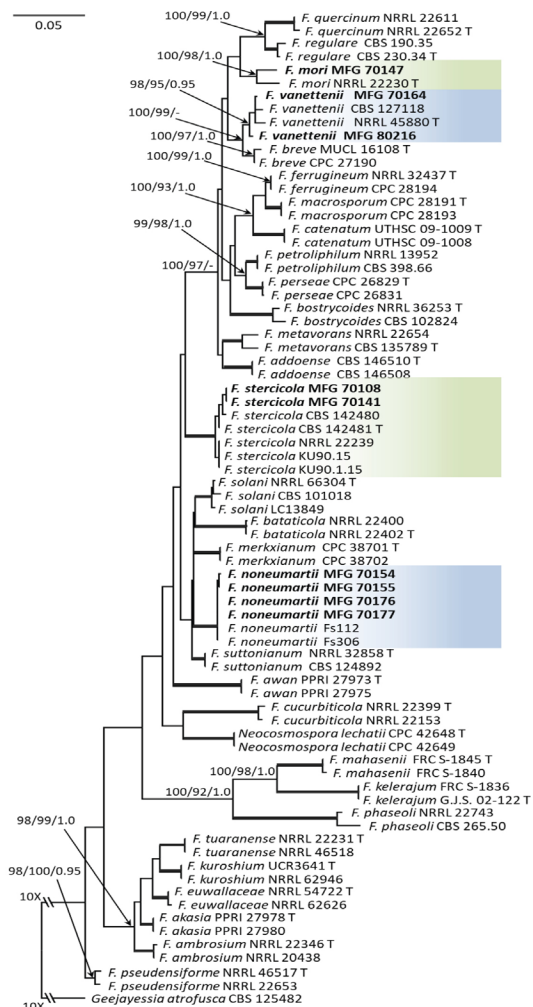


Рис. 1. Дендрограмма филогенетического сходства *Fusarium* spp., построенная на основе комбинированных нуклеотидных последовательностей фрагментов генов *tef* и *rpb2* методом максимального правдоподобия (ML). В узлах приведены значения бутстреп-поддержки (> 70 %) при анализе методами ML и максимальной экономии (MP), а также значения Байесовская апостериорной вероятности BP (> 0.95). Утолщенные линии обозначают поддержку ML/MP 100 и BP 1.0. Полуужирным шрифтом отмечены штаммы из коллекции MFG, включенные в исследование.

Виды *F. stercicola* и *F. vanettenii* находили в почве и растительных остатках в Европе [14; 15; 42]. Очевидно, идентифицированные виды FSSC являются широко распространенными, неспециализированными патогенами, которые могут сохраняться на различных растениях.

Влияние температуры на рост штаммов. Температура 5 °C оказалась критически низкой, при которой все анализируемые штаммы были не способны к росту. В диапазоне температур 10–35 °C выявлены различия в скорости роста для представителей отдельных видов. При 10 °C, диаметр колоний у большинства штаммов не превышал в среднем 5 мм, за исключением штамма *F. noneumartii* MFG 70155, диаметр колонии которого составил 19 мм. При температуре 15–30 °C штаммы *F. vanettenii* характеризовались достоверно более медленной скоростью роста по сравнению со штаммами других видов (Рисунок 2). Оптимальным для роста штаммов *F. noneumartii*, *F. stercicola* и *F. vanettenii* оказался диапазон температур 25–30 °C, без достоверных различий. Тогда как для роста штамма *F. mori* наиболее благоприятной температурой являлась 30 °C, при которой диаметр его колонии составил $53,5 \pm 1,5$ мм, что в 1,2 раза больше, чем при 25 °C. При повышении температуры до 35 °C отмечено достоверное снижение роста всех анализируемых штаммов, вплоть до его полного прекращения у штаммов *F. noneumartii* MFG 70155, *F. vanettenii* MFG 80216 и обоих штаммов *F. stercicola*. Относительно толерантным к максимальной в эксперименте температуре являлся штамм *F. vanettenii* MFG 70164 из Чувашии — его скорость роста при 35 °C составила 5,5 мм/сутки, что в 1,7–8,3 раз выше, чем у штаммов других видов *Fusarium*, способных расти при такой температуре.

Как правило, рекомендуемая температура хранения семенного картофеля 2–4 °C [6], которая приводит к замедлению инфекционного процесса, вызываемого грибами *Fusarium*. Нарушение температурного режима может привести к значительным потерям картофеля. Отсутствие роста штаммов *F. solani* на питательной среде и их неспособность индуцировать некрозы при инокуляции клубней картофеля при 5 °C были установлены в работе Daami-Remadi с соавт. [18]. В нашем исследовании, температура культивирования 5 °C также являлась фактором, приводящим к неспособности анализируемых штаммов колонизировать питательный субстрат, но при повышении её значения до 10 °C наблюдался рост всех анализируемых штаммов, особенно интенсивный у одного штамма *F. noneumartii*. Поэтому, следует учитывать, что латентная инфекция при нарушении режимов хранения клубней, предназначенных на семенные цели, может представлять серьезную угрозу будущим посадкам.

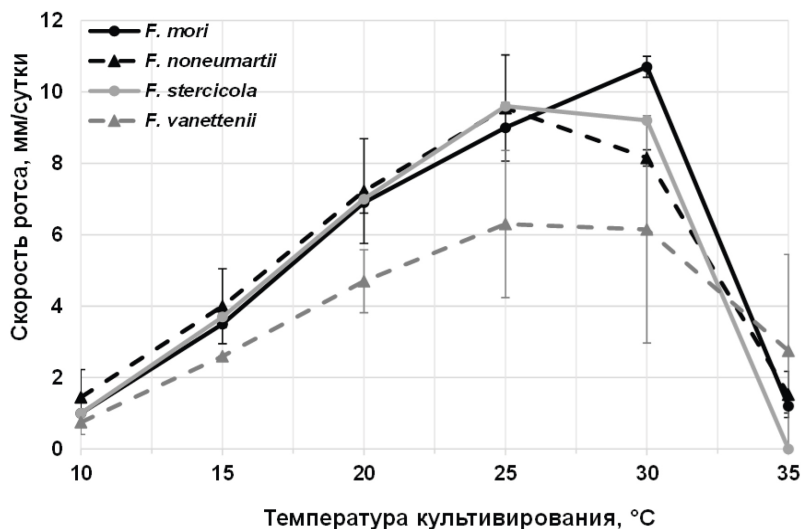


Рис. 2. Зависимость скорости роста штаммов грибов *Fusarium* от температуры культивирования (КСА, в темноте)

Патогенность штаммов к клубням картофеля. В контроле симптомов развития гнили клубней не выявлено, а размер механического повреждения составил в среднем $13,6 \pm 0,1$ для клубней сортов Гала и Импала.

Инокуляция клубней штаммами *F. noneumartii* и *F. mori* приводила к образованию не только некротической полости, как при инокуляции другими видами, но также к обширной мацерации окружающей ткани, достигающей перидермы клубня (Рисунок 3). Размягчение и увлажнение тканей, по всей видимости, возникающее под действием вторичных метаболитов данных грибов, мало похоже на классический симптом фузариозной сухой гнили, что следует учитывать при визуальной диагностике заболеваний клубней.

Корреляционный анализ выявил достоверную связь ($r=0,62$, при $p=0,076$) между агрессивностью анализируемых штаммов к клубням разных сортов картофеля. Штаммы *F. noneumartii* были высокоагрессивными к клубням сортов Гала и Импала — размеры повреждений варьировали в диапазоне 29,3–33,9 мм и 22,5–30,2 мм, соответственно (Рисунок 4). В то же время, размеры повреждений клубней с. Импала, вызванных штаммами *F. stercicola* и *F. vanettenii* были в среднем в 6,0 и 8,4 раз меньше, чем клубней с. Гала. Внутривидовая вариабельность агрессивности грибов

отмечена только для штаммов *F. vanettenii* в отношении клубней одного сорта – Гала. При инокуляции клубней разных сортов штаммом *F. mori* достоверно большее повреждение тканей выявлено у с. Импала, чем с. Гала.



Рис. 3. Симптомы поражения клубней сортов Гала и Импала при инокуляции штаммами грибов комплекса видов *Fusarium solani* (23 °C, 4 недели, в темноте).

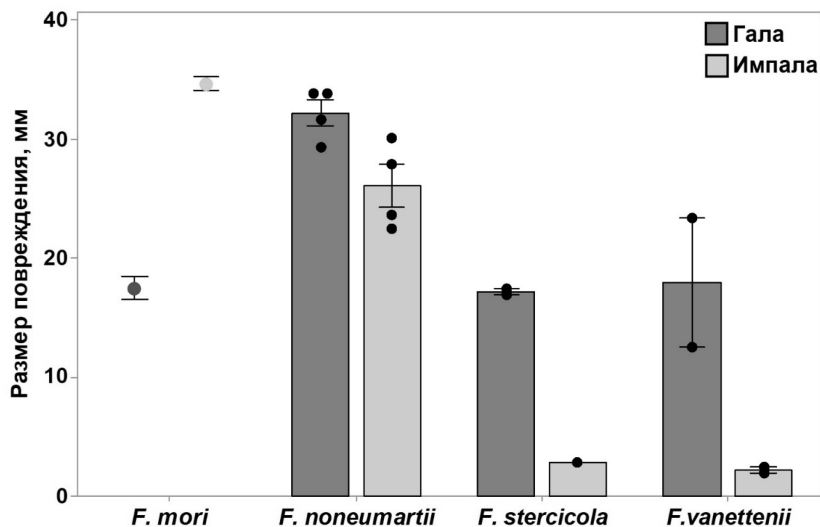


Рис. 4. Относительные размеры повреждения клубней картофеля сортов Гала и Импала при инокуляции грибами *Fusarium* (23 °C, 4 недели, темнота). Точками указаны значения для индивидуальных штаммов, столбик обозначает среднее для выборки штаммов, отрезками указаны стандартные отклонения.

Многие исследователи отмечали, что среди грибов комплекса видов *F. solani* могут встречаться как высокоагрессивные к клубням штаммы, так и непатогенные [13; 26; 30]. В нашем исследовании проведён анализ патогенности, который выявил, что штаммы *F. noneumartii* являлись наиболее агрессивными и вызывали обширные некрозы и размягчение тканей клубней, независимо от сорта картофеля. В то время как, агрессивность штаммов других видов значительно различалась по отношению к клубням двух анализируемых сортов.

Различия сортов картофеля по устойчивости к инфицированию грибами *Fusarium* – возбудителями фузариозной сухой гнили, – неоднократно показаны [10; 11; 16; 23; 29; 37; 43; 49]. Несмотря на то, что в нашем исследовании были выбраны сорта картофеля, сходные по содержанию крахмала и другим характеристикам, у сорта Импала отмечена меньшая восприимчивость к инфицированию грибами *F. stercicola* и *F. vanettenii* и большая к *F. mori*.

Информация об агрессивности этих грибов, а также о восприимчивости сортов картофеля к фузариозу важна для характеристики взаимоотношений растения и патогена. Полученные нами результаты открывают перспективы скрининга устойчивости картофеля к определенным видам

Fusarium, а также демонстрируют необходимость выявления и внедрения эффективных генов устойчивости в новых сортах.

Чувствительность штаммов к фунгицидам. В контроле диаметр колоний штаммов *F. mori* составил $54,0 \pm 0,1$ мм, *F. stercicola* — $59,0 \pm 0,1$ и $61,0 \pm 2,0$ мм, *F. vanettenii* — $56,0 \pm 0,1$ и $55,5 \pm 0,5$ мм, а у штаммов *F. noneumartii* варьировал в диапазоне $46,5 \pm 0,5$ – $50,0 \pm 1,0$ мм. Добавление в питательную среду фунгицидов с различной эффективностью ограничивало рост штаммов грибов (Таблица 3).

Таблица 3.

Влияние препаратов на рост грибов *Fusarium* при культивировании на КСА, содержащей фунгициды в различных концентрациях

Вид <i>Fusarium</i> (число штаммов)	Действующее вещество	Процент подавления роста штаммов, % от контроля			
		1 *	0,1*	0,01*	0,001*
<i>F. mori</i> (1)	беномил, 500 г/кг	100 %	85 %	80 %	80 %
	азоксистробин, 250 г/л	24 %	24 %	24 %	11 %
	флудиоксонил, 25 г/л	0 %	2 %	24 %	9 %
	пенфлуфен, 100 г/л + протиокконазол, 18 г/л	76 %	20 %	4 %	2 %
<i>F. noneumartii</i> (4)	беномил, 500 г/кг	98–100 %	82–87 %	79–84 %	71–77 %
	азоксистробин, 250 г/л	30–38 %	28–34 %	21–26 %	2–14 %
	флудиоксонил, 25 г/л	73–87 %	74–85 %	35–68 %	1–8 %
	пенфлуфен, 100 г/л + протиокконазол, 18 г/л	69–74 %	13–20 %	–4–5 %	–6–3 %
<i>F. stercicola</i> (2)	беномил, 500 г/кг	100%; 100 %	93 %; 100 %	86 %; 90 %	76%; 82 %
	азоксистробин, 250 г/л	39 %; 41 %	34 %; 41 %	27 %; 31 %	10%; 11 %
	флудиоксонил, 25 г/л	27 %; 10 %	34 %; 8 %	81 %; 2 %	12 %; 0 %
	пенфлуфен, 100 г/л + протиокконазол, 18 г/л	78 %; 75 %	51 %; 30 %	5 %; 5 %	0 %; 3 %
<i>F. vanettenii</i> (2)	беномил, 500 г/кг	93 %; 98 %	82 %; 93 %	82 %; 80 %	80 %; 75 %
	азоксистробин, 250 г/л	27 %; 27 %	25 %; 23 %	20 %; 18 %	13 %; 11 %
	флудиоксонил, 25 г/л	18 %; 13 %	21 %; 11 %	54 %; 45 %	4 %; 9 %
	пенфлуфен, 100 г/л + протиокконазол, 18 г/л	80 %; 77 %	30 %; 23 %	7 %; 2 %	4 %; 4 %

* приведены концентрации препарата в среде, % от рабочего раствора

Присутствие беномила в питательной среде приводило к наиболее эффективному ингибированию роста всех видов грибов, по сравнению с дру-

гими препаратами: EC_{50} препарата для штаммов *F. mori* составила 0,00045 %, *F. noneumartii* – 0,0002–0,0008 %, *F. stercicola* – 0,0005 %, а *F. vanettenii* – 0,0004 и 0,0007 %.

Высокая эффективность бенонила, который относится к классу бензимидазолов, против большинства видов грибов *Fusarium*, вызывающих сухую гниль продемонстрирована многими исследователями [12; 16; 23; 40], причем в отдельных случаях подавление роста *F. solani* при добавлении бенонила в питательную среду составляло 100% [17]. Устойчивость грибов к д.в. из класса бензимидазолов ранее была выявлена у штаммов *F. sambucinum*, вызывающих сухую гниль клубней [23; 39]. Однако в нашем исследовании все анализируемые штаммы FSSC оказались чувствительными к бенонилу.

В данном исследовании штаммы *F. noneumartii* продемонстрировали резистентность к препарату, содержащему азоксистробин ($EC_{50} > 1$ %), но оказались достаточно чувствительными к препарату, содержащему флудиоксонил (EC_{50} варьировала от 0,005 до 0,01 %). В то же время, в отношении этих двух монопрепаратов у всех анализируемых штаммов *F. mori*, *F. stercicola* и *F. vanettenii* выявлена перекрёстная резистентность — EC_{50} препаратов превышала 1 %.

Меньшая эффективность азоксистробина в ограничении роста штаммов *F. solani* в сравнении с д.в. других классов ранее уже была выявлена [28; 46], как и снижение чувствительности штаммов *Fusarium* spp., вызывающих гниль клубней картофеля к флудиоксонилю [24; 38].

Добавление в среду двухкомпонентного препарата, содержащего пенфлуфен и протиокназол, оказывало сходный ингибирующий эффект на рост всех анализируемых штаммов: EC_{50} препарата для штаммов *F. mori* составила 0,47 %, *F. noneumartii* — 0,19–0,41 %, *F. stercicola* — 0,22 и 0,26 %, а *F. vanettenii* — 0,27 и 0,15 %. Однако, при добавлении в КСА этого препарата в концентрациях 0,01 и 0,001 % отмечен гормезис – низкие дозы препарата оказывали стимулирующее действие на рост штаммов *F. noneumartii*, по сравнению с контролем. Усиление роста фитопатогенных грибов под действием низких доз фунгицидов отмечалось ранее [8; 22; 44]. Например, для штаммов *F. virguliforme*, входящего в комплекс FSSC, выявлен гормезис при добавлении в питательную 1 мг/л флуапирама, по сравнению с контролем без фунгицида [47].

Заключение

Среди штаммов различного географического происхождения, по морфологическим признакам отнесенных к грибам комплекса видов *F. solani*,

с помощью филогенетического анализа идентифицированы *F. mori*, *F. noneumartii*, *F. stercicola* и *F. vanettenii*. Агрессивность грибов зависит от температуры хранения клубней и устойчивости сортов. В данном исследовании наиболее агрессивными в отношении двух сортов картофеля оказались штаммы *F. noneumartii*. Температура выше 10 °С стимулирует рост *Fusarium*, в то время как температура ниже 5 °С останавливает и рост грибов, и инфекционный процесс. Устойчивость сорта картофеля к разным видам *Fusarium* варьирует, и этот факт следует учитывать в селекционном процессе и при районировании сортов. Установлены различия грибов *Fusarium* по чувствительности к четырем фунгицидам. Выявлена меньшая эффективность азоксистробина в ограничении роста всех штаммов комплекса видов *F. solani* в сравнении с д.в. других классов. Определение точного видового состава возбудителей заболевания в регионах возделывания картофеля является необходимой основой для лучшего понимания взаимодействия растения и патогена, а также выбора эффективных стратегий защиты растений.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке РНФ (№ проекта 23-26-00105).

Список литературы

1. Анисимов Б.В., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н. Сухие и мокрые гнили клубней и их контроль в семеноводстве картофеля // Защита и карантин растений. 2017. № 5. С. 30–35.
2. Белосохов А.Ф., Ярмеева М.М., Долгов А.М. и др. Грибы рода *Fusarium* на клубнях картофеля // Современная микология в России. 2022. Т. 9. С. 250–252.
3. Гагкаева Т.Ю., Орина А.С., Трубин И.И., и др. *Fusarium sambucinum* – возбудитель сухой гнили клубней картофеля // Вестник защиты растений. 2023. Т. 106. С. 137–145. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041>
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.1. «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформарпотех», 2023. 631 с. <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (дата обращения: 12.03.2024)

5. Прудникова С.В., Чураков А.А., Овсянкина С.В., Хижняк С.В. Выделение и идентификация автохтонных возбудителей болезней картофеля, распространенных в регионах Сибири // Биотехнология новых материалов – окружающая среда – качество жизни: Материалы IV Международной научной конференции, Красноярск, 10–13 октября 2021 года. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. С. 174–177.
6. Зейрук В.Н., Белов Г.Л., Васильева С.В. и др. Как избежать потерь при хранении картофеля // Защита и карантин растений. 2024. № 1. С. 14–17.
7. Хадиева Г.Ф., Лутфуллин М.Т., Акосах Й.А. и др. Анализ микромицетов рода *Fusarium*, изолированных из инфицированных клубней картофеля, выращенных в Республике Татарстан // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 34–39.
8. Agathokleous E., Calabrese E.J. Fungicide-induced hormesis in phytopathogenic fungi: A critical determinant of successful agriculture and environmental sustainability // Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, vol. 69, pp. 4561–4563. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01824>
9. Akhmetova G.K., Knapp D.G., Özer G. et al. Multilocus molecular phylogenetic-led discovery and formal recognition of four novel root-colonizing *Fusarium* species from northern Kazakhstan and the phylogenetically divergent *Fusarium steppicola* lineage // Mycologia, 2023, vol. 115, pp. 16–31. <https://doi.org/10.1080/00275514.2022.2119761>
10. Aydin M. H., İnal B. Comparative susceptibility of some commercial potato cultivars to *Fusarium sambucinum* and *F. solani* isolates // Applied Ecology and Environmental Research, 2018, vol. 16, no 4, pp. 4879–4892. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_48794892
11. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S. et al. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria // European Journal of Plant Pathology, 2021, vol. 159, pp. 495–509. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02177-5>
12. Bojanowski A., Avis T.J., Pelletier S., Tweddell R.J. Management of potato dry rot // Postharvest Biology and Technology, 2013, vol. 84, pp. 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.04.008>
13. Chehri K, Ghasempour HR, Karimi N. Molecular phylogenetic and pathogenetic characterization of *Fusarium solani* species complex (FSSC), the cause of dry rot on potato in Iran // Microbial Pathogenesis, 2014, vol. 67–68, pp. 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2014.01.002>
14. Crous P.W., Lombard L., Sandoval-Denis M. et al. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell // Study in Mycology, 2021, vol. 98, art. 100116. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>

15. Crous P.W, Hernández-Restrepo M., van Iperen A.L. et al. Citizen science project reveals novel fusarioid fungi (Nectriaceae, Sordariomycetes) from urban soils // *Fungal Systematics and Evolution*, 2021, vol. 8, pp. 101–127. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.08.09>
16. Daami-Remadi M. Potato Fusarium dry rot in Tunisia: current status and future prospects // *Pest Technology*, 2012, vol. 6, pp. 15–22.
17. Daami-Remadi M., F. Ayed H., Ayed F. et al. *In vitro*, *in vivo* and *in situ* evaluation of fungicides tested individually or in combination for the control of the fusarium dry rot of potato // *International Journal of Agricultural Research*, 2006, vol. 1, pp. 564–572. <https://doi.org/10.3923/ijar.2006.564.572>
18. Daami-Remadi M., Jabnoun-Khiareddine H., Ayed F., El Mahjoub M. Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot // *Journal of Agronomy*, 2006, vol. 5, pp. 350–355. <https://doi.org/10.3923/ja.2006.350.355>
19. Debbarma R., Kamil D., Maya Bashyal B. et al. First report of root rot disease on *Solanum lycopersicum* L. caused by *Fusarium vanettenii* in India // *Journal of Phytopathology*, 2021, vol. 169, pp. 752–756. <https://doi.org/10.1111/jph.13047>
20. Du M., Ren X., Sun Q. et al. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of chinese potato germplasm to the pathogen // *Potato Research*, 2012, vol. 55, pp. 175–184. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
21. Estrada R., Gudmestad N.C., Rivera V.V., Secor G.A. *Fusarium graminearum* as a dry rot pathogen of potato in the USA: prevalence, comparison of host isolate aggressiveness and factors affecting aetiology // *Plant Pathology*, 2010, vol. 59, pp. 1114–1120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02343.x>
22. Flores F.J., Garzon C.D. Detection and assessment of chemical hormesis on the radial growth in vitro of oomycetes and fungal plant pathogens // *Dose Response*, 2012, vol. 11, pp. 361–373. <https://doi.org/10.2203/dose-response.12-026.Garzon>
23. Gachango E., Hanson L.E., Rojas A. et al. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides // *Plant Disease*, 2012, vol. 96, pp. 1767–1774. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
24. Gachango E., Kirk W., Hanson L. et al. First report of in vitro fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in Michigan // *Plant Disease*, 2011, vol. 95, p. 228. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-10-0737>
25. Gashgari R.M., Gherbawy Y.A. Pathogenicity of some *Fusarium* species associated with superficial blemishes of potato tubers // *Polish Journal of Microbiology*, 2013, vol. 62, pp. 59–66.

26. Gherbawy Y.A., Hussein M.A., Hassany N.A. et al. Phylogeny and pathogenicity of *Fusarium solani* species complex (FSSC) associated with potato tubers // Journal of Basic Microbiology, 2021, vol. 61, pp. 1133–1144. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100393>
27. Guarnaccia V., Van Niekerk J., Crous P., Sandoval-Denis M. *Neocosmospora* spp. associated with dry root rot of Citrus in South Africa // Phytopathologia Mediterranea, 2021, vol. 60, pp. 79–100. <https://doi.org/10.36253/phyto-12183>
28. Gupta P.K., Singh S.K., Shikha S. *In vitro* efficacy of different fungicides against *Fusarium solani* isolate causing root rot of papaya (*Carica papaya* L.) // International Journal of Chemical Studies, 2020, vol. 8, pp. 221–224. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3c.9229>
29. Heltoft P., Brurberg M.B., Skogen M. et al. *Fusarium* spp. causing dry rot on potatoes in Norway and development of a real-time PCR method for detection of *Fusarium coeruleum* // Potato Research, 2016, vol. 59, pp. 67–80. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9313-5>
30. Hussein M.A., Gherbawy Y., El-Dawy E.G.A. Characterization, pathogenicity and enzymatic profile of *Fusarium solani* associated with potato tubers in Upper Egypt // Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2020, vol. 53, pp. 495–508. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1761223>
31. Imazaki I., Kadota I. Molecular phylogeny and diversity of *Fusarium* endophytes isolated from tomato stems // FEMS Microbiology Ecology, 2015, vol. 91, art. 098. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv098>
32. Jewell L.E., Hsiang T. Multigene differences between *Microdochium nivale* and *Microdochium majus* // Botany, 2013, vol. 91, pp. 99–106. <https://doi.org/10.1139/cjb-2012-0178>
33. Lord E., Leclercq M., Boc A. et al. Armadillo 1.1: an original workflow platform for designing and conducting phylogenetic analysis and simulations // PLoS One, 2012, vol. 7, art. 29903. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.002990>
34. Liu Y.J., Whelen S., Hall B.D. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerase II subunit // Molecular Biology and Evolution, 1999, vol. 16, pp. 1799–1808. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026092>
35. O'Donnell K., Whitaker B.K., Laraba I. et al. DNA sequence-based identification of *Fusarium*: a work in progress // Plant Disease, 2022, vol. 106, pp. 1597–1609. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-2035-SR>
36. O'Donnell K., Cigelní, E., Caspe, H.H. Molecular phylogenetic, morphological, and mycotoxin data support reidentification of the Quorn mycoprotein fungus as *Fusarium venenatum* // Fungal Genetics and Biology, 1998, vol. 23, pp. 57–67. <https://doi.org/10.1006/fgbi.1997.1018>

37. Peters J.C., Lees A.K., Cullen D.W. et al. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain // *Plant Pathology*, 2008, vol. 57, pp. 262–271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x>
38. Peters R.D., Platt H.W., Drake K.A. et al. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay // *Plant Disease*, 2008, vol. 92, p. 172. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0172A>
39. Platt H. Resistance to thiabendazole in *Fusarium* species and *Helminthosporium solani* in potato tubers treated commercially in eastern Canada // *Phytoprotection*, 1997, vol. 78, pp. 1–10.
40. Sandipan P.B., Solanki B.P., Patel N.N. et al. Efficacy of different fungicides against dry rot pathogen of potato caused by *Fusarium* sp. under *in vitro* condition // *Cercetari Agronomice in Moldova*, 2016, vol. 49, pp. 69–74. <https://doi.org/10.1515/cerce-2016-0037>
41. Sandoval-Denis M., Lombard L., Crous P.W. Back to the roots: a reappraisal of *Neocosmospora* // *Persoonia*, 2019, vol. 43, pp. 90–185. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.04>
42. Šišić A., Al-Hatmi A.M.S., Baćanović-Šišić J. et al. Two new species of the *Fusarium solani* species complex isolated from compost and hibiscus (*Hibiscus* sp.) // *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2018, vol. 111, pp. 1785–1805. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1068-y>
43. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M. et al. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland // *European Journal of Plant Pathology*, 2016, vol. 145, pp. 871–884. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0875-0>
44. Tini F., Beccari G., Onofri A. et al. Fungicides may have differential efficacies towards the main causal agents of *Fusarium* head blight of wheat // *Pest Management Science*, 2020, vol. 76, pp. 3738–3748. <https://doi.org/10.1002/ps.5923>
45. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S. et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management // *3 Biotech*, 2020, vol. 10, art. 503. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>
46. Vatankhah M., Saberi-Riseh R., Eskandari M.M., Afzali H. Evaluation of some fungicides for the control of *Fusarium* dry rot of potato // *Journal of Crop Protection*, 2019, vol. 8, pp. 275–285.
47. Wang J., Bradley C.A., Stenzel O. et al. Baseline sensitivity of *Fusarium virguliforme* to fluopyram fungicide // *Plant Disease*, 2017, vol. 101, pp. 576–582. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-16-1250-RE>
48. Wharton P., Hammerschmidt R., Kirk W. *Fusarium* dry rot // *Michigan Agricultural ExStation Bulletin*, 2007, art. e2992. https://archive.lib.msu.edu/DMC/extension_publications/e2992/e2992.pdf (accessed March 3, 2024)

49. Yikilmazsoy G., Tosun N. Characterization of *Fusarium sambucinum* isolates associated with potato dry rot and evaluation of cultivar susceptibility and fungicides // Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2021, vol. 45, pp. 10. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-100>
50. Zhu Z., Dong Z., Mo R. et al. First report of *Neocosmospora mori* causing root rot and stem blight of mulberry in Nanzhang, Hubei, China // Plant Disease, 2024, vol. 108, p. 206. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-23-0661-PDN>

References

1. Anisimov B.V., Zebrin S.N., Zeyruk V.N. Sukhie i mokrye gnili klubnei i ikh kontrol' v semenovodstve kartofelya [Dry and wet rots of tubers and their control in potato seed production]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2017, no. 5, pp. 30–35.
2. Belosokhov A.F., Yarmeeva M.M., Dolgov A.M. et al. Gryby roda *Fusarium* na klubnyakh kartofelya [*Fusarium* fungi on potato tubers]. *Sovremennaya mikologiya v Rossii*, 2022, vol. 9, pp. 250–252.
3. Gagkaeva T.Yu., Orina A.S., Trubin I.I. et al. *Fusarium sambucinum* – vozбудitel' sukhoy gnili klubnei kartofelya [*Fusarium sambucinum* – a causal agent of dry rot of potato tubers]. *Vestnik zashchity rasteniy*, 2023, vol. 106, no. 3, pp. 137–145. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2023-106-3-16041>
4. Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispolzovaniyu. T. 1. “Sorta rasteniy” (ofitsial'noe izdanie) [State Register of Breeding Achievements Approved for Use. Vol. 1. “Plant Varieties” (official edition)]. Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2023, 631 p. <https://gossortrf.ru/register/gosudarstvennyy-reestr-selektsionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/> (accessed March 3, 2024)
5. Prudnikova S.V., Churakov A.A., Ovsyankina S.V., Khizhnyak S.V. Vydelenie i identifikatsiya avtokhtonnnykh vzbuditeley bolezney kartofelya, rasprostranennykh v regionakh Sibiri [Isolation and identification of indigenous pathogens of potato diseases in Siberia]. *Biotehnologiya novykh materialov - okruzhayushchaya sreda - kachestvo zhizni: Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* Krasnoyarsk, 10-13 October 2021. Krasnoyarsk: Sibirskiy federal'nyy universitet, 2021, pp. 174–177.
6. Zeyruk V.N., Belov G.L., Vasil'eva S.V. et al. Kak izbezhat' poter' pri khranении kartofelya [How to avoid losses during potato storage]. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2024, no. 1, pp. 14–17.
7. Khadieva G.F., Lutfullin M.T., Akosakh Ya.A., et al. Analiz mikromitsevtov roda *Fusarium*, izolirovannykh iz infitsirovannykh klubnei kartofelya, vyrash-

- chennykh v Respublike Tatarstan [Analysis of *Fusarium* microfungi isolated from infected potato tubers in the republic of Tatarstan]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018, vol. 32, no. 3, pp. 34–39.
8. Agathokleous E., Calabrese E.J. Fungicide-induced hormesis in phytopathogenic fungi: A critical determinant of successful agriculture and environmental sustainability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, vol. 69, pp. 4561–4563. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01824>
 9. Akhmetova G.K., Knapp D.G., Özer G., et al. Multilocus molecular phylogenetic-led discovery and formal recognition of four novel root-colonizing *Fusarium* species from northern Kazakhstan and the phylogenetically divergent *Fusarium steppicola* lineage. *Mycologia*, 2023, vol. 115, pp. 16–31. <https://doi.org/10.1080/00275514.2022.2119761>
 10. Aydin M. H., İnal B. Comparative susceptibility of some commercial potato cultivars to *Fusarium sambucinum* and *F. solani* isolates. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2018, vol. 16, no 4, pp. 4879–4892. https://doi.org/10.15666/aeer/1604_48794892
 11. Azil N., Stefańczyk E., Sobkowiak S., et al. Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with tuber dry rot and wilt of potato in Algeria. *European Journal of Plant Pathology*, 2021, vol. 159, pp. 495–509. <https://doi.org/10.1007/s10658-020-02177-5>
 12. Bojanowski A., Avis T.J., Pelletier S., Tweddell R.J. Management of potato dry rot. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, vol. 84, pp. 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.04.008>
 13. Chehri K, Ghasempour HR, Karimi N. Molecular phylogenetic and pathogenic characterization of *Fusarium solani* species complex (FSSC), the cause of dry rot on potato in Iran. *Microbial Pathogenesis*, 2014, vol. 67–68, pp. 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2014.01.002>
 14. Crous P.W., Lombard L., Sandoval-Denis M. et al. *Fusarium*: more than a node or a foot-shaped basal cell. *Study in Mycology*, 2021, vol. 98, art. 100116. <https://doi.org/10.1016/j.simyco.2021.100116>
 15. Crous P.W, Hernández-Restrepo M., van Iperen A.L. et al. Citizen science project reveals novel fusarioid fungi (Nectriaceae, Sordariomycetes) from urban soils. *Fungal Systematics and Evolution*, 2021, vol. 8, pp. 101–127. <https://doi.org/10.3114/fuse.2021.08.09>
 16. Daami-Remadi M. Potato *Fusarium* dry rot in Tunisia: current status and future prospects. *Pest Technology*, 2012, vol. 6, pp. 15–22.
 17. Daami-Remadi M., F. Ayed H., Ayed F. et al. *In vitro*, *in vivo* and *in situ* evaluation of fungicides tested individually or in combination for the control of the

- fusarium dry rot of potato. *International Journal of Agricultural Research*, 2006, vol. 1, pp. 564–572. <https://doi.org/10.3923/ijar.2006.564.572>
18. Daami-Remadi M., Jabnoun-Khiareddine H., Ayed F., El Mahjoub M. Effect of temperature on aggressivity of Tunisian *Fusarium* species causing potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber dry rot. *Journal of Agronomy*, 2006, vol. 5, pp. 350–355. <https://doi.org/10.3923/ja.2006.350.355>
19. Debbarma R., Kamil D., Maya Bashyal B. et al. First report of root rot disease on *Solanum lycopersicum* L. caused by *Fusarium vanettenii* in India. *Journal of Phytopathology*, 2021, vol. 169, pp. 752–756. <https://doi.org/10.1111/jph.13047>
20. Du M., Ren X., Sun Q. et al. Characterization of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in China and susceptibility evaluation of chinese potato germplasm to the pathogen. *Potato Research*, 2012, vol. 55, pp. 175–184. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9217-6>
21. Estrada R., Gudmestad N.C., Rivera V.V., Secor G.A. *Fusarium graminearum* as a dry rot pathogen of potato in the USA: prevalence, comparison of host isolate aggressiveness and factors affecting aetiology. *Plant Pathology*, 2010, vol. 59, pp. 1114–1120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02343.x>
22. Flores F.J., Garzon C.D. Detection and assessment of chemical hormesis on the radial growth in vitro of oomycetes and fungal plant pathogens. *Dose Response*, 2012, vol. 11, pp. 361–373. <https://doi.org/10.2203/dose-response.12-026.Garzon>
23. Gachango E., Hanson L.E., Rojas A. et al. *Fusarium* spp. causing dry rot of seed potato tubers in Michigan and their sensitivity to fungicides. *Plant Disease*, 2012, vol. 96, pp. 1767–1774. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0932-RE>
24. Gachango E., Kirk W., Hanson L. et al. First report of in vitro fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato dry rot in Michigan. *Plant Disease*, 2011, vol. 95, p. 228. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-10-0737>
25. Gashgari R.M., Gherbawy Y.A. Pathogenicity of some *Fusarium* species associated with superficial blemishes of potato tubers. *Polish Journal of Microbiology*, 2013, vol. 62, pp. 59–66.
26. Gherbawy Y.A., Hussein M.A., Hassany N.A. et al. Phylogeny and pathogenicity of *Fusarium solani* species complex (FSSC) associated with potato tubers. *Journal of Basic Microbiology*, 2021, vol. 61, pp. 1133–1144. <https://doi.org/10.1002/jobm.202100393>
27. Guarnaccia V., Van Niekerk J., Crous P., Sandoval-Denis M. *Neocosmospora* spp. associated with dry root rot of Citrus in South Africa. *Phytopathologia Mediterranea*, 2021, vol. 60, pp. 79–100. <https://doi.org/10.36253/phyto-12183>
28. Gupta P.K., Singh S.K., Shikha S. *In vitro* efficacy of different fungicides against *Fusarium solani* isolate causing root rot of papaya (*Carica papaya* L.). *Inter-*

- national Journal of Chemical Studies*, 2020, vol. 8, pp. 221–224. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3c.9229>
29. Heltoft P., Brurberg M.B., Skogen M. et al. *Fusarium* spp. causing dry rot on potatoes in Norway and development of a real-time PCR method for detection of *Fusarium coeruleum*. *Potato Research*, 2016, vol. 59, pp. 67–80. <https://doi.org/10.1007/s11540-015-9313-5>
30. Hussein M.A., Gherbawy Y., El-Dawy E.G.A. Characterization, pathogenicity and enzymatic profile of *Fusarium solani* associated with potato tubers in Upper Egypt. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2020, vol. 53, pp. 495–508. <https://doi.org/10.1080/03235408.2020.1761223>
31. Imazaki I., Kadota I. Molecular phylogeny and diversity of *Fusarium* endophytes isolated from tomato stems. *FEMS Microbiology Ecology*, 2015, vol. 91, art. 098. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv098>
32. Jewell L.E., Hsiang T. Multigene differences between *Microdochium nivale* and *Microdochium majus*. *Botany*, 2013, vol. 91, pp. 99–106. <https://doi.org/10.1139/cjb-2012-0178>
33. Lord E., Leclercq M., Boc A. et al. Armadillo 1.1: an original workflow platform for designing and conducting phylogenetic analysis and simulations. *PLoS One*, 2012, vol. 7, art. 29903. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029903>
34. Liu Y.J., Whelen S., Hall B.D. Phylogenetic relationships among ascomycetes: evidence from an RNA polymerase II subunit. *Molecular Biology and Evolution*, 1999, vol. 16, pp. 1799–1808. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a026092>
35. O'Donnell K., Whitaker B.K., Laraba I. et al. DNA sequence-based identification of *Fusarium*: a work in progress. *Plant Disease*, 2022, vol. 106, pp. 1597–1609. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-21-2035-SR>
36. O'Donnell K., Cigelnik, E., Caspe, H.H. Molecular phylogenetic, morphological, and mycotoxin data support reidentification of the Quorn mycoprotein fungus as *Fusarium venenatum*. *Fungal Genetics and Biology*, 1998, vol. 23, pp. 57–67. <https://doi.org/10.1006/fgbi.1997.1018>
37. Peters J.C., Lees A.K., Cullen D.W. et al. Characterization of *Fusarium* spp. responsible for causing dry rot of potato in Great Britain. *Plant Pathology*, 2008, vol. 57, pp. 262–271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2007.01777.x>
38. Peters R.D., Platt H.W., Drake K.A. et al. First report of fludioxonil-resistant isolates of *Fusarium* spp. causing potato seed-piece decay. *Plant Disease*, 2008, vol. 92, p. 172. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-1-0172A>
39. Platt H. Resistance to thiabendazole in *Fusarium* species and *Helminthosporium solani* in potato tubers treated commercially in eastern Canada. *Phytoprotection*, 1997, vol. 78, pp. 1–10.

40. Sandipan P.B., Solanki B.P., Patel N.N. et al. Efficacy of different fungicides against dry rot pathogen of potato caused by *Fusarium* sp. under in vitro condition. *Cercetari Agronomice in Moldova*, 2016, vol. 49, pp. 69–74. <https://doi.org/10.1515/cerce-2016-0037>
41. Sandoval-Denis M., Lombard L., Crous P.W. Back to the roots: a reappraisal of *Neocosmospora. Persoonia*, 2019, vol. 43, pp. 90–185. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2019.43.04>
42. Šišić A., Al-Hatmi A.M.S., Baćanović-Šišić J. et al. Two new species of the *Fusarium solani* species complex isolated from compost and hibiscus (*Hibiscus* sp.). *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2018, vol. 111, pp. 1785–1805. <https://doi.org/10.1007/s10482-018-1068-y>
43. Stefańczyk E., Sobkowiak S., Brylińska M. et al. Diversity of *Fusarium* spp. associated with dry rot of potato tubers in Poland. *European Journal of Plant Pathology*, 2016, vol. 145, pp. 871–884. <https://doi.org/10.1007/s10658-016-0875-0>
44. Tini F., Beccari G., Onofri A. et al. Fungicides may have differential efficacies towards the main causal agents of *Fusarium* head blight of wheat. *Pest Management Science*, 2020, vol. 76, pp. 3738–3748. <https://doi.org/10.1002/ps.5923>
45. Tiwari R.K., Kumar R., Sharma S. et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech*, 2020, vol. 10, art. 503. <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02496-8>
46. Vatankhah M., Saber-Riseh R., Eskandari M.M., Afzali H. Evaluation of some fungicides for the control of *Fusarium* dry rot of potato. *Journal of Crop Protection*, 2019, vol. 8, pp. 275–285.
47. Wang J., Bradley C.A., Stenzel O. et al. Baseline sensitivity of *Fusarium virguliforme* to fluopyram fungicide. *Plant Disease*, 2017, vol. 101, pp. 576–582. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-16-1250-RE>
48. Wharton P., Hammerschmidt R., Kirk W. *Fusarium* dry rot. *Michigan Agricultural ExStation Bulletin*, 2007, art. e2992. https://archive.lib.msu.edu/DMC/extension_publications/e2992/e2992.pdf (accessed March 3, 2024)
49. Yikilmazsoy G., Tosun N. Characterization of *Fusarium sambucinum* isolates associated with potato dry rot and evaluation of cultivar susceptibility and fungicides. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2021, vol. 45, pp. 10. <https://doi.org/10.3906/tar-2006-100>
50. Zhu Z., Dong Z., Mo R. et al. First report of *Neocosmospora mori* causing root rot and stem blight of mulberry in Nanzhang, Hubei, China. *Plant Disease*, 2024, vol. 108, p. 206. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-23-0661-PDN>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Орина Александра Станиславовна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»
ш. Подбельского, 3, г. Санкт-Петербург, 196608, Российская Федерация
orina-alex@yandex.ru*

Гаврилова Ольга Павловна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»
ш. Подбельского, 3, г. Санкт-Петербург, 196608, Российская Федерация
olgavrilova1@yandex.ru*

Трубин Илья Иванович, лаборант-исследователь лаборатории микологии и фитопатологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»
ш. Подбельского, 3, г. Санкт-Петербург, 196608, Российская Федерация
ilya.trubin01@mail.ru*

Гагкаева Татьяна Юрьевна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микологии и фитопатологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»
ш. Подбельского, 3, г. Санкт-Петербург, 196608, Российская Федерация
t.gagkaeva@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Aleksandra S. Orina, PhD (Mycology), Senior Researcher of the Laboratory of Mycology and Phythopathology

All-Russian Institute of Plant Protection

3, Podbelskogo Sh., St. Petersburg, 196608, Russian Federation

orina-alex@yandex.ru

SPIN-code: 8590-0092

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7657-6618>

ResearcherID: B-1445-2014

Scopus Author ID: 36343881100

Olga P. Gavrilova, PhD (Mycology), Senior Researcher of the Laboratory of Mycology and Phythopathology

All-Russian Institute of Plant Protection

3, Podbelskogo Sh., St. Petersburg, 196608, Russian Federation

olgavrilova1@yandex.ru

SPIN-code: 2842-8851

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5350-3221>

ResearcherID: A-5840-2014

Scopus Author ID: 24474933500

Ilya I. Trubin, Research Assistant of the Laboratory of Mycology and Phythopathology

All-Russian Institute of Plant Protection

3, Podbelskogo Sh., St. Petersburg, 196608, Russian Federation

ilya.trubin01@mail.ru

Tatiana Yu. Gagkaeva, PhD (Mycology), Leading Researcher of the Laboratory of Mycology and Phythopathology

All-Russian Institute of Plant Protection

3, Podbelskogo Sh., St. Petersburg, 196608, Russian Federation

t.gagkaeva@mail.ru

SPIN-code: 9182-6834

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-561X>

ResearcherID: H-7884-2013

Scopus Author ID: 6505865040

Поступила 12.03.2024

После рецензирования 07.05.2024

Принята 12.05.2024

Received 12.03.2024

Revised 07.05.2024

Accepted 12.05.2024

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕHOBOДCTBA

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-995

EDN: LMBBIY

UDC 631.11:631.527



Original article

BREEDING AND GENETIC EVALUATION
OF INTERNATIONAL WINTER WHEAT COLLECTION
UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA*I.V. Pototskaya, S.S. Shepelev, Y.K. Turuspekov, A.I. Morgounov,
A.S. Chursin, A.M. Kovalchuk, T.V. Savin, V.P. Shamanin**Abstract*

Winter wheat is considered one of the sources of increased grain production according to higher yield and better use of bioclimatic resources in Western Siberia.

The objective of this study was to breeding evaluate and identify genetically distinct genotypes among an international collection of winter bread wheat accessions for potential use as parents and for the development of high-yielding varieties resistant to adverse environmental factors.

Materials and methods. The breeding evaluation of 96 accessions of winter wheat generated from different breeding programs was performed in 2022 and 2023, using generally accepted agronomy techniques. All 96 accessions were genotyped using 55 KASP markers developed in Institute of Plant Biology and Biotechnology (Kazakhstan).

Results. The accessions from Turkey had a longer growing period. The accessions from the USA were characterized by short stature (57.5 cm), more spikes on plants (2.42), and increased yield (271 g/m²). The samples from Russia and Bulgaria were distinguished by high levels of winter hardiness (66.7% and 69.9%, respectively). The average number of alleles was 2, and the effective number of alleles was 1.42. The analysis of the genotypic structure of the population determined the division of genotypes into 6 subclusters regardless of their origin. Shannon's information index ranged from 0.058 to 0.693, with an average value of 0.40 and an expected

heterozygosity of 0.25, which indicated a relatively high genetic diversity of the studied accessions.

Conclusion. The results of this research can be successfully used in breeding to develop high-yielding winter wheat varieties, that are resistant to adverse environmental factors and have high grain quality.

Keywords: winter wheat; collection; genotyping; KASP markers; agronomic traits

For citation. Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Turuspekov Y.K., Morgounov A.I., Chursin A.S., Kovalchuk A.M., Savin T.V., Shamanin V.P. Breeding and Genetic Evaluation of International Winter Wheat Collection under Conditions of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 313-338. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-995

Научная статья

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

*И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев, Е.К. Туруспеков, А.И. Моргунов,
А.С. Чурсин, А.М. Ковальчук, Т.В. Савин, В.П. Шаманин*

Аннотация

В Западной Сибири озимая пшеница рассматривается в качестве одного из источника увеличения производства зерна благодаря повышенной урожайности и лучшему использованию биоклиматических ресурсов региона.

Целью исследования являлась селекционная оценка и выделение генетических источников из международной коллекции образцов озимой мягкой пшеницы в качестве исходного материала для создания высокоурожайных сортов, устойчивых к неблагоприятным факторам среды.

Материалы и методы. Проведена полевая оценка 96 образцов озимой мягкой пшеницы из разных стран в 2022–2023 гг. с применением общепринятых селекционных методик. 96 образцов генотипированы с использованием 55 KASP-маркеров, разработанных в Институте биологии и биотехнологии растений (Казахстан).

Результаты. У селекционного материала из Турции преобладали более позднеспелые формы (313 сут.); образцы американской селекции отличались низкорослостью (57,5 см), высокой продуктивной кустистостью (2,42 шт./

раст.) и повышенной урожайностью (271 г/м²); образцы из России и Болгарии имели высокие показатели зимостойкости растений – 66,7% и 69,9% соответственно. Среднее число аллелей составило 2, число эффективных аллелей – 1,42. Изучение популяционной структуры и генетического сходства образцов коллекции из разных географических групп выявило их деление на шесть субпопуляций, независимо от происхождения образцов. Информационный индекс Шеннона варьировал от 0,058 до 0,693 со средним значением 0,40; ожидаемая гетерозиготность (0,25) свидетельствуют об относительно высоком генетическом разнообразии изученных форм.

Заключение. Результаты проведенных исследований могут быть успешно использованы в селекции для создания высокоурожайных сортов озимой пшеницы, устойчивых к неблагоприятным факторам среды и отличающихся высоким качеством зерна.

Ключевые слова: озимая пшеница; коллекция; генотипирование; KASP-маркеры; хозяйственно-ценные признаки

Для цитирования. Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Турусбеков Е.К., Моргунов А.И., Чурсин А.С., Ковальчук А.М., Савин Т.В., Шаманин В.П. Селекционно-генетическая оценка международной коллекции озимой пшеницы в условиях Западной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 313-338. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-995

Introduction

It is necessary to double wheat grain production and develop high-yielding wheat varieties adapted to negative environmental factors to meet the demand for food in recent decades due to the growth of the world's population. The Russian Federation's grain production may increase if winter wheat is replaced with spring wheat due to its relatively high yield [2; 3]. More than 200 varieties of winter wheat were developed at the National Grain Center P.P. Lukyanenko, including the famous wheat variety Bezostaya 1. This variety is widely involved in the genealogy of many wheat varieties. Modern varieties of winter wheat are capable of producing approximately 130 c/ha on basic intensive technologies [1]. Krasnodar Krai, Stavropol Krai, and Rostov Oblast are the main regions, in which winter wheat is cultivated in the Russian Federation [6]. However, due to the increase in heat stress and drought conditions in the southern regions of Russia, it is possible to predict yield reductions in winter wheat [19]. Compared with those in the southern regions of Russia, the cultivation of winter wheat in Western Siberia was limited by less favorable conditions, such as early summer drought, a lack of snow cover at the beginning of winter and severe winters. Recently, conditions for

planting winter wheat in Western Siberia have become more favorable due to increases in average temperatures in the autumn and winter periods, and the sum of effective temperatures during the growing season. This might contribute to the growth of the winter wheat planting area in this region [7; 35]. The involvement of diverse genetic resources in modern wheat breeding, such as the genotyping of germoplasm via functional markers associated with genes that control key agronomic traits, has played an important role in increasing winter wheat yield and broadening their genetic variety [38]. Among SNP genotyping platforms, the Competitive Allele-Specific PCR (KASP, <http://www.lgcgenomics.com>) assay is a promising technology for high throughput SNP genotyping based on the FRET method. In this system, each allele-specific primer has a proprietary tail sequence that is labeled with one corresponding FRET cassette, and each of the two primers is labeled with a dye. KASP assays can accommodate SNPs, insertions and deletions (InDels) [32; 24].

KASP markers tested on different genetic backgrounds can be used to improve yield components and resistance to biotic and abiotic stresses in winter wheat [14; 22; 26; 27]. KASP technology provides more efficient and less expensive genotyping than genotyping by sequencing (GBS). It is efficient at identifying polymorphic loci and conducting haplotype analysis [29]. Low frost and winter hardiness, and the biotic and abiotic stress resistance of winter wheat varieties are the most significant factors limiting yield under conditions in Western Siberia. This is a set of quantitative traits. The assessment of their phenology is quite complex, considering their morphological, physiological, and biochemical characteristics. In this regard, the identification of genes that control such traits would benefit for the adaptation and breeding of winter wheat varieties [11; 16; 25].

A collection of 96 winter bread wheat genotypes from different countries of the world was genotyped via 55 KASP markers associated with genes of the main agronomic traits, including the number of days to heading and maturity, yield, grain quality, and resistance to fungal diseases. The objective of this study was to breeding evaluate and identify genetically distinct genotypes among an international collection of winter bread wheat accessions for potential use as parents and for the development of high-yielding varieties resistant to adverse environmental factors.

Materials and methods

Wheat material and field experimentation. A set of 96 accessions of winter bread wheat from different geographical locations. The germoplasm represented the released varieties and advanced lines from Russian breeding institutions:

Rostov Agricultural Research Center (7 accessions), Donskoy Agricultural Research Center (8 accessions), Rostov Oblast; North Caucasus Federal Scientific Center (1 accession), Stavropol Krai; and National Grain Center P.P. Lukyanenko, Krasnodar Krai (12 accessions). The remaining accessions were from different countries of the world: Germany (1 accession); Finland (1 accession); Bulgaria (7 accessions); Turkey (7 accessions); Kazakhstan (1 accession); the USA (17 accessions); and the International Winter Wheat Improvement Program (Türkiye-CIMMYT-ICARDA, TCI) (33 accessions). The collection of winter bread wheat accessions was studied on the experimental field of Omsk SAU (Omsk, Omsk region, 55.0404°N, 73.3604°E) in 2022 and 2023. The experiments were conducted in the field after black fallow. The standard for this plot size was 3 m², and two replications were used with the local winter wheat variety Omskaya 4. The agronomic traits were recorded following methodical instructions for exploring the wheat collection [2]. ANOVA of agronomic traits in a replicated trial was performed using MS Excel.

Experimental sites and weather. The soil type of the experimental field is thin meadow chernozem, with an organic matter content in the range of 3.5–4%. The climate of the region is sharply continental, the average annual rainfall is approximately 300–380 mm, the sum of effective temperatures is 2000–2100 °C. Factors limiting of the yield and quality of wheat grain include insufficient rainfall, the threat of wind erosion of soils and the low phosphorus content. The average duration of the winter period is 164 days. The soil freezes to 165–220 cm, and the snow cover varies between 20–25 cm. The growing seasons of 2022 and 2023 were characterized by average temperatures; an uneven distribution of rainfall in May 2022, a large lack of rainfall in May, and excess rainfall in August–early September in 2023.

DNA isolation. The protocol with modifications described by Delaporta et al. was used to isolate genomic DNA from the leaves of 96 winter wheat accessions at a speed of 3 fold (1983). The purification of dedicated DNA was conducted using the commercial kits (Qiagen, Germany). The concentration and quality of genomic DNA were measured by spectrophotometry (BioRad, USA). The composition of the isolated DNA was determined according to the optical density OD260/OD280. The DNA concentration for each sample was adjusted to 50 ng/μL. All 96 accessions were genotyped using 55 KASP markers developed at the Institute of Plant Biology and Biotechnology (Kazakhstan) [5; 18; 36]. A set of used KASP markers is presented in Table 2.

Molecular marker data analysis. Statistical methods using software packages were used to determine genetic parameters: Na – the effective number of

alleles; N_e – the effective number of alleles; I – Shannon's information index; H_o – the observed heterozygosity; H_e – the expected heterozygosity; uH_e – the unbiased expected heterozygosity. The analysis of molecular variance (AMOVA) was performed using GenAlEx software [30]. The STRUCTURE HARVEST Web v. program. 0.6.94 [12; 31] was used to conduct a cluster analysis of the genotypic population structure of the winter wheat accessions. The number of subgroups (K) was calculated based on the highest value of ΔK , with K values ranging from 1 to 10, and 10 independent runs for each K value [15] A dendrogram of the genetic similarity of the winter wheat accessions was constructed using the nearest neighbor method in the PAST v. program. 4.03 [20].

Results

The main agronomic traits of a set of winter bread wheat accessions from different breeding programs were evaluated under conditions in Western Siberia (Table 1).

Table 1.

Agronomic parameters of germplasms from different geographical sites tested in Omsk (2022 and 2023)

Trait	Russia	Bulgaria	Türkiye	USA	TCI	LSD _{0.05}
No. of accessions	29	7	7	17	33	
Days to maturity	312	312	313	311	311	0.39
Winter hardness, %	66.7	69.9	65.1	65.6	58.2	3.77
Plant height, cm	60.3	58.4	59.4	57.5	60.9	1.93
Spikes / plant	2.17	2.23	2.31	2.42	2.26	0.17
Grains / spike	30.9	32.4	33.6	32.4	29.5	1.49
Grain weight / spike, g	1.14	1.14	1.13	1.07	1.12	0.07
TKW, g	36.7	34.6	33.2	32.8	37.9	2.15
Yield, g/m ²	256	199	235	271	196	21.3

Note: Single accessions from Kazakhstan, Finland, and Germany are not presented in the Table

Across two seasons, the difference in the number of days to maturity between breeding material from Turkey and genotypes from the USA and TCI programs was 2 days. The accessions from the USA were the shortest (57.5 cm), had more number of spikes on the plant (2.42), and had the highest yield among the studied genotypes (271 g/m²). The accessions from Russia and Bulgaria were characterized by similar means of winter hardness (66.7% and 69.9%, respectively), number of spikes on the plant (2.17 and 2.23), and grain weight on

spike (1.14 g). The Russian accessions had a greater yield (256 g/m²) than the Bulgarian accessions (199 g/m²). The highest values of thousand kernel weight (37.9 g), and the lowest values of winter hardness (58.2%) and yield (196 g/m²) were observed in the TCI group.

Genotyping the germoplasm using 55 KASP markers localized in the three wheat genomes revealed that 36 of these markers were polymorphic, 5 were monomorphic, and 14 had a minor allele frequency (MAF <0.05). Among the 96 accessions, 21 were heterozygous for 17 KASP markers associated with agro-nomic traits. Table 2 presents the polymorphism information for 50 polymorphic KASP markers, including the number of effective alleles and Shannon's index.

Table 2.

Genetic diversity indices for 50 polymorphic KASP markers used for genotyping of the winter wheat accessions

Locus	Maf	N	Na	Ne	I	Ho	He	uHe
<i>ipbb_ta_106</i>	0.208	96	2	1.492	0.512	0.000	0.330	0.332
<i>ipbb_ta_107</i>	0.021	96	2	1.043	0.101	0.000	0.041	0.041
<i>ipbb_ta_114</i>	0.116	96	2	1.267	0.367	0.010	0.211	0.212
<i>ipbb_ta_116</i>	0.365	96	2	1.863	0.656	0.000	0.463	0.466
<i>ipbb_ta_123</i>	0.202	96	2	1.492	0.512	0.021	0.330	0.332
<i>ipbb_ta_124</i>	0.448	96	2	1.979	0.688	0.000	0.495	0.497
<i>ipbb_ta_126</i>	0.312	96	2	1.765	0.625	0.031	0.434	0.436
<i>ipbb_ta_130</i>	0.167	96	2	1.385	0.451	0.000	0.278	0.279
<i>ipbb_ta_131</i>	0.115	96	2	1.255	0.356	0.000	0.203	0.204
<i>ipbb_ta_132</i>	0.063	96	2	1.133	0.234	0.000	0.117	0.118
<i>ipbb_ta_133</i>	0.156	96	2	1.358	0.433	0.000	0.264	0.265
<i>ipbb_ta_141</i>	0.115	96	2	1.255	0.356	0.000	0.203	0.204
<i>ipbb_ta_149</i>	0.063	96	2	1.133	0.234	0.000	0.117	0.118
<i>ipbb_ta_151</i>	0.394	96	2	1.917	0.671	0.021	0.478	0.481
<i>ipbb_ta_165</i>	0.458	96	2	1.986	0.690	0.000	0.497	0.499
<i>ipbb_ta_171</i>	0.394	96	2	1.917	0.671	0.021	0.478	0.481
<i>ipbb_ta_188</i>	0.031	96	2	1.064	0.139	0.000	0.061	0.061
<i>ipbb_ta_196</i>	0.010	96	2	1.021	0.058	0.000	0.021	0.021
<i>ipbb_ta_197</i>	0.021	96	2	1.043	0.101	0.000	0.041	0.041
<i>ipbb_ta_219</i>	0.167	96	2	1.385	0.451	0.000	0.278	0.279
<i>ipbb_ta_220</i>	0.010	96	2	1.021	0.058	0.000	0.021	0.021
<i>ipbb_ta_225</i>	0.083	96	2	1.180	0.287	0.000	0.153	0.154
<i>ipbb_ta_226</i>	0.105	96	2	1.242	0.345	0.010	0.195	0.196

<i>ipbb_ta_227</i>	0.011	96	2	1.064	0.139	0.042	0.061	0.061
<i>ipbb_ta_229</i>	0.010	96	2	1.021	0.058	0.000	0.021	0.021
<i>ipbb_ta_230</i>	0.375	96	2	1.882	0.662	0.000	0.469	0.471
<i>ipbb_ta_231</i>	0.010	96	2	1.021	0.058	0.000	0.021	0.021
<i>ipbb_ta_236</i>	0.097	96	2	1.242	0.345	0.031	0.195	0.196
<i>ipbb_ta_239</i>	0.106	96	2	1.255	0.356	0.021	0.203	0.204
<i>ipbb_ta_241</i>	0.022	96	2	1.087	0.173	0.042	0.080	0.080
<i>ipbb_ta_246</i>	0.011	96	2	1.053	0.121	0.031	0.051	0.051
<i>ipbb_ta_247</i>	0.365	96	2	1.863	0.656	0.000	0.463	0.466
<i>ipbb_ta_253</i>	0.323	96	2	1.777	0.629	0.000	0.437	0.440
<i>ipbb_ta_256</i>	0.022	96	2	1.076	0.157	0.031	0.070	0.071
<i>ipbb_ta_257</i>	0.157	96	2	1.306	0.397	0.000	0.234	0.235
<i>ipbb_ta_258</i>	0.398	96	2	1.925	0.673	0.031	0.480	0.483
<i>ipbb_ta_259</i>	0.340	96	2	1.822	0.643	0.021	0.451	0.454
<i>ipbb_ta_260</i>	0.348	96	2	1.853	0.653	0.073	0.460	0.463
<i>ipbb_ta_261</i>	0.063	96	2	1.144	0.248	0.010	0.126	0.127
<i>ipbb_ta_263</i>	0.042	96	2	1.087	0.173	0.000	0.080	0.080
<i>ipbb_ta_272</i>	0.264	96	2	1.666	0.589	0.052	0.400	0.402
<i>ipbb_ta_274</i>	0.031	96	2	1.064	0.139	0.000	0.061	0.061
<i>ipbb_ta_275</i>	0.490	96	2	1.999	0.693	0.000	0.500	0.502
<i>ipbb_ta_278</i>	0.110	96	2	1.293	0.387	0.052	0.227	0.228
<i>ipbb_ta_283</i>	0.281	96	2	1.679	0.594	0.000	0.404	0.406
<i>ipbb_ta_289</i>	0.389	96	2	1.909	0.669	0.010	0.476	0.479
<i>ipbb_ta_291</i>	0.326	96	2	1.800	0.637	0.042	0.444	0.447
<i>ipbb_ta_298</i>	0.011	96	2	1.032	0.080	0.010	0.031	0.031
<i>ipbb_ta_304</i>	0.302	96	2	1.729	0.613	0.000	0.422	0.424
<i>ipbb_ta_305</i>	0.211	96	2	1.506	0.519	0.010	0.336	0.338
Mean +SE		96	2	1.42+0.05	0.40+0.03	0.01+0.00	0.25+0.02	0.25+0.02

Note: N – number of accessions; Na – the effective number of alleles; Ne – the effective number of alleles; I – Shannon’s information index; Ho – the observed heterozygosity; He – the expected heterozygosity; uHe – the unbiased expected heterozygosity

Shannon’s information index ranged from 0.058 to 0.693 with an average mean 0.40. The average value of the effective number of alleles was calculated as 1.42 ranging from 1.021 (*ipbb_ta_196*) to 1.999 (*ipbb_ta_275*). The comparison of the mean values for Shannon’s index allowed us to determine the loci with the most polymorphism information, which were located on chromosomes 4B, 3B and 1B: *ipbb_ta_124*, *ipbb_ta_165*, *ipbb_ta_275*. The allele frequency for 50 polymorphic KASP markers ranged from 0.010 to 0.990. For 50 of the 100 alleles, an allele frequency greater than 50% was detected. The genotypic

composition of the population was examined by analyzing the genotyping data of 96 winter bread wheat accessions.

The structure analysis separated a set of 96 accessions into six clusters (Figure 1). The nearest neighbor analysis based on the genotyping of the collection of winter wheat using KASP markers allowed us to construct a dendrogram of genetic similarity between the studied accessions. There was no clear division of genotypes into 6 clusters according to their origin from different breeding programs. A total of 5, 11, 32, 9, 8 and 31 accessions clustered, respectively. Cluster III was the largest, and consisted of 32 accessions. Identical alleles of SNP loci were detected in six accessions in this cluster: Don 107 (Russia); Esperia (Bulgaria); Kopru (Finland); WBLL1*2 / Tukuru // Billings; (Attila*2 / ESDA // Mason) / (HBK 0935-7-4 / Betty'S'); AGRI / NAC // Attila /4/ C80.1 / 3*BATAVIA // 2*WBLL1 /3 /2*Kronstad F2004 (TCI). A total of 11 winter wheat varieties from Rostov Oblast and Krasnodar Krai clustered in subpopulation III: Gubernator Dona, Donna, Donera, Donskaya Lira, Donskoy Syurpriz, Donskaya Yubileinyaya, Donskoy Mayak, Tanais, Rostovchanka 7, Graf, and Etnos.

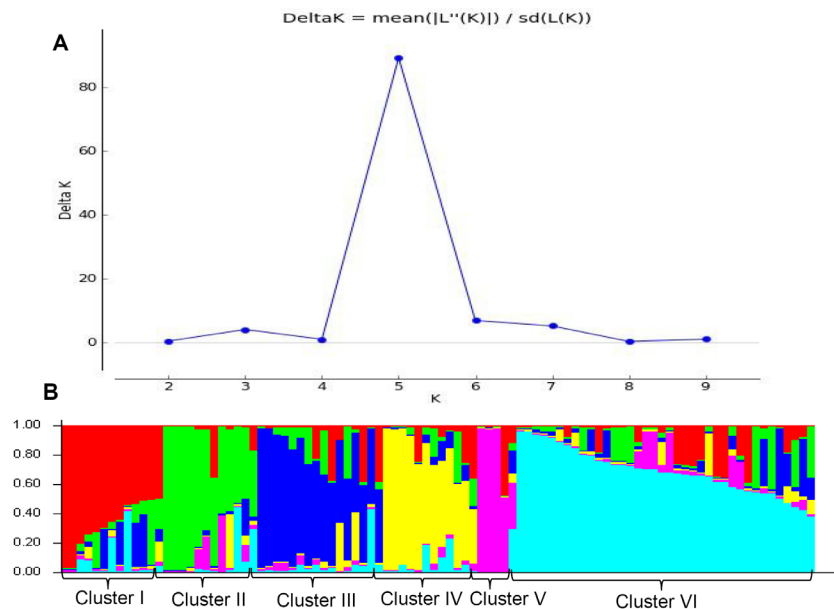


Figure 1. A – Structure analysis of the population based on the best number of clusters (K), B – Population structure of winter wheat collection using the KASP marker system confirmed the genetic similarity

Subpopulation VI also clustered 31 accessions in all five breeding programs, Bulgarian variety Kisla and two lines WBLL1*2 / Tukur / Billings and Sonmez 01 / Ahmetaga // Sonmez 01 from the TCI group carried identical alleles of SNP loci. Cluster II consisted of 11 accessions, including five from the USA (KS13DH0020-59, KS13DH0030-29, KS13DH0024-48, Whetstone, KS100610K-7) and variety Zhiva from Russia.

Previous GWAS results were used to identify favorable alleles that affect important economic traits. For each group of traits, markers with favorable alleles that had a positive effect on the number of days to heading and maturity, yield components, grain quality indicators, and resistance to fungal diseases were identified. The data obtained divided the studied accessions into four groups based on the number of favorable alleles (Figure 2).

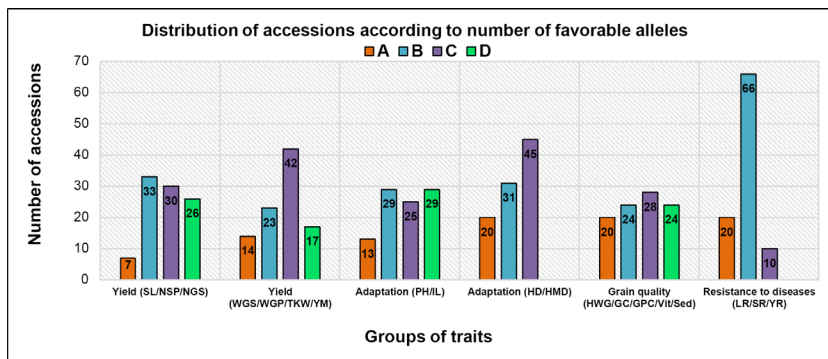


Figure 2. Distribution of the to number of favorable alleles in the winter bread wheat accessions affecting important economic traits

Note: SL – spike length, NSP – number of spikes per plant, NGS – number of grains per spikes, WGS – weight grains per spike, WGP – weight grains per plant, TKW – thousand kernel weight, YM – yield on 1 m², PH – plant height, IL – upper internode length, HD – number of days to heading, HMD – number of days from heading to maturity, HWG – hectoliter weight of grain, GC – gluten content, GPC – grain protein content, Vit – vitreous, Sed – Zeleny sedimentation, LR – resistance to leaf rust, SR – resistance to stem rust, YR – resistance to yellow rust.

For example, group A contains 7 and 14 genotypes with the greatest number of favorable alleles (7–8) affecting the yield components; 13 and 20 accessions have 3–6 alleles with a positive effect on key adaptation traits (plant height, days to heading and maturity); 20 of the 96 accessions possess 10–11 alleles with a positive effect on the grain quality, and 20 accessions possess 6–8 alleles affecting the resistance to rust diseases. The accessions were selected based

on the identification of genes that affect important economic traits. This germplasm can serve as a genetic source for breeding programs for winter wheat: for reducing the duration of the growing period – Konkutent, Line K 18918 (Russia), Pcelina (Bulgaria), Whetstone, KS13DH0030-32 (USA), Kupava /7/ AU /3/ MINN // HK/38MA ... Demir (TCI); for increasing yield components – Alekseich (Russia), CTR Rada (Bulgaria), Bayraktar 2000 (Türkiye), Sy Wolf, CO13D1299 (USA), BEZ / F10S-1 // 233/87-15-37 /6/..., AGRI / NAC // Attila /4/ C80.1... (TCI); for improving grain quality – Nakhodka, Donskaya Lira, Duplet, Postovchanka 7, Donna, Zolushka (Russia), Esperia (Bulgaria), Judee, KS020638~5 / Gallagher (USA), AGRI / NAC // Attila /4/ C80.1... (TCI); for increasing of resistance to diseases – Alekseich, Antonina, Gurt, Duplet, Line K 18918 (Russia), SY Wolf, KS13DH0020-59 (USA), OCW00S106S / Garrison (TCI).

Table 3 presents the highest-yielding accessions from different ecological groups based on field evaluation across the two seasons. These accessions possessed combinations of favorable alleles of genes with a positive effect on agronomic traits.

Table 3.

High-yielding genotypes of winter bread wheat identified via trial results in Omsk (2022 and 2023)

Variety, line	Days to ripeness	Winter hard-ness, %	Spi-kes / plant	Grai-ns / spike	Grain weight/ spike, g	TKW, g	Yield, g/m ²	No. of favorable alleles
<i>Russia</i>								
Donna	311	68.5*	2.16*	30.7*	1.17*	37.8*	379*	34
Zhiva	317	74.5*	1.97	34.5*	1.41*	40.8*	375*	29
Doneko	311	67.0*	2.12*	29.7*	1.19*	49.8*	373*	33
Donskaya Lira	309	68.5*	2.32*	27.0*	1.02*	37.9*	368*	34
Zolushka	314	56.0	1.99	34.6*	1.26*	36.4*	362*	30
Don 107	309	53.0	3.03*	36.3*	1.32*	36.2*	333	31
Donskoy Mayak	311	74.0*	1.57	36.9*	1.87*	37.3*	329	30
K 18918	313	63.5	2.83*	33.6*	1.04*	31.0*	318	32
Л 2293 K 2-4	313	63.0	1.48	32.7*	1.20*	36.9*	309	34
Alekseich	314	57.0	3.09*	29.1	1.08*	37.6*	309	35
<i>Bulgaria</i>								
Pcelina	309	90.5*	2.75*	37.2*	1.29*	34.7*	269	32
Esperia	311	75.5*	2.14*	31.4*	1.06*	33.1*	190	32

<i>Türkiye</i>								
Gelibolu	312	77.0*	1.86	37.8*	1.22*	32.7*	309	30
Saban	309	81.5*	1.39	23.6*	0.52	22.1	212	31
<i>USA</i>								
SY Wolf	313	55.5	2.38*	28.4*	0.98*	34.2*	371*	36
KS13DH0030-29	310	67.5*	2.31*	32.6*	0.99*	30.1*	368*	30
KS13DH0030-32	310	91.0*	2.94*	39.9*	1.39*	34.8*	354	29
KS13DH 002722	310	71.0*	2.67*	27.7*	0.92*	33.1*	326	29
KS- 13DH0020-59	308	65.0	2.75*	27.9*	0.79	28.5*	318	30
KS13DH0039-99	311	86.5*	1.85	27.2*	0.85	31.2*	294	29
<i>Türkiye-CIMMYT-ICARDA</i>								
WBLL1*2 / Kuruku /5 / Chuen-Mai 18...	310	76.0*	3.39*	29.8*	0.86	28.8*	325	34
Gondvana // HBK0935- 29-15 / KS90W077-2-2 / VBF0589-1...	312	37.0	2.87*	34.5*	1.37*	39.1*	309	29
Kupava /7/ AU /3 /MINN // HK / 38MA /4/...	312	83.0*	1.75	29.1*	0.89*	30.0*	253	29
Omskaya 4, standard	319	66.5	1.87	21.4	0.82	25.7	335	29
LSD _{0.05}	3.77	0.39	0.17	1.49	0.07	2.15	21.3	

Note: * – values exceeding the standard are significant at $p < 0.05$

The nine accessions from Russia, which are more adaptive genotypes to local conditions, demonstrated yields of 309–379 g/m². These accessions were characterized by a high number of grains per spike (27.0–34.6), weight of grains per spike (1.02–1.41), and TKW (36.4–49.8). The accessions Pcelina, Esperia (Bulgaria); Saban, Gelibolu (Türkiye); KS13DH0039-99, KS13DH0030-32 (USA); Kupava /7/ AU /3 /MINN // HK / 38MA /4/..., WBLL1*2 / Kuruku /5/ Chuen-Mai 18... (TCI) had the greatest winter hardness (75.5–91.0%), hence, their yield varied from 190 to 354 g/m². Obviously, these accessions had different numbers of productive plants before harvest. Five genotypes from the

USA (KS13DH0030-29, SY Wolf, KS13DH 002722, KS13DH0030-32, KS-13DH0020-59) had the greatest number of spikes per plant (2.31–2.94) and TKW (28.5–34.8). In contrast, the lowest yield was observed for the TCI material (253–335 g/m²). Nevertheless, this material is interesting for breeding because of its high number of grains per spike and TKW (29.1–34.5 and 28.8–39.1, respectively). A total of 29–36 favorable alleles of genes with positives effects on traits of adaptation, yield components, grain yield, and resistance to diseases were identified in the highest-yielding (362–379 g/m²) accessions: Doneko, Donskaya Lira, Zolushka, Donna, Zhiva (Russia), KS13DH0030-29, and SY Wolf (USA).

Discussion

Currently, winter wheat is considered one of the sources for increasing grain production due to its higher yield and better use of the region's bioclimatic resources in Western Siberia. Despite improvements in the methods of growing technologies and the evolution of winter wheat, modern varieties have lost their advantages resistance to negative environmental factors and grain quality [17, 34]. Winter wheat accessions from different geographical groups were studied in an international collection during 2022 and 2023. The studied germplasms differed above all in terms of in frost and winter hardness under conditions in Western Siberia. The accessions from Russia and Bulgaria had higher levels of winter hardness (66.7–69.9%) than did the accessions from other countries. In this study, accessions from the USA demonstrated good winter hardness (65.6%), dwarfism (57.5 cm), greater number of spikes on the plant (2.42), and the highest yield among the studied genotypes (271 g/m²). Genotyping of winter wheat varieties and lines using SNP loci helps to study the genetic structure of populations, detect polymorphism levels, determine varietal composition and determine effective markers associated with valuable agronomic traits [13; 24]. The winter wheat accessions were examined using 55 KASP markers, with 36 polymorphic, 5 monomorphic, and 14 minor-allele-prevalent markers (MAF <0.05). The average number of alleles was 2, and the effective number of alleles was 1.42. The analysis of the genotypic structure of the population revealed that the division of genotypes into 6 subclusters did not depend on their origin. Principally, the germplasms from Rostov Oblast and Krasnodar Krai were distributed between the third and the sixth clusters, together with accessions from Bulgaria, Turkey, the USA, and the TCI program. In contrast, in most of the conducted studies, according to cluster analysis results, the groups of winter wheat accessions formed were closely related to their geographical location [21;

37]. The genetic similarity the collected material can be explained by the limited set of used markers, as well as the supposed common parents in its pedigree.

The genetic information indices indicated a relatively high genetic diversity of the 96 winter wheat accessions based on genotyping using KASP markers (Table 2). Shannon's information index ranged from 0.058 to 0.693, with an average of 0.40. The observed heterozygosity was 0.25. The genotyping of the world collection of bread wheat using 47 KASP markers revealed that the genetic diversity index ranged from 0.26 for the CIMMYT varieties to 0.32 for the modern Chinese varieties [38]. The highest Shannon's index (0.688–0.693) was detected for loci located in the chromosomes of the B genome: *ipbb_ta_124*, *ipbb_ta_165*, *ipbb_ta_275*. Chen et al. [9] used 269 SSR markers to analyze the 90 accessions of Chinese winter wheat genotypes, and reported that the average genetic diversity index was 0.60. In this study the B genome had the greatest genetic diversity (0.63), while the D genome had the lowest (0.56), which was a significant difference between these genomes. As reported by Sthapit et al. [33] an evaluation of polymorphisms in American winter wheat varieties over the past 120 years revealed that there was the lowest diversity in 2000–2019 compared to that in the period before the 1930s. In contrast, the genetic diversity analysis of 187 lines of winter wheat grown in the eastern United States and released from 1808 to 2005 using SNP and DArT markers showed that the allele composition of the winter bread wheat genome became more diverse; approximately 11% of the genome exhibited significant changes in allele frequencies [8]. Undoubtedly, the disparities observed in the evaluations of the genetic diversity of winter wheat collections can be attributed to diverse breeding methodologies and approaches.

The use of various DNA markers in practical breeding to study the genetic diversity of winter wheat collections is a key task for the improvement of winter wheat and the identification of the effective genetic sources as parental forms for hybridization programs [23; 28]. The highest allele frequency (0.833–0.990) in the studied population of winter wheat had favorable alleles affecting the number of days to heading (*ipbb_ta_229*), number of days from heading to maturity (*ipbb_ta_197*), spike length (*ipbb_ta_196*, *ipbb_ta_114*), number of spikes per plant (*ipbb_ta_107*), TKW (*ipbb_ta_241*), yield (*ipbb_ta_188*), grain protein content (*ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_261*), grain gluten content (*ipbb_ta_219*, *ipbb_ta_220*), grain vitreous (*ipbb_ta_274*), and resistance to yellow rust (*ipbb_ta_141*).

Genotypes with the lowest frequency of favorable alleles should be specifically involved in breeding programs to improve winter wheat varieties. The fol-

lowing alleles with positive effects on important agronomic traits were identified: number of days to heading (*ipbb_ta_225*, *ipbb_ta_227*, *ipbb_ta_246*), number of days from heading to maturity (*ipbb_ta_149*), upper internode length (*ipbb_ta_188*, *ipbb_ta_197*), spike length (*ipbb_ta_263*), grain content protein (*ipbb_ta_278*), and resistance to stem rust (*ipbb_ta_131*, *ipbb_ta_132*, *ipbb_ta_133*). A set of the highest-yielding (362–379 g/m²) accessions that possessed 29–36 favorable alleles were recommended for the development of new germplasms and extension of the genetic diversity of winter wheat: Doneko, Donskaya Lira, Zolushka, Donna, Zhiva (Russia), KS13DH0030-29, and SY Wolf (USA).

Conclusion

The study of the international collection of winter wheat accessions from different geographical groups under conditions in Western Siberia revealed significant differences in yield and agronomic traits. The accessions from Russia and Bulgaria were characterized by the highest winter hardiness, while accessions from the USA had the highest yield and early maturity. The identification of genes related to valuable traits of collection accessions is a key task for the improvement of winter wheat and identification of the effective genetic sources as parental forms for hybridization programs. Genotyping using 55 KASP markers was used to determine the genetic diversity of 96 winter wheat accessions. The population structure was studied, and the level of genetic similarity between international accessions was assessed. The promising varieties and lines that were identified were characterized by favorable alleles associated with significant agronomic traits. The results of the research can be successfully used in breeding to develop high-yielding winter wheat varieties that are resistant to adverse environmental factors and have high grain quality.

Acknowledgments. Field experiments were carried out with the support of the Russian Science Foundation (agreement No. 23-16-20006 dated April 20, 2023).

References

1. Borovik A.N., Bespalova L.A., Kolesnikov F.A., Ilyina N.A., Chataev A.R. Klassika – novyj sort pshenicy myagkoj ozimoj [Classic – a new variety of common winter wheat]. *Trudy Kubanskogo GAU* [Proceedings of the Kuban SAU], 2021, vol. 9, pp. 32-35. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-91-32-35>
2. *Metodicheskie ukazaniya. Izuchenie kollekci pshenicy* [Methodical instructions. Exploring the wheat collection]. V.F. Dorofeev (editor). L.: VIR, 1985, 28 p.

3. Pototskaya I.V., Shepelev S.S., Chursin A.S., Kovalchuk A.M., Shamanin V.P. Selekcionnaya ocenka sortoobrazcov ozimoy pshenicy v usloviyah yuzhnoj lestestepi Zapadnoj Sibiri [Breeding estimation of the winter wheat varieties in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii* [Grain Economy of Russia], 2023, vol. 15, no. 4, pp. 21-26. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-21-27>
4. Skripka O.V., Podgorny S.V., Samofalov A.P., Chernova V.L. Selekcziya sortov ozimoy myagkoj pshenicy intensivnogo tipa v FGBNU «ANC «Donskoj» [The breeding work in the winter bread wheat varieties of intensive type in the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy”]. *Zernovoe hozyajstvo Rossii* [Grain Economy of Russia], 2020, no. 6 (72), pp. 19-25. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-19-25>
5. Amalova A., Yermekbayev K., Griffiths S., Abugalieva S., Babkenov A., Fedorenko E., Abugalieva A., Turuspekov Y. Identification of quantitative trait loci of agronomic traits in bread wheat using a Pamyati Azieva× Paragon mapping population harvested in three regions of Kazakhstan. *Peer J*, 2022, vol. 10, pp. e14324. <https://doi.org/10.7717/peerj.14324>
6. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bepalova L. et al. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region. *Agriculture*, 2023, vol. 13, pp. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
7. Belyaeva M., Bokusheva R. Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. *Climatic Change*, 2018, vol. 149, pp. 205-17. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>
8. Cabrera A., Souza E., Guttieri M., Sturbaum A., Hoffstetter A., Sneller C. Genetic Diversity, Linkage Disequilibrium, and Genome Evolution in Soft Winter Wheat. *Crop Science*, 2014, vol. 56, no. 6, pp. 2433-2448. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.09.0601>
9. Chen X., Min D., Yasir T.A., Hu Y.-G. Genetic Diversity, Population Structure and Linkage Disequilibrium in Elite Chinese Winter Wheat Investigated with SSR Markers. *PLoS ONE*, 2012, vol. 7, no. 9, pp. e44510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044510>
10. Delaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. A plant DNA miniprep. Version II. *Plant Molecular Biology Reports*, 1983, vol. 4, pp. 19-21.
11. Dowla N., Edwards I., O'Hara G., Islam S., Ma W. Developing Wheat for Improved Yield and Adaptation Under a Changing Climate: Optimization of a Few Key Genes. *Engineering*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.06.005>

12. Earl D.A., VonHoldt B.M. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation genetics resources*, 2012, vol. 4, pp. 359-361.
13. El Baouchi A., Ibriz M., Dreisigacker S., Lopes M.S., Garcia M.S. Genetic Diversity and Genome-Wide Association Study for the Phenology Response of Winter Wheats of North America, Western Asia, and Europe. *Plants*, 2023, vol. 12, pp. 4053. <https://doi.org/10.3390/plants12234053>
14. Eltaher S., Hashem M., Ahmed A.A.M., Baenziger P.S., Börner A., Sallam A. Effectiveness of TaDreb-B1 and 1-FEH w3 KASP Markers in Spring and Winter Wheat Populations for Marker-Assisted Selection to Improve Drought Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, pp. 8986. <https://doi.org/10.3390/ijms24108986>
15. Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 2005, vol. 14, no. 8, pp. 2611-2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
16. Fowler D.B., N'Diaye A., LaudenciaChingcuanco D., Pozniak C.J. Quantitative Trait Loci Associated with Phenological Development, Low-Temperature Tolerance, Grain Quality, and Agronomic Characters in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 0152185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152185>
17. François B., Bouchet S., Robert S., De Oliveira R., Rimbert H., Kitt J., Choulet F. International Wheat Genome Sequencing Consortium, BreedWheat Consortium, Paux E. Worldwide phylogeography and history of wheat genetic diversity. *Science Advances*, 2019, vol. 5, no. 5, pp. eaav0536. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav0536>
18. Genievskaia Y., Turuspekov Y., Rsaliyev A., Abugalieva S. Genome-wide association mapping for resistance to leaf, stem, and yellow rusts of common wheat under field conditions of South Kazakhstan. *PeerJ*, 2020, vol. 8, pp. e9820.
19. Giannakaki P., Calanca P. Russian winter and spring wheat productivity, heat stress and drought conditions at flowering, and the role of atmospheric blocking. *Climate Research*, 2019, vol. 78, pp. 135-147. <https://doi.org/10.3354/cr01563.4>
20. Hammer O., Harper D.A. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontological electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1.
21. Husenov B., Muminjanov H., Dreisigacker S., Otambekova M., Akin B., Subasi K., Rasheed A., Shepelev S., Morgounov A. Genetic diversity and agronomic performance of wheat landraces currently grown in Tajikistan. *Crop Science*, 2021, vol. 61, no. 4, pp. 2548-2564. <https://doi.org/10.1002/csc2.20463>
22. Irshad A., Guo H., Ur Rehman S., Wang X., Gu J., Xiong H., Xie Y., Zhao L., Zhao S., Wang C., Liu L. Identification of Single Nucleotide Polymorphism in

- TaSBE III and Development of KASP Marker Associated With Grain Weight in Wheat. *Frontiers in Genetics*, 2021, vol. 12, pp. 697294. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.697294>
23. Karsai I., Vida G., Petrovics S., Petcu E., Kobiljski B., Ivanovska S., Bedo Z., Veisz O. Assessment of the spatial genotypic and phenotypic diversity present in the various winter wheat breeding programs in Southeast Europe. *Euphytica*, 2012, vol. 186, pp. 139-151. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0510-2>
24. Kaur B., Mavi G.S., Gill M.S., Saini D.K. Utilization of KASP technology for wheat improvement. *Cereal Research Communications*, 2020, vol. 48, pp. 409-421. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00057-6>
25. Kidokoro S., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Transcriptional regulatory network of plant cold-stress responses. *Trends in Plant Science*, 2022, vol. 27, pp. 922-935. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.01.008>
26. Liu S., Rudd J.C., Bai G., Haley S.D., Ibrahim A.M.H., Xue Q., Hays D.B., Graybosch R.A., Devkota R.N., Amand P.St. Molecular Markers Linked to Important Genes in Hard Winter Wheat. *Crop science*, 2014, vol. 54, no. 4, pp. 1304-1321. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.08.0564>
27. Liu L., Yuan C.Y., Wang M.N., See D.R., Zemetra R.S., Chen X.M. QTL analysis of durable stripe rust resistance in the North American winter wheat cultivar Skiles. *Theoretical and Applied Genetics*, 2019, vol. 132, pp. 1677-1691. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03307-2>
28. Miedaner T., Akel W., Flath K., Jacobi A., Taylor M., Longin F., Würschum T. Molecular tracking of multiple disease resistance in a winter wheat diversity panel. *Theoretical and Applied Genetics*, 2020, vol. 133, pp. 419-431. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03472-4>
29. Pandurangan S., Workman C., Nilsen K., Kumar S. Introduction to Marker-Assisted Selection in Wheat Breeding. In *Accelerated Breeding of Cereal Crops*. Springer Protocols Handbooks, 2022, pp. 77-117. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1526-3>
30. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 288-295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
31. Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 2000, vol. 155, no. 2, pp. 945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>
32. Rasheed A., Wen W.E., Gao F.M., Zhai S.N., Jin H., Liu J.D., Guo Q., Zhang Y.J., Dreisigacker S., Xia X.C., He Z.H. Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2016, vol. 129, no. 10, pp. 1843-1860.

33. Sthapit S.R., Marlowe K., Covarrubias D.C., Ruff T.M., Eagle J.D., McGinty E.M., Hooker M.A., Duong N.B., Skinner D.Z., See D.R. Genetic diversity in historical and modern wheat varieties of the U.S. Pacific Northwest. *Crop Science*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 3175-3190. <https://doi.org/10.1002/csc2.20299>
34. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S.G., Amri A., Bishaw Z., Ogonnaya F.C., Baum M. Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World. *Crop Breeding, Genetics, and Genomics*, 2019, vol. 1, pp. e190005. <https://doi.org/10.20900/cbagg20190005>
35. Templ B., Calanca P. Critical increase in the occurrence of heat stress during reproductive growth in Russian wheat beyond 1.5 C global warming. *Weather and Climate Extremes*, 2020, vol. 30, pp. 100281. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100281>
36. Turuspekov Y., Baibulatova A., Yermekbayev K., Tokhetova L., Chudinov V., Sereda G., Ganai M.W., Griffiths S., Abugalieva S. GWAS for plant growth stages and yield components in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) harvested in three regions of Kazakhstan. *BMC Plant Biology*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 51-61. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1131-2>
37. Vikram P., Franco J., Burgueño-Ferreira J., Li H., Sehgal D., Pierre C.S., Ortiz C., Sneller C., Tattaris M., Guzman C. et al. Unlocking the genetic diversity of Creole wheats. *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, pp. 23092. <https://doi.org/10.1038/srep23092>
38. Zhao J., Wang Z., Liu H., Zhao J., Li T., Hou J., Zhang X., Chenyang H. Global status of 47 major wheat loci controlling yield, quality, adaptation and stress resistance selected over the last century. *BMC Plant Biology*, 2019, vol. 19, pp. 5. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1612-y>

Список литературы

1. Боровик А.Н., Беспалова Л.А., Колесников Ф.А., Ильина Н.А., Чатаев А.Р. Классика – новый сорт пшеницы мягкой озимой // Труды Кубанского ГАУ. 2021. № 9. С. 32-35.
2. Методические указания. Изучение коллекции пшеницы. Под ред. В.Ф. Дорофеева. Л.: ВИР, 1985. 27 с.
3. Потоцкая И.В., Шепелев С.С., Чурсин А.С., Ковальчук А.М., Шаманин В.П. Селекционная оценка сортообразцов озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 21-26. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-21-27>
4. Скрипка О.В., Подгорный С.В., Самофалов А.П., Чернова В.Л. Селекция сортов озимой мягкой пшеницы интенсивного типа в ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6 (72). С. 19-25. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-19-25>

5. Amalova A., Yermekbayev K., Griffiths S., Abugalieva S., Babkenov A., Fedorenko E., Abugalieva A., Turuspekov Y. Identification of quantitative trait loci of agronomic traits in bread wheat using a Pamyati Azieva× Paragon mapping population harvested in three regions of Kazakhstan // *Peer J*, 2022, vol. 10, pp. e14324. <https://doi.org/10.7717/peerj.14324>
6. Baranova O., Solyanikova V., Kyrova E., Kon'kova E., Gaponov S., Sergeev V., Shevchenko S., Mal'chikov P., Dolzhenko D., Bepalova L. et al. Evaluation of Resistance to Stem Rust and Identification of Sr Genes in Russian Spring and Winter Wheat Cultivars in the Volga Region // *Agriculture*, 2023, vol. 13, pp. 635. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030635>
7. Belyaeva M., Bokusheva R. Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach // *Climatic Change*, 2018, vol. 149, pp. 205-17. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2221-3>
8. Cabrera A., Souza E., Guttieri M., Sturbaum A., Hoffstetter A., Sneller C. Genetic Diversity, Linkage Disequilibrium, and Genome Evolution in Soft Winter Wheat // *Crop Science*, 2014, vol. 56, no. 6, pp. 2433-2448. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.09.0601>
9. Chen X., Min D., Yasir T.A., Hu Y.-G. Genetic Diversity, Population Structure and Linkage Disequilibrium in Elite Chinese Winter Wheat Investigated with SSR Markers // *PLoS ONE*, 2012, vol. 7, no. 9, pp. e44510. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044510>
10. Delaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. A plant DNA miniprep. Version II // *Plant Molecular Biology Reports*, 1983, vol. 4, pp. 19-21.
11. Dowla N., Edwards I., O'Hara G., Islam S., Ma W. Developing Wheat for Improved Yield and Adaptation Under a Changing Climate: Optimization of a Few Key Genes // *Engineering*, 2018, vol. 4, no. 4, pp. 514-522. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.06.005>
12. Earl D.A., VonHoldt B.M. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method // *Conservation genetics resources*, 2012, vol. 4, pp. 359-361.
13. El Baouchi A., Ibriz M., Dreisigacker S., Lopes M.S., Garcia M.S. Genetic Diversity and Genome-Wide Association Study for the Phenology Response of Winter Wheats of North America, Western Asia, and Europe // *Plants*, 2023, vol. 12, pp. 4053. <https://doi.org/10.3390/plants12234053>
14. Eltaher S., Hashem M., Ahmed A.A.M., Baenziger P.S., Börner A., Sallam A. Effectiveness of TaDreb-B1 and 1-FEH w3 KASP Markers in Spring and Winter Wheat Populations for Marker-Assisted Selection to Improve Drought Tolerance // *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, vol. 24, pp. 8986. <https://doi.org/10.3390/ijms24108986>

15. Evanno G., Regnaut S., Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study // *Molecular Ecology*, 2005, vol. 14, no. 8, pp. 2611-2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>
16. Fowler D.B., N'Diaye A., LaudenciaChingcuanco D., Pozniak C.J. Quantitative Trait Loci Associated with Phenological Development, Low-Temperature Tolerance, Grain Quality, and Agronomic Characters in Wheat (*Triticum aestivum* L.) // *PLoS ONE*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 0152185. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152185>
17. François B., Bouchet S., Robert S., De Oliveira R., Rimbart H., Kitt J., Choulet F. International Wheat Genome Sequencing Consortium, BreedWheat Consortium, Paux E. Worldwide phylogeography and history of wheat genetic diversity // *Science Advances*, 2019, vol. 5, no. 5, pp. eaav0536. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav0536>
18. Genievskaya Y., Turuspekov Y., Rsaliyev A., Abugalieva S. Genome-wide association mapping for resistance to leaf, stem, and yellow rusts of common wheat under field conditions of South Kazakhstan // *PeerJ*, 2020, vol. 8, pp. e9820
19. Giannakaki P., Calanca P. Russian winter and spring wheat productivity, heat stress and drought conditions at flowering, and the role of atmospheric blocking // *Climate Research*, 2019, vol. 78, pp. 135-147. <https://doi.org/10.3354/cr01563.4>
20. Hammer O., Harper D.A. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis // *Paleontological electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1
21. Husenov B., Muminjanov H., Dreisigacker S., Otambekova M., Akin B., Subasi K., Rasheed A., Shepelev S., Morgounov A. Genetic diversity and agronomic performance of wheat landraces currently grown in Tajikistan // *Crop Science*, 2021, vol. 61, no. 4, pp. 2548-2564. <https://doi.org/10.1002/csc2.20463>
22. Irshad A., Guo H., Ur Rehman S., Wang X., Gu J., Xiong H., Xie Y., Zhao L., Zhao S., Wang C., Liu L. Identification of Single Nucleotide Polymorphism in TaSBE III and Development of KASP Marker Associated With Grain Weight in Wheat // *Frontiers in Genetics*, 2021, vol. 12, pp. 697294. <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.697294>
23. Karsai I., Vida G., Petrovics S., Petcu E., Kobiljski B., Ivanovska S., Bedo Z., Veisz O. Assessment of the spatial genotypic and phenotypic diversity present in the various winter wheat breeding programs in Southeast Europe // *Euphytica*, 2012, vol. 186, pp. 139-151. <https://doi.org/10.1007/s10681-011-0510-2>
24. Kaur B., Mavi G.S., Gill M.S., Saini D.K. Utilization of KASP technology for wheat improvement // *Cereal Research Communications*, 2020, vol. 48, pp. 409-421. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00057-6>

25. Kidokoro S., Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Transcriptional regulatory network of plant cold-stress responses // *Trends in Plant Science*, 2022, vol. 27, pp. 922-935. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.01.008>
26. Liu S., Rudd J.C., Bai G., Haley S.D., Ibrahim A.M.H., Xue Q., Hays D.B., Graybosch R.A., Devkota R.N., Amand P.St. Molecular Markers Linked to Important Genes in Hard Winter Wheat // *Crop science*, 2014, vol. 54, no. 4, pp. 1304-1321. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.08.0564>
27. Liu L., Yuan C.Y., Wang M.N., See D.R., Zemetra R.S., Chen X.M. QTL analysis of durable stripe rust resistance in the North American winter wheat cultivar Skiles // *Theoretical and Applied Genetics*, 2019, vol. 132, pp. 1677-1691. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03307-2>.
28. Miedaner T., Akell W., Flath K., Jacobi A., Taylor M., Longin F., Würschum T. Molecular tracking of multiple disease resistance in a winter wheat diversity panel // *Theoretical and Applied Genetics*, 2020, vol. 133, pp. 419-431. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03472-4>
29. Pandurangan S., Workman C., Nilsen K., Kumar S. Introduction to Marker-Assisted Selection in Wheat Breeding // *In Accelerated Breeding of Cereal Crops*. Springer Protocols Handbooks, 2022, pp. 77-117. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1526-3>
30. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // *Molecular Ecology Notes*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 288-295. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01155.x>
31. Pritchard J.K., Stephens M., Donnelly P. Inference of population structure using multilocus genotype data // *Genetics*, 2000, vol. 155, no. 2, pp. 945-959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>
32. Rasheed A., Wen W.E., Gao F.M., Zhai S.N., Jin H., Liu J.D., Guo Q., Zhang Y.J., Dreisigacker S., Xia X.C., He Z.H. Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat // *Theoretical and Applied Genetics*, 2016, vol. 129, no. 10, pp. 1843-1860.
33. Sthapit S.R., Marlowe K., Covarrubias D.C., Ruff T.M., Eagle J.D., McGinty E.M., Hooker M.A., Duong N.B., Skinner D.Z., See D.R. Genetic diversity in historical and modern wheat varieties of the U.S. Pacific Northwest // *Crop Science*, 2020, vol. 60, no. 6, pp. 3175-3190. <https://doi.org/10.1002/csc2.20299>
34. Tadesse W., Sanchez-Garcia M., Assefa S.G., Amri A., Bishaw Z., Ogonnaya F.C., Baum M. Genetic Gains in Wheat Breeding and Its Role in Feeding the World // *Crop Breeding, Genetics, and Genomics*, 2019, vol. 1, pp. e190005. <https://doi.org/10.20900/cbgg20190005>

35. Templ B., Calanca P. Critical increase in the occurrence of heat stress during reproductive growth in Russian wheat beyond 1.5 C global warming // *Weather and Climate Extremes*, 2020, vol. 30, pp. 100281. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100281>
36. Turuspekov Y., Baibulatova A., Yermekbayev K., Tokhetova L., Chudinov V., Sereda G., Ganai M.W., Griffiths S., Abugalieva S. GWAS for plant growth stages and yield components in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) harvested in three regions of Kazakhstan // *BMC Plant Biology*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 51-61. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1131-2>
37. Vikram P., Franco J., Burgueño-Ferreira J., Li H., Sehgal D., Pierre C.S., Ortiz C., Sneller C., Tattaris M., Guzman C. et al. Unlocking the genetic diversity of Creole wheats // *Scientific Reports*, 2016, vol. 6, pp. 23092. <https://doi.org/10.1038/srep23092>
38. Zhao J., Wang Z., Liu H., Zhao J., Li T., Hou J., Zhang X., Chenyang H. Global status of 47 major wheat loci controlling yield, quality, adaptation and stress resistance selected over the last century // *BMC Plant Biology*, 2019, vol. 19, pp. 5. <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1612-y>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Inna V. Pototskaya, Dr. Sc. (Agriculture), Assistant Professor, Professor of the Chair of Agronomy, Breeding, and Seed Production
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
iv.pototskaya@omgau.org
SPIN-code: 9601-7910
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3574-2875>
Researcher ID: AAC-4902-2020
Scopus Author ID: 57194657673

Sergey S. Shepelev, Cand. Sc. (Agriculture), Head of the Laboratory of Grain Crops Genetics
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
ss.shepelev@omgau.org
SPIN-code: 3763-3878
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4282-8725>
Researcher ID: E-4876-2018
Scopus Author ID: 55574945000

Yerlan K. Turuspekov, Cand. Sc. (Biology), Head of the Laboratory of Molecular Genetics
Institute of Plant Biology and Biotechnology
45, Timiryazev Str., Almaty, 050040, Kazakhstan
yerlant@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8590-1745>
Researcher ID: C-3458-2011
Scopus Author ID: 57197860996

Alexey I. Morgounov, Cand. Sc. (Agriculture), Leading Researcher
Kazakh Agrotechnical University Named after S. Seyfullin
62, Zhenis Ave., Astana, 010011, Kazakhstan
alexey.morgounov@gmail.com
SPIN-code: 6519-0465
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7082-5655>
Researcher ID: AGD-7910-2022
Scopus Author ID: 22135622600

Alexandr S. Chursin, Cand. Sc. (Agriculture), Head of the Laboratory of Field Crops Breeding and Seed Production
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
as.chursin@omgau.org
SPIN-code: 3648-1744
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6797-6145>
Scopus Author ID: 5697164100

Alexandr M. Kovalchuk, Post Graduate Student
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
am.kovalchuk2032@omgau.org
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8371-7243>

Timur V. Savin, Cand. Sc. (Biology), Director

*Scientific and Production Center of Grain Farming Named after A.I. Baraev
5, Baraeva Ave., Shortandy, 021601, Kazakhstan*

savintimur_83@mail.ru

SPIN-code: 2618-7688

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3550-647X>

ResearcherID: ADD-6215-2020

Scopus Author ID: 57188589888

Vladimir P. Shamanin, Dr. Sc. (Agriculture), Professor, Professor of the Chair
of Agronomy, Breeding, and Seed Production

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

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

vp.shamanin@omgau.org

SPIN-code: 1787-0970

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4767-9957>

ResearcherID: AAC-3913-2020

Scopus Author ID: 37113094900

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Потоцкая Инна Владимировна, д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафе-
дры агрономии, селекции и семеноводства

*Федеральное государственное бюджетное образовательное уч-
реждение высшего образования «Омский государственный аграр-
ный университет имени П.А. Столыпина»*

Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация

iv.pototskaya@omgau.org

Шепелев Сергей Сергеевич, канд. с.-х. наук, доцент, зав. лабораторией
генетики зерновых культур

*Федеральное государственное бюджетное образовательное уч-
реждение высшего образования «Омский государственный аграр-
ный университет имени П.А. Столыпина»*

Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация

ss.shepelev@omgau.org

Туруспеков Ерлан Кенисбекович, канд. биол. наук, зав. лабораторией
молекулярной генетики

Институт биологии и биотехнологии растений

ул. Тимирязева, 45, г. Алматы, 050040, Казахстан

yerlant@yahoo.com

Моргунов Алексей Иванович, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина

пр. Женис, 62, г. Астана, 010011, Казахстан

alexey.morgounov@gmail.com

Чурсин Александр Сергеевич, канд. с.-х. наук, зав. лабораторией селекции и семеноводства полевых культур

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация

as.chursin@omgau.org

Ковальчук Александр Максимович, аспирант

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация

am.kovalchuk2032@omgau.org

Савин Тимур Владимирович, канд. биол. наук, директор

НПЦ Зернового хозяйства им. А.И. Бараева

ул. Бараева, 5, Шортанды, 021601, Казахстан

savintimur_83@mail.ru

Шаманин Владимир Петрович, д-р с.-х. наук, профессор, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»

Институтская пл., 1, г. Омск, 660008, Российская Федерация

vp.shamanin@omgau.org

Поступила 11.03.2024

После рецензирования 12.05.2024

Принята 16.05.2024

Received 11.03.2024

Revised 12.05.2024

Accepted 16.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1052

EDN: NGJWGO

УДК 633.16.321.631.526.32:631.529



Научная статья

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Николаев, О.А. Юсова, М.С. Чекусов

Аннотация

Обоснование. Омский аграрный научный центр – комплексное научное учреждение, выполняющее исследования по перспективным направлениям в области сельскохозяйственного производства. При создания сортов с заданными параметрами для селекционера важен правильный подбор родительских форм, в связи с чем в каждой селекционной лаборатории поддерживается коллекция образцов – как местной, так и инорайонной и зарубежной селекции.

Цель: оценка значимости образцов коллекционного питомника для создания сортов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в Омском аграрном научном центре.

Материалы и методы. Объектом исследований являлись сорта ячменя коллекции ВИР, различных центров селекции. Генетические паспорта по аллелям гордеинкодирующих локусов у сортов ячменя представлены на официальном сайте ФГБУН "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук.

Результаты. Сорта ячменя коллекционного питомника, в основном, представлены мономорфными сортам; гетерогенными являются стандартный сорт Омский 95 (Hrd A281 B1+8 F1+2) и Талер (Hrd A18 B21+67 F1+2). Различия сортов по биотипам не нашло отражения в различии их урожайности и качества зерна. Сорта коллекционного питомника, в основном, характеризовались пониженной продуктивностью и качеством зерна в условиях южной лесостепи Западной Сибири.

Заключение. По комплексу признаков продуктивности и качества зерна выделены сорта, которые рекомендуются для дальнейших исследований: Алей, Хаджибей, Талер, Оленёк, Абалак, Емеля, Изабелла. Сорта коллекционного питомника Одесский 100 и Донецкий 8 являются родительскими для

получивших широкое распространение сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» - Омский 91, Омский голозерный 2 и Саша. Выявлена родственность данных сортов по спектрам глиадинов.

Ключевые слова: ячмень; *Hordeum vulgare* L.; сорт; биотип; спектр глиадина; качество зерна; урожайность

Для цитирования. Николаев П.Н., Юсова О.А., Чекусов М.С. Оценка генетического разнообразия исходного материала ярового ячменя для селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 339-360. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1052

Original article

ASSESSMENT OF THE GENETIC DIVERSITY OF SPRING BARLEY SOURCE MATERIAL FOR BREEDING IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

P.N. Nikolaev, O.A. Yusova, M.S. Chekusov

Abstract

Background. Omsk Agrarian Scientific Center is a comprehensive scientific institution that carries out research in promising areas in the field of agricultural production. When creating varieties with the given parameters, it is important for the breeder to choose the right parental forms, in connection with which each breeding laboratory maintains a collection of samples - both local and foreign and foreign selection.

Purpose: to assess the significance of samples of the collection nursery for the creation of barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) in the Omsk Agrarian Scientific Center.

Materials and methods. The object of research was the barley varieties of the VIR collection, various breeding centers. Genetic passports for the alleles of hordeinencoding loci in barley varieties are presented on the official website of the Russian Academy of Sciences Vavilov Institute of General Genetics.

Results. The barley varieties of the collection nursery are mainly represented by monomorphic varieties; the standard variety Omskiy 95 (Hrd A281 B1+8 F1+2) and Taler (Hrd A18 B21+67 F1+2) are heterogeneous. The difference of varieties by

biotypes was not reflected in the difference in their productivity and grain quality. The varieties of the collection nursery were mainly characterized by reduced productivity and grain quality in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia.

Conclusion. According to the complex of characteristics of productivity and quality of grain, varieties were selected that are recommended for further research: Aley, Khadzhibey, Taler, Olenyok, Abalak, Emelya, Isabella. The cultivars of the collection nursery Odessa 100 and Donetsk 8 are the parent varieties of the Omsk Agrarian Scientific Center cultivars, Omsk 91, Omskiy golozerniy 2 and Sasha, which have become widespread. The relatedness of these cultivars in terms of gliadin spectra was revealed.

Keywords: barley; *Hordeum vulgare* L.; variety; biotype; gliadin spectrum; grain quality; productivity

For citation. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Chekusov M.S. Assessment of the Genetic Diversity of Spring Barley Source Material for Breeding in the Southern Forest-Steppe Conditions of Western Siberia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 339-360. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1052

Введение

Селекция – это динамичная наука, которая постоянно развивается и совершенствуется. Основным, и наиболее востребованным ее направлением, является создание новых высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур с целью обеспечения продовольственной безопасности страны.

Климатические факторы, и их ускоряющееся изменение, накладывает отпечаток на развитие и функционирование многих социально-значимых сфер человека. Агрономия, играя роль отрасли, обеспечивающей питание, также уязвима перед данными изменениями. Снизить негативное влияние почвенно-климатических изменений может возделывание сортов, характеризующихся экологической стабильностью [2; 10; 12].

К актуальным требованиям, предъявляемым к адаптивным сортам, относятся устойчивость как к засушливым условиям [6], так и излишне увлажненным, в сочетании с неблагоприятным для земледелия типом почв [2], [8; 13]. В идеале, возделываемые сорта должны формировать стабильно высокую урожайность, несмотря на перечисленные выше негативные факторы [15].

Еще одним немаловажным направлением, помимо создания высокопродуктивных и высококачественных сортов, является селекция на устойчивость к заболеваниям [8]. Возделывание в АПК региона и страны

сортов, не поражаемых болезнями, позволяет минимизировать количество химических обработок посевов, что соответствует принципам экологического земледелия и снижает себестоимость продукции.

Традиционно, основными возделываемыми культурами являются зерновые, которые находят применение и в продовольственной промышленности и в кормопроизводстве. Ярким представителем зернофуражных культур является ячмень, являясь относительно неприхотливой культурой. Наряду с нетребовательностью к возделыванию, ячмень характеризуется повышенной урожайностью и ценным качественным составом зерна (белки, углеводы, β -глюканы, минералы, витамины, фенольные соединения) [8; 9; 16; 17; 18], что особо актуально для производства функционального питания [8].

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве широко распространены пленчатые сорта ячменя. Однако селекция голозерных сортов также развивается, яркими представителями данной группы являются такие сорта Омского АНЦ, как 'Омский голозерный 1', 'Омский голозерный 2' и 'Омский голозерный 4'. Голозерный ячмень зарекомендовал себя, как лидер среди зерновых культур по содержанию бета-глюканов [5]. Кроме того, отсутствие на зерновке голозерных сортов цветочных пленок значительно сокращает затраты при использовании таких сортов в кормопроизводстве.

При создании сортов с заданными параметрами для селекционера важен правильный подбор родительских форм. Для этой цели в каждой селекционной лаборатории поддерживается коллекция образцов – как местной, так и инорайонной и зарубежной селекции [13; 19]. Создание сорта – весьма длительный процесс (цикл от гибридизации до передачи сорта на ГСИ может составлять 10-15 лет). Зачастую, для получения сорта, селекционер не ограничивается лишь одним этапом гибридизации – в эту схему могут многократно привлекаться все новые сорта, расширяя и дополняя таким образом его родословную.

Цель исследований: оценка значимости образцов коллекционного питомника для создания сортов ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в Омском аграрном научном центре.

Материалы и методы исследования

Представлены данные исследований (электрофореграммы, продуктивность и качество зерна) коллекционного питомника ячменя ФГБНУ «Омский АНЦ», полученные из коллекции ВИР:

Странник - оригинатор ФГУП Прикумская опытно-селекционная станция. Допущен к использованию в Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах.

Талер – оригинатор РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». предоставлен в качестве коллекционного образца ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Оленёк – оригинатор ФГБНУ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН. Допущен к использованию в Восточно-Сибирском регионе.

Абалак - оригинаторы ФГБУН ФИЦ Тюменский научный центр СО РАН, ФГБНУ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН, Филиал ФГБУ Госсорткомиссия по Красноярскому краю, республике Хакасия и Республике Тыва, ООО ЕРМАК. Допущен к использованию в Волго-Вятском, Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском регионах.

Алей – оригинатор ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий. Допущен к использованию в Западно-Сибирском и Дальневосточном регионах.

Беатрис – оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH (Deutschland). Допущен к использованию в регионах: Центрально-черноземный, Средневолжский, Западно-Сибирский.

Емеля – оригинатор ФГБНУ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН. Допущен к использованию в Восточно-Сибирский регионе.

Ратник – оригинатор ФГБНУ АНЦ Донской. Допущен к использованию в Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах.

Хаджибей – Оригинатор ФГБНУ Белгородский ФАНЦ РАН. Допущен к использованию в Центрально-черноземном регионе.

Челябинский 99 - Оригинатор ФГБНУ Челябинский НИИСХ. Допущен к использованию в Уральском и Западно-Сибирском регионе.

Травеллер – оригинатор Secobra Recherches S.A.S (Франция). Допущен к использованию в Центрально-черноземном регионе.

Деспина – оригинатор Nordsaat Saatzucht GMBH (Германия). Допущен к использованию в Северо-Западном и Волго-Вятском регионах.

Ксанаду – оригинатор Saaten-Union GMBH (Германия). Допущен к использованию в Центрально-черноземный регионе.

Изабелла - предоставлен в качестве коллекционного образца Федеральным исследовательским центром Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР).

Княжич– оригинатор ОАО НПФ Белселект. Допущен к использованию в Центрально-черноземном регионе.

Определение биохимических показателей проводили с использованием современных и традиционных методов и технологий (Pleshkov, 1976).

Представлена сравнительная характеристика электрофореграмм сортов коллекционного питомника:

- Одесский 100: оригинаторы - ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ, ООО учебно-опытное хозяйство Донское ДОН ГАУ, ФГБНУ Пензенский НИИСХ, ФГБНУ Ульяновский НИИСХ, ООО научная производственная семенная компания Агросемтранс. Допущен к использованию в Центральном-черноземном, Северо-Кавказском и Средневолжском регионах.

- Донецкий 8: оригинаторы - ФГБНУ ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН, ГУНПП Колос-97, НИИСХ Юго-Востока, ООО Сорт-семена, ФГУП Советская Россия, СПК колхоз им. Ю.А. Гагарина. Допущен к использованию в Нижневолжском и Уральском регионах.

Данные сорта вошли в состав родословных следующих сортов селекции Омского АНЦ:

- Омский 91: 2004 г., Западно-Сибирский (10) регион;
- Омский голозерный 2: 2008 г., Западно-Сибирский (10) регион;
- Саша: 2012 г., Уральский (9) и Западно-Сибирский (10) регионы;

Генетические паспорта по аллелям гордеинкодирующих локусов у сортов ячменя представлены на официальном сайте ФГБУН "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук [1] и получены по методике данного института [7].

Таблица 1.

Метеорологические условия в мае – сентябре 2019–2021 гг.

Месяц	2019 год				2020 год				2021 год			
	температура воздуха, °С		сумма осадков, мм		температура воздуха, °С		сумма осадков, мм		температура воздуха, °С		сумма осадков, мм	
	значение	±*	значение	%**	значение	±*	значение	%**	значение	±*	значение	%**
Май	12,2	-0,3	37,8	108,0	17,4	4,9	22,3	63,7	17,4	4,9	13,3	42,9
Июнь	15,5	-2,5	85,3	167,3	16,2	-2,1	42,7	83,7	16,9	-1,1	44,7	81,3
Июль	20,4	0,8	28,9	43,8	21,2	1,6	13,3	20,2	20,6	1,2	32,8	50,5
Август	18,0	1,0	40,5	75,0	19,4	2,4	55,7	103,1	19,1	2,1	42,4	75,7
Сентябрь	10,8	0,4	48,2	165,8	11,4	1,0	40,1	137,9	9,5	-0,9	34,8	119,7
ГТК	1,10				0,69				0,58			

Примечание: * - отношение к среднемноголетнему значению (±, °С);

** - отношение к среднемноголетнему значению (%)

Анализ качественных показателей зерна проведен по Плешкову [11], математическая обработка данных проведена по пособию Б.А. Доспехова [3] в приложении Excel для ПК.

По климатическим условиям 2019 г. характеризовался как достаточно увлажненный (ГТК = 1,1); 2020 и 2021 гг. являются периодами сухого земледелия (ГТК = 0,69 и 0,58 соответственно), табл. 1.

Недобор температур отмечен в июне на протяжении всего периода исследований ($-1,1 \dots -2,5^{\circ}\text{C}$ по отношению к среднегодовым данным), а также в мае 2019 и сентябре 2021 ($-0,3$ и $-0,9^{\circ}\text{C}$ к норме соответственно).

Существенный недостаток увлажнения отмечен в июле с 2019 по 2021 гг. ($20,2 \dots 50,5\%$ к среднегодовым), а также в мае и июне 2020 и 2021 гг. ($42,9 \dots 83,7\%$ к норме) и августе 2019 и 2021 гг. ($75,0$ и $75,7\%$).

Результаты исследований и обсуждение

Для оценки создания высокоурожайных адаптивных сортов ячменя, в Омском аграрном научном центре создана коллекция, образцы которой широко применяются в селекционном процессе.

Идентификация сортов по запасным белкам методом электрофореза является широко распространенным и довольно продолжительное время практикуемым способом [4; 20], особенно для агроэкологической оценки [4; 14].

В настоящее время определены генетические формулы гордеинов большинства сортов ячменя, допущенных к использованию на территории России и перспективных для включения в реестр. В таблице 2 представлены генетические формулы сортов ячменя различных центров селекции, включенные в коллекционный питомник лаборатории селекции зернофуражных культур ФГБНУ «Омский АНЦ» и представленные на официальном сайте ФГБУН "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук [1].

В изучаемом коллекционном питомнике 15 сортов из 17 являются линейными по гордеин-кодирующим локусам или мономорфными по гордеинам сортами (Странник, Оленёк, Абалак, Алей, Беатрис, Емеля, Ратник, Хаджибей, Челябинский 99, Травеллер, Деспина, Ксанаду, Изабелла, Княжич). Такие сорта имеют только один тип электрофореграмм, рис. 1. Данные сорта являются линейными по гордеин-кодирующим локусам или мономорфными по гордеинам сортами. Такие сорта имеют только один тип электрофореграмм.

Таблица 2.

Генетические формулы гордеина и биотипы гетерозиготных сортов ячменя

Сорт	Генетические формулы гордеина			Биотипы гетерозиготных	
	A	B	F		
Омский 95, St	28	1+8	1+2	Hrd A28 B1 F1	Hrd A28 B8 F2
Странник	2	1	3	-	-
Талер	18	21+67	1+2	Hrd A18 B21 F1	Hrd A88 B67 F2
Оленёк	12	1	3	-	-
Абалак	2	8	2	-	-
Алей	2	8	2	-	-
Беатрис	23	8	2	-	-
Емеля	2	134	3	-	-
Ратник	2	156	1	-	-
Хаджибей	2	21	1	-	-
Челябинский 99	2	8	2	-	-
Травеллер	4	164	3	-	-
Деспина	21	8	2	-	-
Ксанаду	2	5	1	-	-
Изабелла	32	29	3	-	-
Княжич	2	17	3	-	-

Сорта Омский 95 и Талер являются гетерогенными по гордеин-кодирующим локусам, рис. 3. В свою очередь, стандартный сорт Омский 95 характеризуется сложной структурой популяции гордеин-кодирующих локусов, включающей четыре биотипа, различающихся по блокам компонентов, контролируемым аллелями локусов - Hrd B (Hrd B1 и Hrd B8) и Hrd F (Hrd F1 и Hrd F2); Hrd A28 B1 F1 и Hrd A28 B8 F2. Общая формула гордеинов сорта 'Омский 95': Hrd A281 B1+8 F1+2.

Аналогична, наблюдается наличие наличием четырех биотипов - Hrd B (Hrd B21 и Hrd B67) и Hrd F (Hrd F1 и Hrd F2); Hrd A18 B21 F1 и Hrd A88 B67 F2 у сорта 'Талер'. Общая формула гордеинов сорта 'Талер': Hrd A18 B21+67 F1+2.

В целях обеспечения продовольственной безопасности страны сорта, возделываемые на предприятиях агропромышленного комплекса страны должны характеризоваться рядом признаков. основополагающим признаком является адаптивность. Сорта, формирующие стабильно повышенную урожайность в условиях изменяющегося климата должны составлять основу производства. Также к требованиям, предъявляемым к современным сортам, относится повышенное качество зерна - что гарантирует получение высококачественной продукции с минимальными добавками химического происхождения и благоприятно сказывается на здоровье нации.

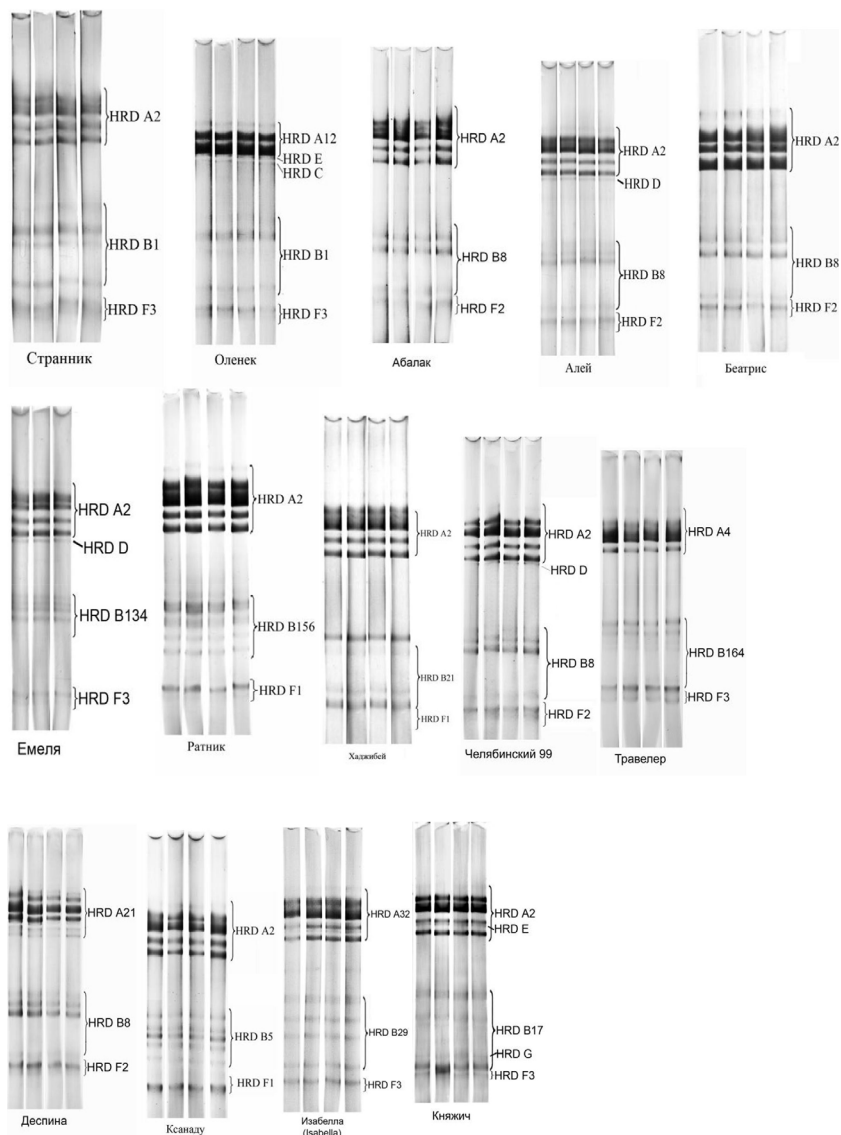


Рис. 1. Электрофоретические спектры мономорфных по гордеинам сортов.

Спектры представлены на официальном сайте ФГБНУ "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук

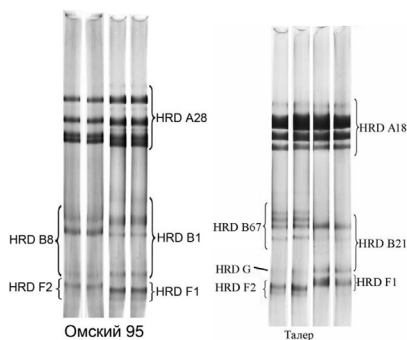


Рис. 2. Электрофоретические спектры гетерогенных по гордеинам сортов Омский 95 и Талер. Спектры представлены на официальном сайте ФГБНУ "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук

В таблицах 3 и 4 представлена характеристика вышеописанных сортов, составляющих коллекционный питомник, по продуктивности и качеству зерна.

Содержание белка, в среднем, формировалось на уровне 12,2%. Ни один исследуемый сорт достоверно не превышал по данному показателю стандарт (12,9%). Характеризовались белковостью зерна на уровне стандарта (12,1...13,2%) сорта Талер, Оленёк, Абалак, Алей, Емеля, Ратник, Хаджибей, Челябинский 99 и Травеллер.

Среднегрупповое содержание крахмала отмечено на уровне 59,0%. Прибавкой по отношению к стандарту характеризовались сорта Странник, Ратник, Хаджибей, Челябинский 99, Травеллер, Деспина, Ксанаду, Изабелла и Княжич (+3,0...6,5%).

Содержание в зерне сырого жира, в среднем, составило 3,1%. Превышение по масличности зерна отмечено у сорта Изабелла (+0,9% к st.); на уровне стандарта (3,7%) сорт Княжич (3,9%).

Пленчатость зерна - в среднем по питомнику - 8,4%. Значительно ниже стандарта (8,3%) по данному показателю сорта Странник, Алей, Емеля и Ратник (-0,6...-1,2%).

Средняя масса 1000 зерен составила 50,1 г. большинство исследуемых сортов (Странник, Талер, Оленёк, Абалак, Алей, Беатрис, Хаджибей, Челябинский 99, Травеллер, Деспина, Ксанаду, Изабелла и Княжич) характеризовались повышенной крупностью зерна (+4,3...16,4 г к st.).

Урожайность коллекционных образцов в условиях южной лесостепи Западной Сибири, в среднем, отмечена на уровне 4,8 т/га. Исследуемые сорта, несмотря на высокую массу 1000 зерен, характеризовались пони-

женной урожайностью. Достоверная прибавка отмечена у сортов Алей и Хаджибей (+0,6 и 0,9 т/га к st.); на уровне стандарта (6,4 т/га) сорта Оленёк, Абалак, Емеля и Ратник (6,3...6,7 т/га).

Таблица 3.

**Характеристика сортов коллекционного питомника по качеству зерна,
в среднем за 2019-2021 гг.**

Сорт	Содержание белка, %		Содержание крахмала, %		Содержание сырого жира, %		Пленчатость зерна, %	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
Омский 95, St	12,0...13,7	12,9	53,7...58,4	56,3	1,9...5,8	3,7	7,9...8,7	8,3
Странник	11,0...12,4	11,6	59,1...62,1	60,4	1,8...3,2	2,6	7,2...8,3	7,7
Талер	11,5...13,0	12,2	49,9...58,4	53,8	2,7...3,0	2,9	7,4...8,5	7,9
Оленёк	11,9...14,5	13,2	53,9...59,3	56,6	2,4...4,6	3,3	8,0...9,2	8,6
Абалак	11,4...13,3	12,5	53,9...59,8	57,1	0,7...3,2	2,1	7,6...9,8	8,6
Алей	11,7...12,3	12,1	55,9...58,4	57,3	0,6...2,9	1,9	6,7...7,9	7,3
Беатрис	10,1...12,5	11,2	56,5...58,5	57,8	1,5...3,2	2,4	7,7...8,8	8,3
Емеля	12,2...12,8	12,5	55,9...58,4	57,3	0,9...3,5	2,1	6,4...7,8	7,1
Ратник	11,7...14,2	12,9	59,1...65,0	62,1	3,7...4,5	4,1	7,3...7,9	7,6
Хаджибей	11,9...14,4	13,2	59,4...65,3	62,4	3,1...3,8	3,4	8,5...9,8	9,2
Челябинский 99	11,6...14,1	12,9	56,5...62,2	59,3	2,9...3,5	3,2	9,1...10,5	9,9
Травеллер	11,6...14,0	12,8	57,2...62,9	60,0	2,9...3,5	3,2	8,8...10,1	9,0
Деспина	10,0...12,1	11,1	59,8...65,8	62,8	2,5...3,0	2,8	8,3...9,6	9,0
Ксанаду	10,0...12,1	11,0	57,8...63,6	60,7	2,6...3,2	2,9	8,2...9,4	8,8
Изабелла	10,7...12,9	11,8	58,4...64,3	61,4	4,2...5,1	4,6	8,6...9,9	9,3
Княжич	10,9...13,1	12,0	59,1...65,0	62,1	3,5...4,3	3,9	8,7...10,0	9,4
Среднее	-	12,2	-	59,0	-	3,1	-	8,4
max	-	13,2	-	62,8	-	4,6	-	9,9
min	-	11,0	-	53,8	-	1,9	-	7,1
CV, %	-	5,9	-	4,5	-	24,3	-	9,5
НСР ₀₅	-	0,8	-	1,7	-	0,2	-	0,5

Таблица 4.

**Характеристика сортов коллекционного питомника по продуктивности,
в среднем за 2019-2021 гг.**

Сорт	Масса 1000 зерен, г		Урожайность, т/га	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
Омский 95, St	41,9...45,1	43,6	5,3...7,2	6,4
Странник	57,0...63,0	60,0	4,2...6,0	4,9
Талер	45,6...50,4	48,0	3,5...6,4	4,7
Оленёк	49,5...54,7	52,1	5,5...7,3	6,3

Абалак	51,7...55,9	53,7	6,3...7,3	6,7
Алей	52,2...54,8	53,3	7,1...7,5	7,3
Беатрис	49,1...52,0	50,6	4,8...7,0	5,7
Емеля	40,8...44,4	42,5	6,1...6,8	6,4
Ратник	39,8...43,8	41,8	5,7...7,4	6,4
Хаджибей	57,0...62,7	59,9	5,7...8,3	7,0
Челябинский 99	45,6...50,2	47,9	1,6...1,8	1,7
Травеллер	49,5...54,4	52,0	1,7...1,9	1,7
Деспина	50,5...55,6	53,1	2,3...2,5	2,4
Ксанаду	49,6...54,5	52,1	2,3...2,6	2,5
Изабелла	46,6...51,3	49,0	3,7...4,1	3,9
Княжич	40,2...44,2	42,2	2,9...3,3	3,1
Среднее	-	50,1	-	4,8
max	-	60,0	-	7,3
min	-	41,8	-	1,7
CV, %	-	11,3	-	21,3
HCP ₀₅ /	-	1,9	-	0,5

Результаты исследований сортов коллекционного питомника показали, что в условиях южной лесостепи Западной Сибири данные сорта характеризовались пониженными значениями данных показателей по отношению к стандартному сорту. Объяснением данного эффекта может служить климатические особенности Сибирского региона, который относится к зоне резко-континентального климата (зона рискованного земледелия). Особенности данной зоны являются следующие факторы:

- малоснежные зимы, что препятствует накоплению снежного покрова и, как следствие, незначительному накоплению влаги в почве в период посевных работ;
- возвратные заморозки и ранне-летние засухи, что создает значительные трудности, поскольку растения находятся в фазах всходы, кушение (в результате происходит изреживание посевов, что значительно снижает урожайность);
- резкая смена засушливых периодов осадками ливневого характера, сопровождающиеся шквальными ветрами - что создает условия для вымокания растений в середине вегетации и их полегания в фазах молочной и восковой спелости;
- туманные условия в утренние периоды, что создает условия для возникновения и распространение листостебельных заболеваний;
- осадки в период уборочных работ и раннее наступление зимних холодов.

Перечисленные климатические особенности безусловно, оказывают непосредственное влияние на урожайность и качество зерна. Сорта, внесенные в Госреестр РФ и рекомендованные для возделывания, являются адаптивными для особенностей данного регионе и обладают способностью нивелировать перечисленные неблагоприятные условия возделывания благодаря наличию таких индивидуальных характеристик, как увеличенная продолжительность определенных межфазных периодов и сокращение периода вегетации в целом; опушение органов растения; неосыпающееся зерно и др.

Неудивительно, что сорта иных центров селекции, несмотря на значительное количество положительных и ценных характеристик, с трудом могут произрастать в данных условиях. Поэтому обязательным условием для включения данных сортов в программу гибридизации является наличие в ней также сортов сибирского экотипа, которые обеспечат передачу полученному гибриднему материалу параметров адаптивности.

Однако, несмотря на перечисленные трудности, в селекционной программе Омского АНЦ широко применяются сорта как инорайонной, так и зарубежной селекции, которые вносят значительный вклад в создание новых перспективных сортов.

В следующей части статьи авторы предлагают результаты анализа по вкладу сортов коллекционного питомника в создание Омских высокопродуктивных сортов.

Как видно из данных рис. 3, для получения сорта Омский 99 применялась многоступенчатая схема гибридизации, в которую на разных этапах входили сорта зарубежной селекции: Кейстон (Канада), Фогельзангер Гольд (ФРГ), K27643 (США). Но на каждом этапе создания привлекались как отечественные сорта (Червонец, Циклон, Паллидум 107), так и сорта Омской селекции (Омский 85, Омский 89, Паллидум 4466). Гибридизация (Омский 89×Паллидум 4466) проведена в 1997 г., элитное растение выделено в 2000 г.; в Госреестр РФ сорт Омский 99 включен с 2015 г. Основное достоинство: высокая потенциальная продуктивность и качество зерна, которое обеспечивает сбалансированность кормов по питательности.

Аналогичную картину можно наблюдать также в родословной сорта Саша. Скрещивание (Медикум 4396×Медикум 4369) проведено в 1994 г., в 2001 г. выделено элитное растение; в Госреестр РФ сорт включен с 2012 г. Несмотря на то, что основными родительскими формами являются линии селекции Омский АНЦ, каждая линия получена при непосредственном участии сортов как зарубежной - Stm 48076, K 920 (Канада), K 900 (Фран-

ция), так и отечественной селекции (Одесский 9, Колхозный, Донецкий 8, К-2090, Голозерный). Наблюдается в родословной сорта Саша также сорт Омской селекции - Омский 86.

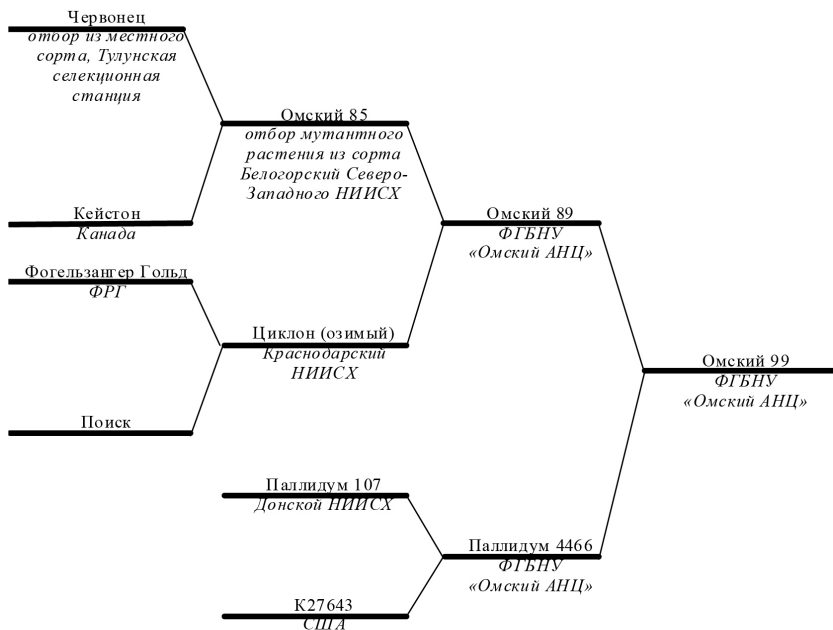


Рис. 3. Родословная сорта ячменя ярового многорядного 'Омский 99'

Как видно из данных рисунка 5, Саша и родительский сорт Донецкий 8 являются мономорфными (формула гордеинов сорта Саша: Hrd A12 B8 F2; Донецкий 8: Hrd A28 B19 F3). Родительский сорт Омский 86 напротив, гетерогенен: Hrd A2+28 B19 F3. Анализ электрофореграмм позволяет говорить о слабом родстве между данными сортами (поскольку в родословной присутствует множество образцов), что требует дополнительных исследований.

Следующий сорт, который авторы хотели бы рассмотреть - новый перспективный Омский 100. Скрещивание (Медикум 4365×Медикум 4549) проведено в 1996 г., в 1999 г. выделено элитное растение; в Госреестр РФ включен с 2019 г. Основное достоинство: высокая потенциальная продуктивность и качество зерна. Основа сорта Омский 100 - стародавние сорта ФРГ и ГДР (Вайенштефанер, Донариарх Фирлбек, Унион и [(Хайпроли х Мед.134) × Нут.244], Ка-

нады (Паллиссер) и СССР (Нутанс 58, Славутич), а также стародавнего сорта селекции СибНИИСХ - Омский 13709. На основе перечисленного селекционного материала получен сорт Омский 80, который многократно был включен в дальнейший селекционный процесс и послужил источником адаптивности для новых линий. Значительный вклад в получение сорта Омский 100 внесли сорта Харьковский, Одесский 100 и Донецкий 9.

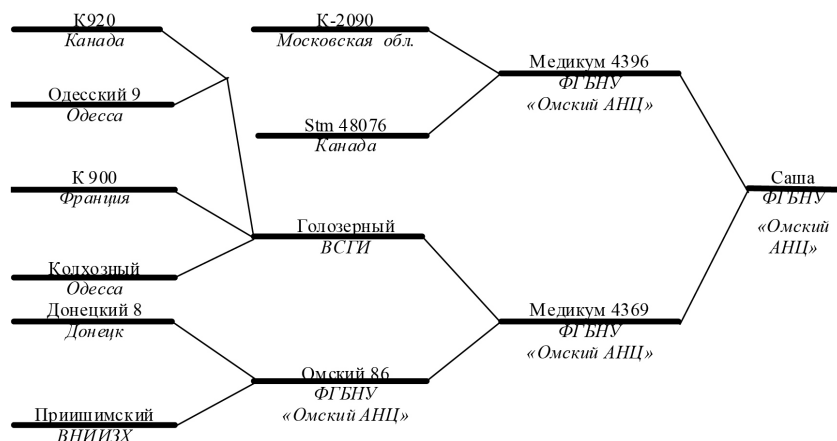


Рис. 4. Родословная сорта ячменя ярового 'Саша'

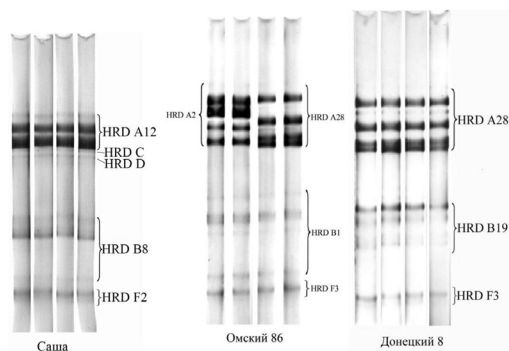


Рис. 5. Электрофоретические спектры сорта селекции ФГБНУ «Омский АНЦ». Спектры представлены на официальном сайте ФГБНУ "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук

Сорта селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» Омский голозерный 2 и Омский 91 получены при участии сорта Одесский 100, рис. 6.

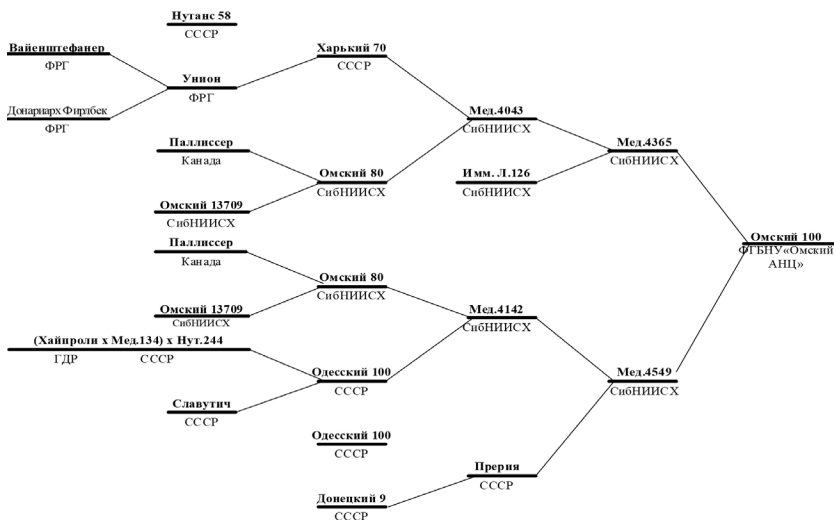


Рис. 6. Родословная сорта ячменя ярового Омский 100

Согласно приведенным на рисунке электрофоретическим спектрам, сорт Омский голозерный 2 является мономорфным (Hrd A2 B8 F2); идентичность с родительским сортом Одесский 100 наблюдается по локусам B и F.

Гетерогенными являются сорта Омский 91 (Hrd A2+12 B1+8 F2+3) и Одесский 100 (Hrd A2+12 B8 F2); идентичны данные сорта по локусу A.

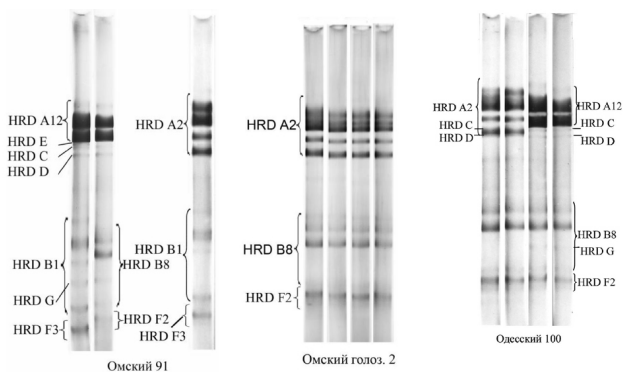


Рис. 6. Электрофоретические спектры сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» Омский голозерный 2 и Омский 91 и родительского сорта Одесский 100. Спектры представлены на официальном сайте ФГБНУ "Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова" Российской академии наук

Таким образом, результаты проведенных исследований доказывают, что селекционный процесс – это постоянный конвейер многофакторного анализа селекционного и коллекционного материала. Созданные ранее сорта включаются в схемы гибридизации и становятся родительскими для последующих сортов. Большое значение в данном процессе играют сорта различных центров селекции – они являются источниками новых актуальных признаков для гибридного материала. Однако адаптивность к сложным климатическим условиям могут передать только сорта местной селекции.

Выводы

1. Сорта ячменя коллекционного питомника, в основном, представлены мономорфными сортам. Гетерогенными являются стандартный сорт Омский 95 (Hrd A281 B1+8 F1+2) и Талер (Hrd A18 B21+67 F1+2).

2. Различие сортов по биотипам не нашло отражения в их различии по урожайности и качеству зерна.

3. Сорта коллекционного питомника, в среднем, характеризовались пониженной продуктивностью и качеством зерна. По комплексу признаков выделены сорта, которые рекомендуются для дальнейших исследований:

- Алей, Хаджибей – содержание белка на уровне стандарта (12,1 и 13,2% соответственно); повышенная масса 1000 зерен (+2,7 и 6,3 г к ст.); также сорт Алей характеризуется пониженной пленчатостью (-1,0% к ст.); Хаджибей – повышенным содержанием крахмала в зерне (+6,1% к ст.).

- Талер, Оленёк, Абалак - содержание белка на уровне стандарта (12,2...13,2%); повышенная масса 1000 зерен (+4,4...10,1% к ст.).

- Емеля, Ратник - содержание белка на уровне стандарта (12,5 и 12,9%); пониженная пленчатость зерна (-0,7 и -1,2 % к ст.).

- Изабелла – повышенное содержание в зерне крахмала и сырого жира (соответственно +5,1 и +0,9% к ст.).

4. Сорта коллекционного питомника Одесский 100 и Донецкий 8 являются родительскими для получивших широкое распространение сортов селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» - Омский 91, Омский голозерный 2 и Саша. Выявлена родственность данных сортов по спектрам глиадинов.

Список литературы

1. Генетические паспорта по аллелям гордеинкодирующих локусов у сортов ячменя *Hordeum vulgare* L., используемых в Российской Федерации. <http://vigg.ru/database/rasteniya/genetics-veg/test-lab/hordeum-vulgare/> (дата обращения: 30.04.2024).

2. Герасимов С.А. Сравнение образцов ячменя мировой коллекции ВИР в условиях Восточной Сибири // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 2(2). С. 15-18.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.
4. Зобова Н.В., Сурин Н.А., Герасимов С.А. Спектры проламинов в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя // Достижения науки и техники АПК. 2018. № 32(5). С. 45-47. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10511>
5. Кирдогло Е.К., Полищук С.С., Червонис М.В. Методология и результаты селекции ячменя пищевого использования // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2013. № 171. С. 240–253.
6. Куришбаев К., Канафин Б.К., Шестакова Н.А. Перспективы использования новой нетрадиционной культуры яровое тритикале в системе точного земледелия Северо-Казахстанской области // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2020. № 2(105). С. 30.
7. Лабораторный сортовой контроль семян ячменя методом электрофоретического анализа запасных белков зерна. http://www.vigg.ru/fileadmin/user_upload/Podrazdeleniya/Ispytatel'naja_laboratorija/Metodika_ehlektoforeza_gordeinov.pdf (дата обращения: 30.04.2024).
8. Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание β-глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 4. С. 646-657. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.4.646rus>
9. Лукина К.А., Шоева О.Ю., Ковалева О.Н. Содержание антоцианов в образцах зерновок ячменя и овса из коллекции ВИР // Биотехнология и селекция растений. 2021. Т. 4, № 3. С. 5-14. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-3-04>
10. Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В., Поползухин П.В. Оценка адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2018. № 2 (47). С. 37-44.
11. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос, 1976. 254 с.
12. Поползухин П.В., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка продуктивности и адаптивных свойств сортов ярового ячменя в условиях Сибирского Прииртышья // Земледелие. 2018. № 3. С. 40-43.
13. Сурин Н.А., Герасимов С.А., Ляхова Н.Е. Оценка генотипов ярового ячменя из коллекции ВИР на адаптивность и продуктивность в условиях

- Восточной Сибири // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 2(27). С. 16-22. <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-16-22>
14. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И. Экологическая реакция сортов ярового ячменя на абиотические и биотические факторы южной лесостепи омского региона // Таврический вестник аграрной науки. 2021. №. 1 (25). С. 224-235. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235>
 15. Якубышина Л.И., Прядун Ю.П. Влияние предшественников на урожайность и качество ярового ячменя в условиях Челябинской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 6(86). С. 49–54. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-49-54>
 16. Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health // *Nutrients*, 2020, vol. 12(10), pp. 12922. <https://doi.org/10.3390/nu12102922>
 17. Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain // *Plants*, 2021, vol. 10(1), pp. 86. <https://doi.org/10.3390/plants10010086>
 18. Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production // *Molecules*, 2021, vol. 26(8), pp. 2260. <https://doi.org/10.3390/molecules26082260>
 19. Siniauskaya M.G., Makarevich A.M., Goloenko I.M. The Study of Organelle dna Variability in Alloplasmic Barley Lines in the NGS Era // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, vol. 24(1), pp. 12-19. <https://doi.org/10.18699/VJ19.589>
 20. Zhou H., Steffenson B.J. Genome-wide association mapping reveals genetic architecture of durable spot blotch resistance in US barley breeding germplasm // *Mol. Breed.*, 2013, vol. 32, pp. 139-154. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9858-4>

References

1. Genetic passports for alleles of GORDEIN coding loci in barley varieties *Hordeum vulgare* L., used in the Russian Federation. <http://vigg.ru/database/rasteniya/genetics-veg/test-lab/hordeum-vulgare/>
2. Gerasimov S.A. Comparison of barley samples of the world collection of VIR in the conditions of Eastern Siberia. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, technical and earth sciences*, 2017, no. 2(2), pp. 15-18.
3. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment: (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Alliance, 2011, 350 p.
4. Zobova N.V., Surin N.A., Gerasimov S.A. Prolamines spectra in agroecological evaluation of barley collection material. *Achievements of science and technology of agroindustrial complex*, 2018, no. 32(5), pp. 45-47. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10511>

5. Kirdoglo E.K., Polishchuk S.S., Chervonis M.V. Methodology and results of selection of barley for food use. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 2013, no. 171, pp. 240-253.
6. Kurishbaev K., Kanafin B.K., Shestakova N.A. Prospects for the use of a new non-traditional crop spring triticale in the system of precision agriculture of the North-Kazakhstan region. *Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin*, 2020, no. 2(105), pp. 30.
7. Laboratory varietal control of barley seeds by electrophoretic analysis of spare grain proteins. http://www.vigg.ru/fileadmin/user_upload/Подразделение/Испытательная_лаборатория/Методика_электрофореза_гордеинов.pdf
8. Loskutov I.G., Polonsky V.I. Breeding for the content of β -glucans in oat grain as a promising direction for obtaining healthy food products, raw materials and forage (review). *Agricultural Biology*, 2017, vol. 52, no. 4, pp. 646-657. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.4.646rus>
9. Lukina K.A., Shoeva O.Yu., Kovaleva O.N. Content of anthocyanins in samples of barley and oat grains from the VIR collection. *Biotechnology and plant breeding*, 2021, vol. 4, no. 3, pp. 5-14. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-3-o4>
10. Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V., Popolzukhin P.V. Evaluation of adaptive properties of spring barley varieties in steppe conditions of the Siberian Priirtyshye. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2018, no. 2 (47), pp. 37-44.
11. Pleshkov B.P. *Practicum on plant biochemistry*. Moscow: Kolos, 1976, 254 p.
12. Popolzukhin P.V., Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Evaluation of productivity and adaptive properties of spring barley varieties in the conditions of the Siberian Irtyshye. *Zemledeliye*, 2018, no. 3, pp. 40-43.
13. Surin N.A., Gerasimov S.A., Lyakhova N.E. Evaluation of spring barley genotypes from the VIR collection for adaptability and productivity in the conditions of Eastern Siberia. *Agrarny vestnik Verkhnevolzh'ye*, 2019, no. 2(27), pp. 16-22. <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2019-27-2-16-22>
14. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Aniskov N.I. Ecological response of spring barley varieties to abiotic and biotic factors of the southern forest-steppe of the Omsk region. *Tavricheskiy vestnik agrarnoi nauki*, 2021, no. 1 (25), pp. 224-235. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-1-25-224-235>
15. Yakubyshina L.I., Pryadun Y.P. Influence of precursors on the yield and quality of spring barley in the conditions of the Chelyabinsk region. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universitet*, 2020, no. 6(86), pp. 49-54. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-49-54>

16. Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*, 2020, vol. 12(10), pp. 12922. <https://doi.org/10.3390/nu12102922>
17. Loskutov I.G., Khlestkina E.K. Wheat, barley, and oat breeding for health benefit components in grain. *Plants*, 2021, vol. 10(1), pp. 86. <https://doi.org/10.3390/plants10010086>
18. Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*, 2021, vol. 26(8), pp. 2260. <https://doi.org/10.3390/molecules26082260>
19. Siniauskaya M.G., Makarevich A.M., Goloenko I.M. The Study of Organelle dna Variability in Alloplasmic Barley Lines in the NGS Era. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2020, vol. 24(1), pp. 12-19. <https://doi.org/10.18699/VJ19.589>
20. Zhou H., Steffenson B.J. Genome-wide association mapping reveals genetic architecture of durable spot blotch resistance in US barley breeding germplasm. *Mol. Breed.*, 2013, vol. 32, pp. 139-154. <https://doi.org/10.1007/s11032-013-9858-4>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Николаев Петр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
nikolaev@anc55.ru*

Юсова Оксана Александровна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
yusova@anc55.ru*

Чекусов Максим Сергеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации и экономических исследований
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева, 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
chekusov@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Petr N. Nikolaev, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for the Selection of Grain Crops

Omsk Agricultural Research Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

nikolaev@anc55.ru

SPIN-code: 5611-8777

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Scopus Author ID: 57216491268

Oksana A. Yusova, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Biochemistry and Plant Physiology

Omsk Agricultural Research Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

yusova@anc55.ru

SPIN-code: 7096-6529

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Scopus Author ID: 57216487997

Maxim S. Chekusov, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Department of Mechanization and Economic Research

Omsk Agricultural Research Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

chekusov@anc55.ru

SPIN-code: 2156-4020

Поступила 16.05.2024

После рецензирования 20.08.2024

Принята 08.09.2024

Received 16.05.2024

Revised 20.08.2024

Accepted 08.09.2024

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

EDN: NILFDX

УДК 631.847.2126:633.1:631.87



Научная статья

АССОЦИАТИВНАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ В РИЗОСФЕРЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БАКТЕРИЯМИ *ARTHROBACTER MYSORENS* 7 И *FLAVOBACTERIUM* SP.

*Н.Н. Шулико, А.А. Киселёва, Е.В. Тукмачева, И.А. Корчагина,
Е.В. Кубасова, А.Ю. Тимохин, О.А. Юсова*

Аннотация

Общая слабая изученность в условиях Западной Сибири (Омская область), процесса азотфиксации и количественных данных его активности в агроэкосистемах не позволяют установить истинную роль микроорганизмов-азотфиксаторов в азотном балансе почв и питании растений, оценить долю биологического азота (за счет ассоциативной азотфиксации). Актуальность исследований заключается в биологической оценке приема инокуляции семян сельскохозяйственных культур биопрепаратами фунгицидно-стимулирующего действия российского производства (ВНИИСХМ, г. Пушкин). Исследования проводили с целью изучения влияния биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов на активность процесса азотфиксации в ризосфере зерновых культур, приживаемость интродуцированных бактерий, продуктивность культур в условиях южной лесостепной и подтаёжной зон Западной Сибири. Работу выполняли в полевых опытах на сортах яровой пшеницы омской селекции Омская 42, Омская 44, Тарская 12, Омский коралл, ячмене Омский 101, овсе Сибирский геркулес. Предпосевную бактеризацию семян осуществляли инокулянтom ди-

азотрофных бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7 и инокулянтом бактерий фунгицидно-стимулирующего действия рода *Flavobacterium sp.* L-30. Отбор проб ризосферы проводили в кушение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Активность процесса ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых существенно изменялась в зависимости от применения биопрепаратов, вида культуры и зоны их возделывания. В процессе выращивания зерновых культур на протяжении вегетационного периода при внесении бактерий *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 установлено усиление азотфиксирующей активности в ризосфере и активная приживаемость интродуцированных бактерий. На серой лесной почве, по всем культурам опыта, абсолютные размеры азотфиксации были ниже, чем на лугово-черноземной. В условиях южной лесостепной зоны наибольшим уровень азотфиксирующей активности был в ризосфере сорта мягкой пшеницы сорта Омская 42 и твёрдой пшеницы Омский коралл, составляя 150,7-322,0 и 140,0-393,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 149,0-281,0 и 86,2-554,5 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Параллельно наблюдали рост количества КОЕ интродуцированных бактерий в результате чего активизировался процесс азотфиксации. В подтаежной зоне Омской области наибольшие размеры ассоциативной азотфиксации обнаружены в ризосфере мягкой пшеницы сортов Омская 44 и Тарская 12, составляя 46,3-230,7 и 24,0-130,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 62,0-208,3 и 52,0-178,7 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Одновременно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г. Из зернофуражных культур выделился ячмень, активность процесса в ризосфере этой культуры составляла до 164,3 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при применении Флавобактерина. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная корреляционная связь процесса ассоциативной азотфиксации с урожайностью агрокультур, в зоне южной лесостепи $r=0,927$, $r=0,986$, $r=0,897$ (пшеница Омская 42, Омский коралл, овёс Сибирский геркулес), в зоне подтайги $r=0,998$, $r=0,991$, $r=0,916$, $r=0,990$ (пшеница Омская 42, Омская 44, ячмень Омский 101).

Ключевые слова: ассоциативная азотфиксация; инокуляция; рост растений; ризосферные бактерии; зерновые культуры; урожайность

Для цитирования. Шулико Н.Н., Киселёва А.А., Тукмачева Е.В., Корчагина И.А., Кубасова Е.В., Тимохин А.Ю., Юсова О.А. Ассоциативная азот-

фиксация в ризосфере зерновых культур при инокуляции стимулирующими рост растений бактериями *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 361-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

Original article

ASSOCIATIVE NITROGEN FIXATION IN THE RHIZOSPHERE OF CEREALS DURING SEED INOCULATION BY BACTERIA *ARTHROBACTER MYSORENS* 7 AND *FLAVOBACTERIUM* SP.

***N.N. Shuliko, A.A. Kiselyova, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina,
E.V. Kubasova, A.Yu. Timokhin, O.A. Yusova***

Abstract

The general lack of knowledge in the conditions of Western Siberia (Omsk region), the nitrogen fixation process and quantitative data on its activity in agroecosystems do not allow us to establish the true role of nitrogen fixing microorganisms in the nitrogen balance of soils and plant nutrition, to estimate the proportion of biological nitrogen (due to associative nitrogen fixation). The relevance of the research lies in the biological assessment of the reception of inoculation of agricultural seeds with biological preparations of fungicidal-stimulating action of Russian production (ARRIAM, Pushkin). The research were study the influence of biological products of associative diazotrophs on the activity of the associative nitrogen fixation process in the rhizosphere of cereals, the survivability of introduced bacteria, and crop productivity in the conditions of the southern forest-steppe abd subtaiga of Western Siberia. The work was carried out in field experiments on varieties of Omsk breeding of spring wheat Omsk 42, Omsk 44, Tarskaya 12, Omsk Coral, barley Omsk 101, oats Siberian Hercules. Pre-sowing bacterization of seeds was carried out with an inoculant of diazotrophic bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 and an inoculant of fungicidal-stimulating bacteria of the genus *Flavobacterium* sp. L-30. Rhizosphere sampling was leaded out in tillering (June), earing (July), grain filling (August).

The activity of the associative nitrogen fixation process in the rhizosphere of cereals varied significantly depending on the use of biological products, the type of crop and the zone of their cultivation. Under the cultivation of cereals during the growing seasons with the introduction of *Flavobacterium* sp. bacteria. and *Arthro-*

bacter mysorens 7, an increase in nitrogen-fixing activity in the rhizosphere and dynamic survivability of introduced bacteria were found. On gray forest soil, for all crops of the experiment, the absolute sizes of nitrogen fixation were lower than on meadow-chnozem soil. In the conditions of the southern forest-steppe zone, the highest level of nitrogen-fixing activity was in the rhizosphere of soft wheat variety Omsk 42 and durum wheat Omsk Coral variety, amounting to 150.7-322.0 and 140.0-393.0 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7, 149.0-281.0 and 86.2-554.5 nM C₂H₂/100 g of soil with introduction of *Flavobacterium* sp. accordingly. In parallel, an increase in the number of CFU introduced bacteria was observed, as a result of which the nitrogen fixation process was activated. In the subtaiga zone of the Omsk region, the largest sizes of associative nitrogen fixation were found in the rhizosphere of soft wheat varieties Omsk 44 and Tarskaya 12, amounting to 46.3-230.7 and 24.0-130.0 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7, 62.0-208.3 and 52.0-178.7 nM C₂H₂/100 g of soil with the introduction of *Flavobacterium* sp. accordingly. Simultaneously with the increase in the size of nitrogen fixation, the number of bacterial cells of diazotrophs of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 in the rhizosphere of these wheat varieties was also significant, during the growing season it varied between $1.28-5.23 \times 10^6$ CFU/g and $0.28-7.45 \times 10^6$ CFU/g. Barley was isolated from grain crops, the activity of the process in the rhizosphere of this crop was up to 164.3 nM C₂H₂/100 g of soil when *Flavobacterin* was used. A statistically significant ($p < 0.05$) positive correlation between the process of associative nitrogen fixation and the yield of agricultural crops was revealed, in the southern forest-steppe zone $r = 0.927$, $r = 0.986$, $r = 0.897$ (Omsk wheat 42, Omsk Coral, Siberian oats Hercules), in the subtaiga zone $r = 0.998$, $r = 0.991$, $r = 0.916$, $r = 0.990$ (Omsk wheat 42, Omsk 44, Omsk barley 101).

Keywords: associative nitrogen fixation; inoculation; plant growth; rhizospheric bacteria; cereals; yield

For citation. Shuliko N.N., Kiselyova A.A., Tukmacheva E.V., Korchagina I.A., Kubasova E.V., Timokhin A.Yu., Yusova O.A. Associative Nitrogen Fixation in the Rhizosphere of Cereals During Seed Inoculation by Bacteria *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* Sp. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 361-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016

Введение

Азот является важным элементом в развитии растений и ограничивающим фактором их роста. Он составляет около 2% от общего количества сухого вещества растений, поступающего в пищевую цепь. Тем не менее,

растения не могут напрямую получать доступ к молекулярному азоту, который составляет около 80% атмосферы. Растения поглощают доступный азот из почвы через корни в виде аммония и нитратов [19; 20].

Основным путём снабжения небобовых растений биологическим азотом признается ассоциативная азотфиксация. Факторами, определяющими ее эффективность, является применение биологических препаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов, обладающих повышенной способностью к ассоциации с культурными растениями и интенсивной азотфиксацией [10; 11; 14]. Микробная азотфиксация играет ключевую роль в балансе азота в биосфере и по своей значимости для живой природы сравнима только с другим глобальным процессом – фотосинтезом [15]. Активизация азотфиксации может происходить как при бактериализации семян, так при синтезе физиологически активных веществ [4].

Фиксация азота и выработка фитогормонов этими микроорганизмами считаются наиболее важными элементами стимулирования роста растений. Интенсивность стимулирования культур, особенно зерновых, включая перенос фиксированного азота от бактерий к растению, зависит от эффективного взаимодействия генотипа растения, вида бактерий и типа почв [1; 2; 22].

Небобовые растения образуют расширенную нишу для различных видов азотфиксирующих бактерий. Эти бактерии развиваются внутри растения, успешно колонизируя корни, стебли и листья. Во время ассоциации бактерии приносят пользу хозяину, заметно увеличивая рост растения, силу и урожайность. В этом отношении богатство азотфиксирующей флоры небобовых растений и степень их взаимодействия с хозяином определённо вселяют надежду на разработку экологически чистой альтернативы азотным удобрениям [18]. Внесение в почву (с семенами) активных штаммов ризосферных микроорганизмов, в большинстве случаев обеспечивает существенный рост интенсивности связывания атмосферного азота в злаковых агроценозах [17].

Интродукция ризосферных бактерий *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. стимулирует рост растений вследствие подавления фитопатогенных микроорганизмов, увеличения доступности в почве и поглощения растениями питательных элементов и активизации микробиологической азотфиксации в ризосфере [16; 21].

Вопросы эффективности внесения этих бактерий в ризосферу зерновых, их воздействие на активность процесса ассоциативной азотфиксации, приживаемость, а также урожайность возделываемых растений, в том числе на разных почвах, в условиях Западной Сибири изучены недостаточно.

Целью исследований было изучить влияние применения средств биологического земледелия (бактериальные препараты комплексного действия) на активизацию процесса азотфиксации ассоциативными диатрофами, приживаемость в ризосфере интродуцированных бактерий и продуктивность культур в условиях Омской области.

Материалы и методы

В полевом опыте в двух зонах Омской области (южная лесостепь и подтайга) было исследовано влияние биопрепаратов Мизорин и Флавобактерин, (производство ВНИСХМ, г. Санкт-Петербург, Пушкин) на активность процесса азотфиксации ризосферы новых сортов сельскохозяйственных культур омской селекции.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: агрокультура (*фактор А*) – пшеница сорт Омская 42, Омская 44, Тарская 12, Омский коралл, овёс сорт Сибирский геркулес, ячмень сорт Омский 101; бактериальный препарат для инокуляции семян (*фактор В*) – без препарата, Мизорин, Флавобактерин. Согласно схеме исследований применялась лишь предпосевная инокуляция семян препаратами комплексного действия.

Инокуляцию семян проводили в день посева, рекомендованной дозой. Площадь одной делянки – 13,5 м² (15х0,9), предшественник – пар. Повторность вариантов 4-х кратная. Площадь под опытом – 942 м². Отбор проб почвы ризосферы проводили в фазы развития растений: *кущение* (июнь), *колошение* (июль), *налив зерна* (август). Предшественник – чистый пар. Посев культур выполнен в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ рекомендованной нормой высева, сортами, включёнными в Государственный реестр селекционных достижений с допуском по 10 региону.

Почва опытного участка № 1 – лугово-черноземная среднemosная среднегумусная тяжелосуглинистая с содержанием в пахотном (0-20 см) слое гумуса – 6,5%, общего азота – 0,32%, рН водн – 6,5. Содержание нитратного азота в почве до 10 мг/кг в слое 0-20 см (очень низкое), подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно 120 и 297 мг/кг (высокое и очень высокое).

Почва опытного участка № 2 – серая лесная оподзоленная среднemosная суглинистая. Мощность пахотного горизонта 18-20 см с содержанием гумуса 2,5-3,0%. Содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте среднее – 120 мг/кг почвы и обменного калия - низкое – 75 мг/кг почвы.

Реакция почвенного раствора слабокислая (рН солевое 5,9-6,0). Исследования проводились на базе краткосрочных опытов.

Азотфиксирующую активность ризосферы определяли при помощи ацетиленового метода по восстановлению ацетилена в этилен методом газовой хроматографии на хроматографе системы Кристалл - 5000 [13].

Общую численность *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 учитывали на агаре Федорова-Калининской (основная среда для культивирования ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов (ассоциативных диазотрофов) почвы) [9].

Математическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики [3] (среднее арифметическое, стандартное отклонение) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

Вегетационный период 2023 года в условиях южной лесостепной зоны был засушливым, это обусловлено повышенной температурой воздуха 17,8°C, что выше нормы на 1°C при сильном дефиците осадков 178 мм или 86% от среднегодовое при ГТК 0,80. Экстремально жарким был июль при температуре воздуха 22,6°C с превышением нормы на 3,2°C. В подтаежной зоне вегетационный период в целом был влажным и тёплым, осадков выпало 115% от среднегодовое данных. Среднесуточная температура воздуха за период май – сентябрь составила 15,5°C, что на 1,6°C выше нормы, ГТК 1,34.

Существует мнение, что инокуляция семян корневыми диазотрофами повышает адаптогенные свойства сельскохозяйственных культур к засухе и экстремальным температурам [8]. Ввиду того, что опыты заложены в контрастных по метеоусловиям зонах, мы провели исследования по влиянию предпосевной бактериализации семян на активность процессов азотфиксации и приживаемость интродуцированных бактерий в ризосфере в динамике развития растений (3 раза в течение вегетации) для получения более объективных данных. Таким образом, представляется возможным определить насколько инокуляция повышает адаптационные возможности сельскохозяйственных растений и интенсивность протекающих в прикорневой зоне процессов.

Результаты исследования и обсуждение

В полевых опытах при выращивании зерновых культур на лугово-черноземной почве при внесении бактерий *Flavobacterium sp.* и *Arthrobacter mysorens* 7 установлено усиление азотфиксирующей активности в ризосфере и активная приживаемость интродуцированных бактерий. На серой

лесной почве, по всем культурам опыта, абсолютные размеры азотфиксации были ниже, чем на лугово-черноземной. Влияние предпосевной инокуляции семян было неоднозначным.

На лугово-черноземной почве процесс азотфиксации параллельно с приживаемостью бактерий усиливался и достигал максимума к периоду налива зерна. Уровень азотфиксирующей активности в процессе роста инокулированных растений пшеницы сорта Омская 42 был на 123 и 122% выше контроля в период кущения, на 87 и 63% в период налива зерна (таблица 1). Стоит отметить рост абсолютных значений активности ассоциативной азотфиксации от фазы кущения до налива зерна, что свидетельствует о хорошей приживаемости интродуцированных бактерий.

Таблица 1.

Активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых при применении бактеризации семян и численность интродуцированных бактерий, южная лесостепь (*Flavobacterium sp.*, *Arthrobacter mysoarens* 7), (n=3, m ± SD)

Вариант		Фазы развития		
		кущение	колошение	налив зерна
Пшеница мягкая Омская 42	Активность азотфиксации, нМ C ₂ H ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	67,3 ± 10,3	134,3 ± 13,4	172,0 ± 4,0
	Мизорин	150,7 ± 13,3	237,0 ± 15,9	322,0 ± 39,1
	Флавобактерин	149,0 ± 30,4	269,0 ± 48,5	281,0 ± 22,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysoarens</i> 7*	1,98 ± 0,20	2,33 ± 0,24	2,15 ± 0,10
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,00 ± 0,13	1,76 ± 0,13	1,38 ± 0,22
Пшеница мягкая Тарская 12	Активность азотфиксации, нМ C ₂ H ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	114,3 ± 7,7	160,0 ± 14,4	120,3 ± 7,7
	Мизорин	79,8 ± 2,0	166,0 ± 5,1	142,7 ± 11,7
	Флавобактерин	154,3 ± 12,2	189,3 ± 16,3	180,7 ± 34,9
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysoarens</i> 7*	1,04 ± 0,13	2,52 ± 0,36	1,78 ± 0,43
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,33 ± 0,14	2,58 ± 0,27	1,95 ± 0,36
Пшеница мягкая Омская 44	Активность азотфиксации, нМ C ₂ H ₄ / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	124,7 ± 15,8	138,7 ± 11,1	192,0 ± 33,2
	Мизорин	131,7 ± 17,2	188,3 ± 6,2	278,0 ± 37,3
	Флавобактерин	184,0 ± 15,6	189,5 ± 35,0	269,7 ± 12,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysoarens</i> 7*	0,86 ± 0,11	1,38 ± 0,21	1,12 ± 0,15
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,90 ± 0,09	2,60 ± 0,26	1,75 ± 0,49

Пшеница твердая Омский коралл	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	133,7 ± 12,8	136,3 ± 12,2	375,4 ± 25,3
	Мизорин	217,6 ± 23,4	140,0 ± 14,6	393,2 ± 31,7
	Флавобактерин	181,0 ± 28,9	86,2 ± 12,1	554,5 ± 112,1
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	0,45 ± 0,05	2,5 ± 0,25	1,48 ± 0,59
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,82 ± 0,11	1,76 ± 0,23	1,29 ± 0,27
Ячмень Омский 101	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	59,7 ± 4,8	120,3 ± 7,7	307,0 ± 40,9
	Мизорин	44,1 ± 11,2	123,3 ± 23,1	310,4 ± 36,2
	Флавобактерин	55,0 ± 16,0	206,7 ± 25,2	424,5 ± 24,3
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,4 ± 0,14	1,6 ± 0,10	1,6 ± 0,21
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,74 ± 0,12	1,78 ± 0,27	1,26 ± 0,30
Овес Сибирский гер- кулес	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	35,3 ± 3,9	57,6 ± 6,6	404,0 ± 15,5
	Мизорин	137,4 ± 9,9	140,8 ± 19,0	509,7 ± 32,8
	Флавобактерин	28,0 ± 1,5	69,5 ± 0,41	446,4 ± 13,6
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	2,15 ± 0,22	1,83 ± 0,19	1,99 ± 0,09
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,58 ± 0,30	2,10 ± 0,27	1,84 ± 0,15

Примечание: *Arthrobacter mysorens* 7 - действующее начало биопрепарата Мизорин, *Flavobacterium sp.* - действующее начало биопрепарата Флавобактерин; m ± SD – средняя ± ошибка средней.

Численность бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере пшеницы в течение этого периода времени изменялась от 1,98 до 2,15 × 10⁶ КОЕ/г абс. сух. почвы, *Flavobacterium sp.* от 1,00 до 1,38 × 10⁶ КОЕ/г абс. сух. почвы.

В опыте на серой лесной почве активность азотфиксации возрастала по мере роста растений и достигала максимума в конце вегетации культуры (таблица 2). Инокуляция пшеницы (сорт Омская 42) азотфиксирующими бактериями, являющимися действующим началом биопрепаратов Мизорин и Флавобактерин, усилила активность азотфиксации в ризосфере на 75 и 137% в фазу кущения, нарастая к фазе налива зерна (увеличение к контролю составило 57 и 84% соответственно). Количество клеток *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* в ризосфере этой культуры на протяжении опыта изменялось в пределах 2,09-1,23 × 10⁶ КОЕ/г и 1,84 и 0,82 × 10⁶ КОЕ/г.

Таблица 2.

Активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых при применении бактеризации семян и численность интродуцированных бактерий, подтайга (*Flavobacterium sp.*, *Arthrobacter mysorens* 7), (n=3, m ± SD)

Вариант		Фазы развития		
		кущение	колошение	налив зерна
Пшеница мягкая Омская 42	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	32,5 ± 3,67	69,3 ± 8,41	95,7 ± 2,67
	Мизорин	56,7 ± 3,76	70,0 ± 6,43	147,3 ± 9,40
	Флавобактерин	76,7 ± 5,55	79,7 ± 6,64	175,0 ± 35,44
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	2,09 ± 0,21	2,95 ± 0,05	1,23 ± 0,13
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,84 ± 0,20	2,86 ± 0,38	0,82 ± 0,11
Пшеница мягкая Тарская 12	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	49,5 ± 10,21	61,7 ± 2,03	101,7 ± 20,67
	Мизорин	70,3 ± 15,39	121,7 ± 6,01	166,3 ± 15,34
	Флавобактерин	52,0 ± 7,00	147,3 ± 9,33	178,7 ± 30,47
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	3,25 ± 0,33	5,23 ± 0,53	1,28 ± 0,14
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	2,75 ± 0,35	4,12 ± 0,57	1,38± 0,18
Пшеница мягкая Омская 44	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	36,5 ± 14,46	91,7 ± 3,28	141,3 ± 2,40
	Мизорин	46,3 ± 3,28	113,0 ± 4,73	230,7 ± 11,57
	Флавобактерин	62,0 ± 6,43	141,0 ± 6,35	208,3 ± 18,50
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	3,86 ± 0,47	7,45 ± 0,75	0,28 ± 0,03
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	1,08 ± 0,14	1,38 ± 0,19	0,78 ± 0,10
Пшеница твердая Омский коралл	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	33,0 ± 5,15	68,7 ± 10,40	97,7 ± 44,19
	Мизорин	24,0 ± 8,33	62,7 ± 8,19	130,0 ± 18,93
	Флавобактерин	33,7 ± 4,10	69,0 ± 3,61	132,7 ± 16,29
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г x 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,28 ± 0,13	1,73 ± 0,17	0,83 ± 0,14
	<i>Flavobacterium sp.</i> *	0,94 ± 0,12	1,28 ± 0,17	0,60 ± 0,09

Ячмень Омский 101	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	47,8 ± 4,85	78,3 ± 11,61	91,7 ± 35,67
	Мизорин	42,0 ± 7,64	73,0 ± 10,12	86,3 ± 13,12
	Флавобактерин	45,7 ± 9,70	117,8 ± 6,77	164,3 ± 14,34
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	0,95 ± 0,10	0,76 ± 0,14	0,58 ± 0,07
	<i>Flavobacterium</i> sp.*	1,19 ± 0,15	1,56 ± 0,20	0,82 ± 0,2
Овес геркулес Сибирский	Активность азотфиксации, нМ C_2H_4 / 100 г почвы			
	Контроль (без инокуляции)	51,3 ± 7,69	24,3 ± 2,33	43,0 ± 8,98
	Мизорин	72,7 ± 2,60	38,3 ± 4,41	48,0 ± 16,33
	Флавобактерин	78,7 ± 2,73	43,7 ± 7,84	42,0 ± 15,04
	Численность бактерий в ризосфере, КОЕ/г × 10 ⁶			
	<i>Arthrobacter mysorens</i> 7*	1,65 ± 0,18	2,38 ± 0,24	0,93 ± 0,10
	<i>Flavobacterium</i> sp.*	1,85 ± 0,19	1,24 ± 0,16	0,46 ± 0,06

Примечание: *Arthrobacter mysorens* 7 - действующее начало биопрепарата Мизорин, *Flavobacterium* sp. - действующее начало биопрепарата Флавобактерин; m ± SD – средняя ± ошибка средней.

В процессе роста пшеницы мягкой сорта Тарская 12 и Омская 44 на лугово-черноземной почве, наблюдали усиление активности азотфиксации в ризосфере при внесении диазотрофных бактерий. Азотфиксирующая активность в ризосфере инокулированных растений сорта Тарская 12 была наибольшей при применении Флавобактерина, увеличиваясь, в зависимости от фазы, на 35-50% относительно контроля. Применение Мизорина приводило к снижению процесса в фазу кущения, можно предположить конкуренцию внесённых микроорганизмов с аборигенной микрофлорой, в дальнейшем по мере развития культуры, азотфиксирующая способность несущественно возрастала по отношению к контролю.

На активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере пшеницы Омская 44 также наибольшее положительное воздействие оказала интродукция в почву бактерий рода *Flavobacterium* sp., усиление процесса составило от 37 до 48% к контролю, влияние *Arthrobacter mysorens* 7 было также стимулирующим, рост составил от 10 до 45%. Численность бактерий рода *Flavobacterium* sp. в ризосфере пшеницы Тарская 12 и Омская 44 находилась на уровне $1,33-2,58 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,90-2,60 \times 10^6$ КОЕ/г, что выше, чем количество *Arthrobacter mysorens* 7, это приводило, как упоминалось ранее, к превалирующему воздействию на процесс азотфиксации биопрепарата Флавобактерин.

На серой лесной почве на сортах Тарская 12 и Омская 44 выявлено исключительно стимулирующее воздействие агроприема на активность ассо-

циативной азотфиксации в ризосфере. Положительное влияние, также как и на лугово-черноземной почве, оказали бактерии рода *Flavobacterium sp.*, максимальные размеры фиксированного азота составили до 178,7 и 208 нМ $C_2H_4/100$ г почвы при уровне на контроле 101,7 и 141,3 нМ $C_2H_4/100$ г соответственно. Применение Мизорина на серой лесной почве повышало активность азотфиксации на 43-64% (сорт Тарская 12) и 25-77% (сорт Омская 44). Параллельно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г, рода *Flavobacterium sp.* в пределах $1,38-4,12 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,78-1,38$.

Положительное влияние бактерий *Arthrobacter mysorens* и *Flavobacterium sp.* на активность ассоциативной азотфиксации в ризосфере мягкой пшеницы подтверждено колонизацией ими корневой системы. Обнаружение азотфиксирующей активности в ризосфере зерновых культур при инокуляции фиксирующими атмосферный азот бактериями подтверждает, что происходит образование ассоциаций внесенных бактерий с аборигенными диазотрофными бактериями, также обладающими способностью к фиксации азота воздуха [12]. Усиление азотфиксирующей активности в ризосфере при внесении бактерий *Arthrobacter mysorens* и *Flavobacterium sp.* может быть связано с увеличением доступности в почве химических элементов, участвующих в микробиологической фиксации молекулярного азота [7].

В ризосфере твёрдой пшеницы сорта Омский коралл выявлено неоднозначное влияние приема инокуляции на активность процесса фиксации азота воздуха. В условиях южной лесостепи в фазу колошения при применении Флавобактерина наблюдали снижение активности азотфиксации на 37% к контролю. На серой лесной почве применение исследуемых биопрепаратов приводило к снижению активности азотфиксации в фазы кущение и колошение, на 38 и 10% соответственно. Известно, что эффективность применяемых препаратов во многом определяется взаимодействием с коренными обитателями почвы. При инокуляции в почву попадают микроорганизмы, способные оказывать определённое воздействие (в том числе и негативное) на аборигенную микрофлору и вмешиваться в ход микробных сукцессий с нарушением определённого равновесного сообщества [6]. Применение Мизорина на лугово-черноземной почве увеличивало размеры ассоциативной азотфиксации от 3 до 65% к контролю. Число клеток *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium sp.* в ризосфере культуры в течение вегетации варьировало в пределах $0,45-2,5 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,82$ и $1,76 \times 10^6$ КОЕ/г.

В ризосфере зернофуражных культур как на лугово-черноземной, так и на серой лесной почве наблюдали разностороннее воздействие агроприема.

На лугово-черноземной почве внесение бактерий рода *Flavobacterium sp.* приводило к снижению активности азотфиксации на 7% на ячмене, на 20% на овсе. В фазу колошения отмечена стимуляция процесса азотфиксации на 27 и 21%, в динамике к фазе налива зерна абсолютные значения процесса возрастали, различия с контролем составляли 38 и 10% соответственно. Бактерии рода *Arthrobacter mysorens* оказывали существенное положительное воздействие на протекание процесса в фазу кущения на овсе (+291% контролю), в динамике происходил рост азотфиксирующей активности. На ячмене бактерии этого рода оказали ингибирующее воздействие в кущение, а в последующие фазы развития растений их влияния отмечено не было. Количество бактериальных клеток *Flavobacterium sp.* в ризосфере ячменя и овса в течение вегетационного периода возрастало от 0,74 до $1,26 \times 10^6$ КОЕ/г и от 1,58 до $1,84 \times 10^6$ КОЕ/г, чем, видимо, обусловлен рост абсолютных значений активности азотфиксации. Число бактерий рода *Arthrobacter mysorens* в течение роста ячменя практически не изменялось, составляя $1,4-1,6 \times 10^6$ КОЕ/г. На ячмене прослеживалась иная тенденция, численность бактерии вышеупомянутого рода составляла от 1,83 до $2,15 \times 10^6$ КОЕ/г в зависимости от фазы развития культуры.

На серой лесной почве в ризосфере ячменя при применении Мизорина происходило несущественное снижение активности азотфиксации в течение вегетации, что может быть обусловлено специфичными корневыми выделениями ячменя, влияющими на приживаемость интродуцированных бактерий. Применение Флавобактерина напротив, стимулировало активность процесса до 78% к контролю. В ризосфере овса сорта Сибирский геркулес наблюдали стабильно положительное воздействие бактериализации семян на процесс азотфиксации, увеличение составило до 58% при обработке Мизорином, до 79 – Флавобактерином. Наряду с ростом размеров азотфиксации (фазы кущение-колошение) в ризосфере овса существенным было и число бактериальных клеток диазотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7, в пределах $1,65-2,38 \times 10^6$ КОЕ/г, рода *Flavobacterium sp.* в пределах $1,24-1,85 \times 10^6$ КОЕ/г. В ризосфере ячменя количество *Arthrobacter mysorens* 7 было ниже, чем на ячмене, варьировало от 0,58 до 0,95, число *Flavobacterium sp.* составляло $0,82-1,56 \times 10^6$ КОЕ/г.

Применение биопрепаратов ассоциативных азотфиксаторов для инокуляции семян пшеницы, а также зернофуражных культур оказало по одним сортам положительное влияние на урожайность зерна, а по другим – снизило их продуктивность.

Таким образом, подтвердилось мнение, что для установления эффективных ассоциативных взаимоотношений между растениями и микроорганизмами необходим тщательный отбор соответствующего штамма не только к культуре, но и к сорту [5]. Возможно, что для установления максимального эффекта от применения ассоциативных штаммов бактерий требовалось небольшое количество минерального азота удобрений для стимуляции ростовых процессов растений.

Установлено, что из зернофуражных культур ячмень был в наибольшей степени отзывчив на применение биопрепаратов. Так применение Мизорина обеспечило прибавку зерна 0,69 т/га в южной лесостепной зоне, в подтайге 0,42 т/га по отношению контролю (таблица 3). Обработка семян пшеницы Флавобактерином позволила получить прибавку зерна 0,42 т/га в южной лесостепи, в подтаежной зоне 0,27 т/га.

Таблица 3.

Урожайность агрокультур в зависимости от применения биопрепаратов, (южная лесостепь, г. Омск; n=4, m ± SD)

Варианты		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га
Пшеница мягкая Омская 42	Контроль	1,70 ± 0,26	-
	Мизорин	2,11 ± 0,51	0,41
	Флавобактерин	2,34 ± 0,71	0,64
Пшеница мягкая Тарская 12	Контроль	3,69 ± 0,14	-
	Мизорин	3,74 ± 0,21	0,06
	Флавобактерин	3,65 ± 0,20	-0,04
Пшеница мягкая Омская 44	Контроль	2,67 ± 0,39	-
	Мизорин	2,69 ± 0,42	0,02
	Флавобактерин	2,56 ± 0,44	-0,11
Пшеница твердая Омский коралл	Контроль	1,09 ± 0,43	-
	Мизорин	1,14 ± 0,37	0,05
	Флавобактерин	1,19 ± 0,43	0,10
Ячмень Омский 101	Контроль	5,03 ± 0,48	-
	Мизорин	5,72 ± 0,60	0,69
	Флавобактерин	5,45 ± 0,38	0,42
Овес Сибирский геркулес	Контроль	4,34 ± 0,79	-
	Мизорин	4,53 ± 0,95	0,18
	Флавобактерин	4,26 ± 0,80	-0,08
<i>HCP₀₅ A=0,44; HCP₀₅ B = 0,31; HCP₀₅ AB=0,77</i>			

Примечание: HCP₀₅ A – агрокультура; HCP₀₅ B – применение биопрепаратов, HCP₀₅ AB – взаимодействие факторов агрокультура x биопрепарат; n - количество определений; m ± SD – средняя ± ошибка средних.

В зоне южной лесостепи положительный эффект от инокуляции семян Мизорином был получен у пшеницы сорта Омская 42 (+0,41 т/га к контролю). В подтайге отзывчивыми на бактеризацию данным препаратом были все сорта пшеницы, но в большей степени Тарская 12 (+0,55 т/га к контролю) (таблица 4). Предпосевная обработка семян Флавобактерином увеличивала урожайность пшеницы сорта Омская 42 в южной лесостепи на 0,64 т/га, отрицательной на инокуляцию вышеупомянутым биопрепаратом по урожайности зерна была реакция сортов Тарская 12 и Омская 44 (снижение в пределах ошибки опыта) (таблицы 3, 4). В подтаежной зоне не установлено отрицательного воздействия Флавобактерина на продуктивность пшеницы, отмечено увеличение урожайности зерна на 0,14-0,73 т/га. Стоит отметить наибольшую отзывчивость на агроприем районированного сорта Тарская 12, где дополнительно к контролю получено 0,73 т/га зерна.

Таблица 4.

Урожайность агрокультур в зависимости от применения препаратов различного происхождения, (подтайга, г. Тара; n=4, m ± SD)

Варианты		Урожайность, т/га	Прибавка к контролю, т/га
Пшеница мягкая Омская 42	Контроль	2,96 ± 0,02	-
	Мизорин	3,21 ± 0,07	0,25
	Флавобактерин	3,44 ± 0,06	0,48
Пшеница мягкая Тарская 12	Контроль	2,88 ± 0,28	-
	Мизорин	3,43 ± 0,21	0,55
	Флавобактерин	3,61 ± 0,21	0,73
Пшеница мягкая Омская 44	Контроль	2,88 ± 0,21	-
	Мизорин	2,90 ± 0,37	0,02
	Флавобактерин	3,12 ± 0,22	0,24
Пшеница твёрдая Омский коралл	Контроль	2,56 ± 0,32	-
	Мизорин	2,68 ± 0,28	0,12
	Флавобактерин	2,70 ± 0,55	0,14
Ячмень Омский 101	Контроль	1,94 ± 0,13	-
	Мизорин	2,36 ± 0,30	0,42
	Флавобактерин	2,21 ± 0,26	0,27
Овес Сибирский геркулес	Контроль	2,71 ± 0,44	-
	Мизорин	2,86 ± 0,23	0,15
	Флавобактерин	2,91 ± 0,25	0,20
$HCP_{05} A=0,36; HCP_{05} B=0,21; HCP_{05} AB=0,65$			

Корреляционный анализ зависимости урожайности зерна пшеницы сорта Омская 42, Омский коралл, ячменя Омский 101 от азотфиксирующей активности ризосферы (зона южной лесостепи) показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ($p < 0,05$) положительная $r = 0,927$, $r = 0,986$, $r = 0,897$ связь. Математическая обработка данных показала наличие сильной корреляционной зависимости между активностью азотфиксации (зона подтайги) и урожайностью пшеницы сортов Омская 42, Тарская 12, Омский коралл, ячменя сорта Омский 101, составляя ($p < 0,05$) $r = 0,998$, $r = 0,991$, $r = 0,916$, $r = 0,990$ соответственно.

Заключение

Внесённые бактерии колонизировали корневую систему растений и усиливали азотфиксирующую активность в ризосфере. В условиях южной лесостепной зоны установлено, что стабильно высокими размеры ассоциативной азотфиксации были в ризосфере пшеницы сортов Омская 42 и Омский коралл, составляя 150,7-322,0 и 140,0-393,0 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при интродукции бактерий рода *Arthrobacter mysorens* 7, 149,0-281,0 и 86,2-554,5 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при внесении *Flavobacterium sp.* соответственно. Определено, что при увеличении КОЕ клеток интродуцированных бактерий, активизировался процесс азотфиксации в ризосфере зерновых.

В условиях подтаежной зоны размеры ассоциативной азотфиксации были несколько ниже, чем в условиях южной лесостепи. Наибольшей, активность азотфиксации на серой лесной почве была в ризосфере пшеницы сортов Омская 44 и Тарская 12, увеличение при применении Мизорина составило 25-77 и 43-64% соответственно. Одновременно с ростом размеров азотфиксации существенным было и число бактериальных клеток diaзотрофов рода *Arthrobacter mysorens* 7 в ризосфере этих сортов пшеницы, которое в течение вегетационного периода изменялось в пределах $1,28-5,23 \times 10^6$ КОЕ/г и $0,28-7,45 \times 10^6$ КОЕ/г. Из зернофуражных культур выделился ячмень, активность процесса в ризосфере этой культуры составляла до 164,3 нМ $C_2H_2/100$ г почвы при применении Флавобактерина.

Математическая обработка данных выявила наличие тесной положительной корреляционной связи процесса ассоциативной азотфиксации с урожайностью агрокультур, в зоне южной лесостепи $r = 0,927$, $r = 0,986$, $r = 0,897$, в зоне подтайги $r = 0,998$, $r = 0,991$, $r = 0,916$, $r = 0,990$.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>

Список литературы

1. Алметов Н.С., Бердников В.В., Волков Е.Г., Семенов П.Н. Эффективность использования ассоциативных азотфиксирующих биопрепаратов на посевах зерновых культур // Бюллетень ВИУА. 2001. № 114. С. 56.
2. Алферов А.А., Завалин А.А., Чернова Л.С. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы при инокуляции семян ризоагрином // Вестник сельскохозяйственной науки. 2018. № 2. С. 12–16. <https://doi.org/10.30850/vrtn/2018/2/12-16>
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Злотников А.К. Ризосферная азотфиксирующая ассоциация *Bacillus firmus* - *Klebsiella terrigena* и ее влияние на яровую ячмень при инокуляции: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1998. 26 с.
5. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений / Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Кондрат С.В., Лебедев В.Н., Югина В.С., Муратова Р.Р., Макаров П.Н., Дубенская Г.И., Хмелевская И.А. // Известия Российского ГПУ им. А.И. Герцена. 2011. № 141. С. 114–121.
6. Кожевин П.А. «Здоровье» почвы как проблема биотехнологии // Биотехнология: состояние и перспективы развития: Матер. междунар. конгресса. Ч. 2. Москва: 2007. С. 114.
7. Минеев В.Г., Сафрина О.С., Шабаев В.П. Влияние бактерий рода *Pseudomonas* на некоторые физиолого-биохимические процессы в растениях столовой свеклы // Доклады ВАСХНИЛ. 1992. № 1. С. 16–21.
8. Приживаемость и эффективность корневых diaзотрофов при инокуляции ячменя в зависимости от температуры и влажности почвы / Белимов А.А., Поставская С.М., Хамова О.Ф., Кожемяков А.П., Кунакова А.М., Груздева Е.В. // Микробиология. 1994. Т. 63, № 5. С. 900–908.
9. Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В. К. Шильниковой. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
10. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28–32.

11. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3–9.
12. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. Москва: МГУ, 1986. 136 с.
13. Умаров М.М. Ацетиленовый метод изучения азотфиксации в почвенно-микробиологических исследованиях // Почвоведение. 1976. № 1. С. 119–123.
14. Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почве. Москва: ГЕОС, 2007. 138 с.
15. Умаров М.М. Азотфиксация в ассоциациях организмов // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 22–26.
16. Шабает В.П. Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений // Сб. научных трудов: Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв. Москва: Наука, 2006. С. 195–211.
17. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. Барнаул: Азбука, 2007. 176 с.
18. Bhattacharjee R.B., Singh A., Mukhopadhyay S.N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges // Appl Microbiol Biotechnol. 2008. Vol. 80 (2). P. 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
19. Dobermann A. Nutrient use efficiency – measurement and management in a time of new challenges // Proceedings of the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium International Fertilizer Industry Association, 2007. P. 1–28.
20. Emerich D.W., Krishnan H.B., Westhoff P. The economics of biological nitrogen fixation in the global economy // In book: Nitrogen fixation in crop production. Madison: WI American Society of Agronomy, 2009. P. 309–328.
21. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McConkey B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase // Critical Reviews in Plant Sciences. 2007. Vol. 26. No. 1. P. 227–242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>
22. Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity / Souza E.M., Chubatsu, L.S., Huergo, L.F., Monteiro R., Camilios-Neto D., Wassem R., Pedrosa F.O. // BMC Proceedings. 2014. Vol. 8 (Suppl 4: O23). <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-S4-O23>

References

1. Almetov N.S., Berdnikov V.V., Volkov E.G., Semenov P.N. Effektivnost' ispol'zovaniya assotsiativnykh azotfiksiruyushchikh biopreparatov na posevakh

- zernovykh kul'tur [The effectiveness of the use of associative nitrogen-fixing biologies on crops of grain crops]. *Byulleten' VIUA*, 2001, no. 114, p. 56.
2. Alferov A.A., Zavalin A.A., Chernova L.S. Urozhaynost' i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy pri inokulyatsii semyan rizoagrinom [Yield and grain quality of spring wheat during inoculation of seeds with rhizoagrin]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2018, no. 2, pp. 12–16. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/2/12-16>
 3. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985, 351 p.
 4. Zlotnikov A.K. *Rizosfernaya azotfiksiruyushchaya assotsiatsiya Bacillus firmus - Klebsiella terrigena i ee vliyanie na yarovoy yachmen' pri inokulyatsii* [Rhizospheric nitrogen-fixing association of *Bacillus firmus* - *Klebsiella terrigena* and its effect on spring barley during inoculation]. Moscow, 1998, 26 p.
 5. Vorobeykov G.A., Pavlova T.K., Kondrat S.V., Lebedev V.N., Yurgina V.S., Muratova R.R., Makarov P.N., Dubenskaya G.I., Khmelevskaya I.A. Issledovanie effektivnosti shtammov assotsiativnykh rizobakteriy v posevakh razlichnykh vidov rasteniy [Investigation of the effectiveness of strains of associative rhizobacteria in crops of various plant species]. *Izvestiya Rossiyskogo GPU im. A.I. Gertsena*, 2011, no. 141, pp. 114–121.
 6. Kozhevnikov P.A. «Zdorov'ye» pochvy kak problema biotekhnologii [Soil “health” as a biotechnology problem]. *Biotekhnologiya: sostoyanie i perspektivy razvitiya: Mater. mezhdunar. kongressa*. Part. 2. Moscow, 2007, p. 114.
 7. Mineev V.G., Safrina O.S., Shabaev V.P. 17. Vliyanie bakteriy roda *Pseudomonas* na nekotorye fiziologo-biokhimicheskie protsessy v rasteniyakh stolovoy svekly [The influence of *Pseudomonas* bacteria on some physiological and biochemical processes in table beet plants]. *Doklady VASKhNIL*, 1992, no. 1, pp. 16–21.
 8. Belimov A.A., Postavskaya S.M., Khamova O.F., Kozhemyakov A.P., Kunakova A.M., Gruzdeva E.V. Prizhivaemost' i effektivnost' kornevykh diazotrofov pri inokulyatsii yachmenya v zavisimosti ot temperatury i vlazhnosti pochvy [Survival rate and effectiveness of root diazotrophs in barley inoculation depending on soil temperature and humidity]. *Mikrobiologiya*, 1994, vol. 63, no. 5, pp. 900–908.
 9. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities]. ed. V. K. Shil'nikova. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.

10. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A. Perspektivy ispol'zovaniya azotfiksiruyushchikh i fitostimuliruyushchikh mikroorganizmov dlya povysheniya effektivnosti agropromyshlennogo kompleksa i uluchsheniya agroekologicheskoy situatsii RF [Prospects for the use of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agroecological situation of the Russian Federation]. *Plodorodie*, 2016, no. 5, pp. 28–32.
11. Tikhonovich I.A., Provorov N.A. Sel'skokhozyaystvennaya mikrobiologiya kak osnova ekologicheskii ustoychivogo agroproduktstva: fundamental'nye i prikladnye aspekty [Agricultural microbiology as the basis of environmentally sustainable agricultural production: fundamental and applied aspects]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2011, no. 3, pp. 3–9.
12. Umarov M.M. *Assotsiativnaya azotfiksatsiya* [Associative nitrogen fixation]. Moscow: MGU Publ., 1986, 136 p.
13. Umarov M.M. Atsetilenovyy metod izucheniya azotfiksatsii v pochveno-mikrobiologicheskikh issledovaniyakh [Acetylene method for studying nitrogen fixation in soil microbiological studies]. *Pochvovedenie*, 1976, no. 1, pp. 119–123.
14. Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L. *Mikrobiologicheskaya transformatsiya azota v pochve* [Microbiological transformation of nitrogen in the soil]. Moscow: GEOS Publ., 2007, 138 p.
15. Umarov M.M. Azotfiksatsiya v assotsiativnykh organizmakh [Nitrogen fixation in associations of organisms]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2009, no. 2, pp. 22–26.
16. Shabaev V.P. *Mikrobiologicheskaya azotfiksatsiya i rost rasteniy pri vnesenii ryzosfernykh mikroorganizmov i mineral'nykh udobreniy* [Collection of scientific papers: Soil processes and spatial-temporal organization of soils]. Moscow: Nauka Publ., 2006. pp. 195–211.
17. Shott P.R. *Fiksatsiya atmosfernogo azota v odnoletnikh agrotsenozakh* [Fixation of atmospheric nitrogen in annual agrocenoses]. Barnaul: Azbuka Publ., 2007, 176 p.
18. Bhattacharjee R.B., Singh A., Mukhopadhyay S.N. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2008, vol. 80 (2), pp. 199–209. <https://doi.org/10.1007/s00253-008-1567-2>
19. Dobermann A. *Nutrient use efficiency – measurement and management in a time of new challenges*. Proceedings of the IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium International Fertilizer Industry Association, 2007, pp. 1–28.

20. Emerich D.W., Krishnan H.B., Westhoff P. The economics of biological nitrogen fixation in the global economy. In book: *Nitrogen fixation in crop production*. Madison: WI American Society of Agronomy Publ., 2009, pp. 309–328.
21. Glick B.R., Todorovic B., Czarny J., Cheng Z., Duan J., McConkey B. Promotion of plant growth by bacterial ACC deaminase. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2007, vol. 26, no. 1, pp. 227–242. <https://doi.org/10.1080/07352680701572966>
22. Souza E.M., Chubatsu, L.S., Huergo, L.F., Monteiro R., Camilios-Neto D., Wassem R., Pedrosa F.O. Use of nitrogen-fixing bacteria to improve agricultural productivity. *BMC Proceedings*, 2014, vol. 8 (Suppl 4 : O23), pp. 1–3. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-8-S4-O23>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Шулико Наталья Николаевна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
shuliko@anc55.ru

Киселёва Алина Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
veybender@anc55.ru

Тукмачева Елена Васильевна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории микробиологии
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
tukmacheva@anc55.ru

Корчагина Ирина Анатольевна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник
лаборатории микробиологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
korchagina@anc55.ru*

Кубасова Екатерина Владимировна, к.с.-х.н., старший научный сотрудник
лаборатории микробиологии
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
kubasova@anc55.ru*

Тимохин Артем Юрьевич, к.с.-х.н., заведующий лабораторией полевого
кормопроизводства
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
timokhin@anc55.ru*

Юсова Оксана Александровна, к.с.-х.н., заведующая лабораторией физиологии и биохимии растений
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
yusova@anc55.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya N. Shuliko, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Microbiology
*Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
shuliko@anc55.ru
SPIN-code: 7601-1991
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>
ResearcherID: ABF-6522-2021*

Alina A. Kiselyova, Junior Researcher of Laboratory of Microbiology
Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
veybender@anc55.ru
SPIN-code: 1146-1516
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5089-3703>

Elena V. Tukmacheva, Cand.Sci. (Biol.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology
Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
tukmacheva@anc55.ru
SPIN-code: 1881-1679
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1312-3881>
ResearcherID: AAD-9301-2021

Irina A. Korchagina, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology
Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
korchagina@anc55.ru
SPIN-code: 7818-1663
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5188-7148>
ResearcherID: JRS-6928-2023
Scopus Author ID: 9434827600

Ekaterina V. Kubasova, Cand.Sci. (Agric.), Senior Researcher of Laboratory of Microbiology
Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
kubasova@anc55.ru
SPIN-code: 9127-5995
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3166-0028>
ResearcherID: JRX-6869-2023

Artem Yu. Timokhin, Cand.Sci. (Agric.), Head of Laboratory of Field feed Production
Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
timokhin@anc55.ru

SPIN-code: 5162-2346

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5120-4068>

ResearcherID: JPL-4190-2023

Scopus Author ID: 57213195613

Oksana A. Yusova, Cand.Sci. (Agric.), Head of the Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

yusova@anc55.ru

SPIN-code: 7096-6529

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

Scopus Author ID: 57216487997

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 27.05.2024

Received 29.03.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 27.05.2024

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1246

EDN: NPGJGG

УДК 614.256:34.04



Научная статья

МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ БОЛЬНЫМ С ПСИХИЧЕСКИМИ РАССТРОЙСТВАМИ В КОНТЕКСТЕ МЕЖДУНАРОДНОГО ГУМАНИТАРНОГО ПРАВА

М.С. Белоусова, И.В. Холиков, Л.В. Фролова

Аннотация

Состояние вопроса. В условиях вооруженных конфликтов вопросы, связанные с предоставлением правовой защиты больным как покровительствуемым лицам по международному гуманитарному праву, представляются актуальными как в теоретическом, так и в практическом аспекте. Вместе с тем, характер и степень тяжести заболевания, необходимые для предоставления защиты, а также объем требуемой медицинской помощи являются не до конца определенными и требующими уточнения. Особое значение приобретает вопрос предоставления защиты лицам, имеющим психические расстройства, поскольку диагностика последних может вызывать определенные сложности, а их наличие не всегда является препятствием к исполнению обязанностей военной службы. Целью статьи является поиск правового решения обозначенных проблем, задачами – анализ соответствующих норм международного права и законодательства Российской Федерации, а также выработка некоторых практических рекомендаций по их совершенствованию.

Цель работы. Исследование направлено на раскрытие правовых основ и проблемных вопросов оказания медицинской помощи больным с психическими расстройствами в ракурсе международного гуманитарного права, применяемого в вооруженных (военных) конфликтах.

Материалы и методы исследования. Методологическая основа исследования представлена совокупностью научных методов, применимых для достижения цели и решения задач исследования. В качестве таких методов использованы общенаучные методы анализа и синтеза, аналогии, абстрагирования, а также логический и системный методы. Кроме того, применены сравнительно-правовой и формально-юридический специальные методы.

Результаты и выводы. В статье исследуются правовые основы предоставления в ходе вооруженных конфликтов защиты больным, в том числе страдающим психическими заболеваниями. Анализируются международно-правовые нормы, содержащие регламентацию соответствующих вопросов, а также рассматриваются положения нормативно-правовых актов Российской Федерации. Обращается внимание на недостаточную определенность в регулировании вопросов, связанных с возможностью прохождения военной службы лицами, имеющими психические расстройства, в связи с чем предлагаются пути решения данной проблемы. Результаты исследования могут быть использованы в научных работах по военному, медицинскому и международному гуманитарному праву, а также в ходе образовательного процесса при подготовке специалистов в области юриспруденции и медицины.

Ключевые слова: медицинская помощь; медицинское обеспечение; медицинская экспертиза; военно-врачебная экспертиза; медицинское освидетельствование; психическое расстройство

Для цитирования. Белоусова М.С., Холиков И.В., Фролова Л.В. Медицинская помощь больным с психическими расстройствами в контексте международного гуманитарного права // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 385-404. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1246

Original article

MEDICAL ASSISTANCE TO SICK WITH MENTAL DISORDERS IN THE CONTEXT INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW

M.S. Belousova, I.V. Kholikov, L.V. Frolova

Abstract

Background. In the circumstances of armed conflicts issues related to provision of legal protection to the sick as protected persons according to international humanitarian law seem actual both in theoretical and in practical aspects. At the

same time, character and severity of the disease necessary to provide protection as well as the amount of required medical care are not completely defined and need clarification. The issue of providing protection to persons with mental disorders takes on special significance, because diagnostics of the latter may cause certain difficulties, and their presence is not always an obstacle to performing of military service duties. The purpose of the article is to search for legal solution for the defined problems, and its objectives are to analyze the relevant norms of international law and of legislation of Russian Federation, and to develop some practical recommendations for their improving.

Purpose. The study is aimed at revealing the legal foundations and problematic issues of providing medical care to patients with mental disorders in the context of international humanitarian law applied in armed (military) conflicts.

Materials and research methods. The methodological basis of the study is represented by complex of scientific methods applicable for achieving the goal and solving the problems of the study. As such methods were used general scientific methods of analysis and synthesis, analogy, abstraction and logical and systematic methods. In addition, comparative legal and formal legal special methods were used.

Results and conclusions. The article examines the legal basis for providing protection to sick, including those who have mental disorders, in armed conflicts. International legal norms containing the regulation of appropriate issues are analyzed, and the provisions of normative legal acts of the Russian Federation are considered. Attention is paid to the lack of certainty in regulating issues related to capacity of persons with mental disorders for military service, therefore ways to solve this problem are proposed. The results of the study can be used in scientific researches in military, medical and international humanitarian law and also during the educational process in the training of specialists in the field of law and medicine.

Keywords: medical care; medical support; medical expertise; military medical expertise; medical examination; mental disorder

For citation. Belousova M.S., Kholikov I.V., Frolova L.V. Medical Assistance to Sick with Mental Disorders in the Context International Humanitarian Law. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 385-404. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1246

Введение

В современных обстоятельствах, когда постоянно повышается интенсивность военной и вооруженной борьбы, в многообразных формах появляются и эскалируются вооруженные (военные) конфликты, а также проводятся различные виды военных операций [8]. Участниками во-

оруженной (военной) борьбы и конфликтов являются офицеры, солдаты, сотрудники спецслужб, работники частных военных компаний – представители противоборствующих сторон, которые получают увечья (ранения, травмы, контузии) или заболевания при решении профессиональных служебных (или поставленных) задач [15; 26]. В этих условиях особой защиты требуют раненые и больные – лица, вследствие травмы, болезни, физического или психического расстройства, нуждающиеся в специализированной медицинской помощи или уходе [33].

Женевские конвенции 1949 г. и Дополнительные протоколы к ним 1977 г. устанавливают по отношению к таким лицам обязательства уважения и защиты, нарушения которых в зависимости от их характера могут рассматриваться как преступление против человечности, военное преступление или преступление по национальному законодательству. Желая оградить раненых и больных от дурного обращения, авторы указанных международно-правовых актов сформулировали соответствующие нормы достаточно широко, что влечет некоторую неопределенность при их практическом применении.

Так, не вполне решены вопросы о тяжести ранений (травм, контузий) и характере заболеваний, позволяющих раненым и больным пользоваться покровительством в рамках международного гуманитарного права, объеме медицинской помощи, которая должна быть им оказана, возможности непосредственного участия в вооруженных (военных) конфликтах лиц с заболеваниями, в том числе психическими. Вместе с тем, конкретизация соответствующих правовых норм привнесет определенность в их понимание субъектами правоотношений и облегчит принятие нужных решений в условиях вооруженных конфликтов и иных чрезвычайных ситуаций.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа исследования теоретически и содержательно представлена совокупностью научных подходов и реализующих их в практике эвристических методов, применимых для достижения цели и решения задач исследования. Основными научными подходами, на которое опиралось исследование, явились: системный; сравнительно-правовой; функционально-правовой. В качестве таких методов выступили общенаучные методы анализа и синтеза, дедукции, аналогии, абстрагирования, а также формально-логический и системный методы. Кроме того, применены сравнительно-правовой и формально-юридический специальные методы теоретико-правового исследования.

Основная часть

Положения, регулирующие основные вопросы правовой защиты раненых и больных в различного рода вооруженных конфликтах, содержатся в четырех Женевских конвенциях 1949 г. и двух Дополнительных протоколах к ним 1977 г., составляющих основу международного гуманитарного права.

Дополнительный протокол к Женевским конвенциям от 12 августа 1949 г., касающийся защиты жертв международных вооруженных конфликтов (Протокол I, далее – ДП I), определяет раненых и больных как лиц, военнослужащих или гражданских, которые вследствие травмы, болезни, или другого физического или психического расстройства или инвалидности нуждаются в медицинской помощи или уходе (п. «а» ст. 8). Таким же статусом покровительствуемых лиц пользуются роженицы, новорожденные дети и иные лица, нуждающиеся в медицинской помощи или уходе (в качестве примера ДП I приводит беременных женщин и немощных, однако данный список не является исчерпывающим). Необходимым условием для того, чтобы любое из перечисленных лиц было признано раненым или больным в соответствии с международным гуманитарным правом, является отказ данного лица от любых враждебных действий.

Все раненые и больные, независимо от того, к какой стороне они принадлежат, имеют право пользоваться уважением и защитой (ст. 10 ДП I), независимо от того, принимали ли они участие в вооруженном конфликте (ст. 7 Дополнительного протокола к Женевским конвенциям от 12 августа 1949 г., касающегося защиты жертв вооруженных конфликтов немеждународного характера (Протокол II, далее – ДП II)).

Женевская конвенция от 12 августа 1949 г. об улучшении участи раненых и больных в действующих армиях (далее – ЖК I) и Женевская конвенция от 12 августа 1949 г. об улучшении участи раненых, больных и лиц, потерпевших кораблекрушение, из состава вооруженных сил на море (далее – ЖК II) обязывают сторону конфликта, во власти которой окажутся раненые и больные, обеспечить им гуманное обращение и уход без какой-либо дискриминации. Строго запрещены посягательство на их жизнь и личность, пытки, проведение биологических опытов, преднамеренное оставление без медицинской помощи или ухода, преднамеренное создание условий для заражения. Преимущество в очередности оказания медицинской помощи допустимо только по медицинским причинам неотложного характера (ст. 12 ЖК I и ст. 12 ЖК II).

Правовые нормы, применяемые в международных вооруженных конфликтах, запрещают подвергать раненых и больных каким бы то ни было

медицинским процедурам, которые не требуются им по состоянию здоровья и не соответствуют общепризнанным медицинским нормам, применяемых при аналогичных с медицинской точки зрения обстоятельствах к свободным гражданам стороны, производящей процедуру (ст. 11 ДП I), аналогичные требования действуют в вооруженных конфликтах немеждународного характера применительно к раненым и больным из числа лиц, лишенных свободы (п. е ч. 2 ст. 5 ДП II). Римский статут Международного уголовного суда квалифицирует причинение лицам, находящимся под властью противной стороны, физических увечий, а также совершение над ними медицинских или научных экспериментов как военное преступление (подп. X п. б ч. 2 ст. 8). После Второй мировой войны указанные действия, совершавшиеся нацистами, были оценены как неприемлемые и осуждены Нюрнбергским [29] и Токийским военными трибуналами, однако Римский статут дал более подробное описание их объективной стороны. Объективация правового института ответственности защиты населения от военных преступлений рассматривается в науке как один из переломных моментов в истории человечества и развитии права [16, с. 68].

Обязанность заботиться о раненых и больных возложена не только на сторону, в чьей власти оказались такие лица, но и на сторону, которая была вынуждена оставить их неприятелю – она должна оставить с ранеными и больными, насколько это позволят военные требования, часть своего санитарного персонала и снаряжения для содействия уходу за ними (ст. 12 ЖК I). Также Держава, к которой принадлежат раненые и больные, должна нести расходы по их госпитализации и интернированию в случае их высадки в нейтральном порту с последующим содержанием нейтральной Державой (ст. 17 ЖК II).

Согласно устоявшейся точке зрения, нормы международного гуманитарного права и нормы международного права прав человека подлежат одновременному применению в вооруженных конфликтах, дополняя друг друга [21, с. 3-4]. При этом некоторые исследователи отмечают, что нормы международного гуманитарного права имеют преимущество при предотвращении насильственных действий или вмешательства в процесс оказания медико-санитарной помощи в ходе конфликта (с этой целью устанавливаются меры защиты медицинского персонала, медицинских формирований и санитарного транспорта), а нормы международного права прав человека – при предоставлении медико-санитарных услуг, доступность которых страдает в обстановке нестабильности и насилия (происходит бегство врачей, закрытие медицинских учреждений, прекращение

профилактических медицинских программ и др.) [2, с. 12-13]. В качестве связующего звена между международным гуманитарным правом и международным правом прав человека рассматриваются положения ст. 75 ДП I [35, с. 23], содержащей требования гуманного обращения с лицами, находящимися во власти стороны, участвующей в конфликте, защиты основных прав и свобод таких лиц и обеспечения им максимально благоприятного положения.

Очевидно, что правовые обязательства по оказанию медико-санитарной помощи можно рассматривать как общие для любой отрасли международного права, независимо от ситуации. В любых условиях медицинские работники должны действовать гуманно и выполнять свой врачебный долг, соблюдая принципы медицинской этики и деонтологии. Принцип неизменности этических принципов оказания медицинской помощи во время вооруженных конфликтов и других чрезвычайных ситуаций [23] и их тождественности этическим принципам мирного времени закреплён в Правилах медицинской этики для военного времени и Правилах предоставления помощи раненым и больным в вооруженных конфликтах, одобренных в 1957 г. Международным Комитетом Красного Креста, Международным комитетом военной медицины и фармации и Всемирной организацией здравоохранения и затем утвержденных Всемирной медицинской ассоциацией [24, с. 91], а также в Этических принципах оказания медицинской помощи во время вооруженных конфликтов и других чрезвычайных ситуаций 2015 г., принятых совместно Международным Комитетом Красного Креста, Всемирной медицинской ассоциацией, Международным комитетом военной медицины, Международным советом медицинских сестер и Международной фармацевтической федерацией [19].

Вместе с тем, обращает на себя внимание недостаточная определенность в вопросе регламентации характера и объема медицинской помощи, которую надлежит оказать раненому или больному для того, чтобы международно-правовые обязательства по защите покровительствуемого лица считались исполненными [10].

Применяя расширенное толкование положений ст. 10 ДП I, можно сделать вывод о необходимости соблюдения в отношении раненых и больных утвержденных стандартов оказания медицинской помощи, клинических протоколов и рекомендаций, которыми сторона конфликта, исполняющая международно-правовое обязательство по защите раненых и больных, руководствуется в обычных условиях. Другими словами, сторона, во власти которой находятся покровительствуемые лица, должна обеспечить им ле-

чение и уход как своим гражданам в соответствии с действующими государственными гарантиями в области оказания медицинской помощи и критериями оценки ее качества [1, с. 111-112].

Основой системы оказания медицинской помощи в целом является первичная медико-санитарная помощь, включая доврачебную [12; 14], однако в большинстве случаев для обеспечения действенной защиты покровительствуемого лица необходимо также оказание ему специализированной медицинской помощи. При этом в ряде случаев необходим не только вывод пациента из острого состояния, но и дальнейшее наблюдение за состоянием его здоровья для своевременного принятия профилактических мер в целях предотвращения развития осложнений [18].

Более детально регламентирован порядок оказания медицинской помощи военнопленным. Так, в Женевской конвенции от 12 августа 1949 г. об обращении с военнопленными (далее – ЖК III) указано, что в медицинские учреждения принимаются военнопленные, страдающие тяжелой болезнью, или состояние здоровья которых требует специального лечения, хирургического вмешательства или госпитализации (ст. 30), то есть фактически лица, находящиеся в критическом состоянии. Остальные же имеют право получить медицинскую помощь путем обращения в лазарет. Таким образом, квалифицированность проводимых лечебно-диагностических мероприятий, вид медицинской помощи и уровень медицинского учреждения, где она оказывается, обуславливаются тяжестью состояния здоровья военнопленного.

Тяжело раненые, а также тяжело больные военнопленные не могут продолжать находиться под властью противной стороны, а подлежат отправке к себе на родину вне зависимости от их звания и количества, после того, как будут приведены в состояние, допускающее их перевозку (ст. 109 ЖК III). Оказание военнопленным паллиативной медицинской помощи не предусмотрено.

Ст. 110 ЖК III определяет ряд категорий раненых и больных, подлежащих непосредственной репатриации (без возможности госпитализации в нейтральной стране): неизлечимые раненые и больные; раненые и больные, которые, согласно врачебным прогнозам, не смогут излечиться в течение года и нуждаются в уходе; излечившиеся раненые и больные. Для всех перечисленных категорий общим критерием, на основании которого принимается решение о непосредственной репатриации, являются их сильно понизившиеся умственные или физические способности. При этом указанный критерий, согласно ЖК III, является несколько оценоч-

ным, поскольку используемое применительно к нему уточнение «по всей видимости» оставляет стороне, в чьей власти находятся раненые и больные, определенную свободу усмотрения, а также допускает некоторую неточность в диагностике.

Типовое соглашение по вопросу непосредственной репатриации и госпитализации в нейтральной стране раненых и больных военнопленных (Приложение I к ЖК III) определяет примерный перечень диагнозов, при которых вопрос об отправке пациента из числа военнопленных на родину или на территорию нейтральной страны должен решаться положительно. Одновременно с этим выделяются три группы заболеваний, исключаемых из госпитализации в нейтральной стране: хронические психозы, неизлечимые органические или функциональные заболевания нервной системы, инфекционные болезни в период заразности (кроме туберкулеза). Последний пункт представляется в большей степени направленным на защиту интересов страны, в которой предполагается госпитализация пациента, поскольку многие инфекционные заболевания ввиду их быстрого распространения, тяжести последствий, а также не всегда достаточной изученности могут представлять значительную опасность для населения, являясь одним из наиболее серьезных глобальных вызовов современности [7; 27; 30; 31, с. 142], в то время как принятие необходимых мер для обеспечения здоровья своих граждан является социально-значимой обязанностью государства [32, с. 53].

Однако, если различного рода физические расстройства обычно не представляют трудности для диагностики и оценки степени тяжести состояния пациента, то с расстройствами психическими ситуация обстоит несколько сложнее.

Примером может служить такой диагноз как расстройство адаптации, занимающий ведущее место в структуре заболеваемости у военнослужащих армий Великобритании и США, который в силу размытости его клинических границ и отсутствия четких диагностических стандартов может означать как чрезмерно патологизированную стрессовую реакцию у здорового человека [9, с. 5], так и свидетельствовать о тотальности поражения организма с вовлечением в патологический процесс всех систем, прежде всего нервной и эндокринной [20, с. 73]. Кроме того, «нормальный» в обстановке военных действий боевой стресс может иметь последствия в виде аффективных расстройств, психогении, изменений личности, психоорганической декомпенсации, психосоматозов и аддиктивных расстройств [20, с. 77].

Таким образом, не всегда возможно провести четкую грань между нормой и патологией [34, с. 28], в том числе из-за несовершенства ди-

агностических критериев, а также предугадать отдаленные последствия воздействия на психику стрессовых ситуаций, неизбежно возникающих в ходе вооруженного конфликта, что еще больше затрудняет вопрос об отнесении лица к категории больных. Необходимо также учитывать, что не все проблемы с психикой являются безусловным препятствием для прохождения военной службы, следовательно, возможность участия в боевых действиях лица, страдающего психическим расстройством, не исключена.

В ряде стран существует система категорий годности к военной службе с разработкой соответствующих медицинских критериев, в том числе в области психического здоровья. Так, в США не являются основанием для отказа в приеме на службу преднамеренное самоповреждение, биполярное расстройство, депрессия, наркотическая и алкогольная зависимость [36].

В Российской Федерации категория годности лица к военной службе определяется в ходе военно-врачебной экспертизы, правовые основы которой неоднократно становились предметом научного исследования [3; 13; 17]. Согласно разделу 5 Расписания болезней (приложение № 1 к Положению о военно-врачебной экспертизе, утвержденному постановлением Правительства Российской Федерации от 04 июля 2013 г. № 565), наличие целого ряда психических расстройств не влечет абсолютную негодность к военной службе. Так, лицо признается лишь ограниченно годным к военной службе при легкой или умеренной степени выраженности большинства заболеваний, относящихся к органическим психическим расстройствам; симптоматическим и другим психическим расстройствам экзогенной этиологии; невротическим, связанным со стрессом и соматоформным расстройствам; расстройствам личности; психическим расстройствам и расстройствам поведения, вызванным употреблением психоактивных веществ; а также умственной отсталости, что не исключает возможности его призыва на военную службу в военное время.

Вместе с тем, в профессиональной среде врачей-психиатров существует мнение о необходимости вывода психических расстройств из общего списка заболеваний, по которым проводится военно-врачебная экспертиза определения годности к военной службе, и их отдельной оценки. Такой взгляд обусловлен специфичностью психических заболеваний, недостаточной предсказуемостью их течения, в том числе опасностью резкого прогрессирования, а также колоссальным риском для окружающих в случае ухудшения состояния больного, особенно находящегося в боевой обстановке. Иными словами, ограниченная годность к военной службе по соматическому заболеванию и по психическому не должны быть равно-

значны. Такое мнение представляется справедливым не только непосредственно для военной службы, но и для приравненной к ней. Кроме того, вопросы психического здоровья заслуживают быть принятым во внимание также при решении вопросов о допуске лиц к деятельности, осуществляемой на критически важных объектах, к которым могут быть отнесены транспортная инфраструктура, используемая, в том числе, в целях обеспечения безопасности государства [6; 25], а также объекты топливно-энергетической [28] инфраструктуры.

С учетом изложенного, при проведении освидетельствования в ходе военно-врачебной экспертизы на предмет годности лица к военной (приравненной) службе представляется целесообразным давать расширенную оценку психического здоровья освидетельствуемого с учетом, в том числе, возможных факторов риска и возможности прохождения военной (приравненной) службы в боевых условиях и условиях чрезвычайных ситуаций. Вопрос о служебном предназначении лиц с выявленными психическими расстройствами следует решать индивидуально с учетом полученных данных, в частности, при необходимости призыва таких лиц на военную службу, рассматривать возможность их назначения на должности, не предполагающие несения службы с оружием, управления военной техникой и командования личным составом – например, на линейные должности в подразделениях тылового или медицинского обеспечения.

Целесообразно также продумать систему психиатрического обеспечения войск (сил), позволяющую лицам с психическими расстройствами, исполняющим обязанности военной службы, своевременно и в полном объеме получать необходимую медицинскую помощь, в том числе, иметь возможность наблюдаться профильным специалистом и получать фармакотерапию. Особенно актуально функционирование такой системы в военное время, когда призыву на военную службу подлежат лица, ограниченно годные к ней по состоянию здоровья.

Возвращаясь к международно-правовой регламентации вопросов защиты раненых и больных в ходе вооруженного конфликта, необходимо подчеркнуть, что для признания лица раненым или больным не требуется его выведение из строя в результате ранения или болезни. Данному положению соответствуют и нормы национального права, согласно которым лицо, страдающее определенными заболеваниями, в том числе психическими, может исполнять обязанности военной службы. Ключевым моментом при решении вопроса о признании раненого или больного покровительствуемым лицом по смыслу международного гуманитарного

права является его отказ от любых враждебных действий. Соответственно, раненый или больной комбатант, предпринимающий действия, направленные на причинение ущерба противнику, не может являться покровительствуемым лицом. И напротив – комбатант, нуждающийся в медицинской помощи и воздерживающийся от любых враждебных действий, будет пользоваться защитой как раненый, даже если объективно по своему состоянию он не выведен из строя [11, с. 164].

Заключение

В ходе анализа норм международного гуманитарного права обращает на себя внимание недостаточная определенность в ряде аспектов, имеющих значение при предоставлении защиты раненым и больным в вооруженных конфликтах. В некоторых случаях такая неопределенность может быть устранена путем расширенного толкования правовых норм, а также комплексного подхода к обязательствам, устанавливаемым в отношении покровительствуемых лиц. Например, такой подход представляется применимым при решении вопроса об объеме медицинской помощи, которая должна быть оказана раненому или больному, а также о ее видах и условиях оказания.

В то же время некоторые моменты требуют конкретизации на уровне национального законодательства – в частности, вопрос о возможности непосредственного участия в вооруженных конфликтах лиц с психическими расстройствами. Поскольку международно-правовые нормы актуальны и применимы в том числе в рамках национальной правовой системы [4; 5], данный вопрос следует решать с учетом требований как международного гуманитарного права, обязывающего предоставлять защиту больным как покровительствуемым лицам, так и международного права прав человека, устанавливающего гарантии для лиц, страдающих психическими расстройствами.

С этой целью представляется целесообразным рассмотреть вопрос о выводе психических расстройств из общего перечня заболеваний, по которым проводится военно-врачебная экспертиза определения годности к военной службе, с разработкой отдельных критериев годности к ней лиц, имеющих психические расстройства, с учетом выявленных в ходе обследования индивидуальных психических особенностей и факторов риска. Кроме того, следует нормативно закрепить перечень воинских должностей, на которых лица, страдающие психическими расстройствами, могут проходить военную службу и исполнять возложенные на них обязанности

без ущерба и риска для себя и окружающих, а также предусмотреть систему психиатрического обеспечения военной службы.

В настоящее время отсутствие внятной регламентации данных вопросов может считаться одним из пробелов, допущенных военным законодателем [22, с. 254], в связи с чем, требует продуманного подхода в области эффективного совершенствования действующих нормативных правовых актов.

Список литературы

1. Большакова В.М., Холиков И.В., Наумов П.Ю. Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14. № 1. С. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
2. Брейтеггер А. Правовые нормы, применимые в обстановке нестабильности и насилия, влияющей на оказание медико-санитарной помощи в условиях вооруженных конфликтов и других чрезвычайных ситуаций // *Международный журнал Красного Креста*. 2013. № 95. С. 1–60.
3. Бухтияров И.В. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России», ответственный ред. А.А. Мохов, изд-во «Проспект», 2022, – материалы дискуссии) / И.В. Бухтияров, И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов // *Медицина труда и промышленная экология*. 2023. Т. 63. № 1. С. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
4. Гаврилов С.О. Право в точке бифуркации: обсуждение концептуального исследования военных проблем международного права (Дискуссия в формате «круглого стола» по материалам гл. 6 «Военные проблемы международного права» Т. III монографии «Военное право») / С.О. Гаврилов, И.Н. Глебов, С.Г. Чукин [и др.] // *Государство и право*. 2022. № 12. С. 59–67. <https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2>
5. Гайдамашко И.В. Потенциал монографии «Военное право» в обучении будущего военного юриста и развитии его личности / И.В. Гайдамашко, П.Ю. Наумов, А.А. Дьячков // *Государство и право*. 2023. № 5. С. 68–79. <https://doi.org/10.31857/S102694520025198-8>
6. Глушаченко С.Б., Зелепукин Р.В. Военно-правовые знания для будущих работников сферы транспорта (рецензия на трёхтомную монографию «Военное право») // *Мир транспорта*. 2023. Т. 21, № 1 (104). С. 134–137. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16>
7. Жданов К.В. Болезнь, вызываемая вирусом Эбола: от теории к практике / К.В. Жданов, И.В. Холиков // *Журнал инфектологии*. 2015. Т. 7. № 1. С. 5–17.

8. Кудашкин А. Опыт концептуализации специальных военных операций в современном праве / А. Кудашкин, И. Холиков // Пути к миру и безопасности. 2023. № 1 (64). С. 31–47. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-1-31-47>
9. Лобачев А.В. Расстройства адаптации у военнослужащих (клинико-организационные проблемы): Дис. ... д-ра мед. наук. СПб, 2020. 265 с. URL: https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/JigR27FLTR.pdf (дата обращения 22.03.2024).
10. Мельниченко П.И. Организационно-правовые аспекты противодействия распространению ВИЧ/СПИДа среди военнослужащих / П.И. Мельниченко, О.В. Дамаскин, И.В. Холиков, М.Ж. Паршин // Военно-медицинский журнал. 2005. Т. 326. № 2. С. 50–54.
11. Мельцер Н. Международное гуманитарное право. Общий курс. Женева: Международный Комитет Красного Креста, 2016. 418 с. URL: https://www.icrc.org/ru/download/file/53471/4231_005_ihl_textbook_by_melzer_web.pdf (дата обращения: 22.03.2024).
12. Наумов П.Ю. Комплексное исследование правовых основ и проблемных вопросов оказания первой помощи военнослужащим (военнослужащими) / П.Ю. Наумов, Н.Н. Баранова, И.В. Холиков, С.А. Купцов // Медицина катастроф. 2023. № 3. С. 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>
13. Наумов П.Ю. Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы / П.Ю. Наумов, В.М. Большакова, А.И. Землин, И.В. Холиков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
14. Наумов П.Ю. Оказание военнослужащим первичной медико-санитарной помощи: правовое регулирование и проблемные аспекты / П.Ю. Наумов, Р.Н. Шепель, И.В. Холиков // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023. Т. 22, № S9. С. 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>
15. Наумов П.Ю. Социальные функции частных военных компаний в условиях трансформации современного миропорядка // Пути к миру и безопасности. 2023. № 2 (65). С. 207–218. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218>
16. Наумов П.Ю. Ценность права и правовые ценности в глобализующемся мире (Аксиологический обзор книги «Государство и право: права человека и мировой порядок, основанный на верховенстве права») / П.Ю. Наумов, С.И. Захарцев, И.В. Холиков, В.М. Большакова // Государство и право. 2023. № 9. С. 64–72. <https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5>
17. Наумов П.Ю., Холиков И.В. Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации

- ской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 1. С. 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>
18. Николаев К.Н. Профилактика венозных тромбоэмболических осложнений при боевой огнестрельной травме / К.Н. Николаев, В.Ф. Зубрицкий, А.П. Колтович [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018. № 9. С. 82–86. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018090182>
19. Общие этические принципы оказания медицинской помощи во время конфликтов и других чрезвычайных ситуаций // Международный Комитет Красного Креста, 30.06.2015. URL: <https://www.icrc.org/ru/document/obshchie-eticheskie-principy-okazaniya-meditsinskoj-pomoshchi-vo-vremya-konfliktov-i-drugih> (дата обращения 21.03.2024).
20. Потемина Т.Е. Дезадаптивные изменения в нервной системе после воздействия боевого стресса и травм / Т.Е. Потемина, А.А. Зуйкова, С.В. Кузнецова, А.В. Перешеин // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ» (реабилитация, врач и здоровье), 2019. № 4. С. 73–78.
21. Русинова В.Н. Права человека в вооруженных конфликтах: соотношение норм международного гуманитарного права и международного права прав человека: Автореф. дис. ... канд. юрид. наук. М., 2016. 55 с.
22. Сальников В.П. Институционализация военного права как отрасли права в постнеклассической научной рациональности (рецензия на монографию «Военное право в 3-х томах. М.: Центр правовых коммуникаций», 2022) / В.П. Сальников, В.М. Большакова, С.И. Захарцев // Право. Журнал Высшей школы экономики. 2023. № 1. С. 251–261. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2023.1.251.261>
23. Холиков И.В. Деятельность сил и средств медицинской службы в условиях ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (Опыт работы российского военно-медицинского контингента в Республике Индонезия) / И.В. Холиков, В.А. Шафалинов, А.Р. Волгин, С.В. Яковлев // Военно-медицинский журнал. 2007. Т. 328. № 3. С. 10–13.
24. Холиков И.В. Международно-правовой статус военно-медицинского персонала. М.: ГВКГ им. Н.Н. Бурденко, 2002. 160 с.
25. Холиков И.В. Правовые знания для будущих транспортников // Мир транспорта. 2020. Т. 18. № 1 (86). С. 260–264. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-264>
26. Холиков И.В. Применение вооруженной силы частными морскими охранными компаниями: динамика границ и специфика правового регулирования в современном мире / И.В. Холиков, В.А. Окоца // Журнал российского права. 2020. № 12. С. 147–158. <https://doi.org/10.12737/jrl.2020.154>

27. Холиков И.В. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. 2020. № 2 (59). С. 27-40. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40>
28. Холиков И.В. Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения / И.В. Холиков, П.Ю. Наумов, В.М. Большакова [и др.] // Уголь. 2022. № 10 (1159). С. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
29. Холиков И.В. Ценности и смыслы главного судебного акта XX века: аксиологические концепты книги А.Н. Савенкова «Нюрнберг: Приговор во имя Мира» (Материалы дискуссии) / И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Р.В. Зелепукин // Государство и право. 2022. № 10. С. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S1026945200217887>
30. Холиков И.В., Жданов К.В. Оказание помощи Гвинейской Республике в борьбе с эпидемией геморрагической лихорадки Эбола // Военно-медицинский журнал. 2015. Т. 336. № 2. С. 93-95.
31. Холиков И.В., Милованович А., Наумов П.Ю. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход // Журнал российского права. 2022. Т. 26. № 11. С. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
32. Холиков И.В., Сазонова К.Л. Международно-правовые аспекты ответственности государств и международных организаций за распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний // Военно-медицинский журнал. 2015. Т. 336. № 8. С. 51–57.
33. Холиков И.В., Белоусова М.С. Развитие идей международно-правовой защиты лиц, нуждающихся в медицинской помощи вследствие психического расстройства // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2024. № 4 (321). С. 99–107.
34. Циркин С.Ю. О границе нормы и патологии // Независимый психиатрический журнал. 2002. № 4. С. 28–31.
35. Чумарев С.Л. (под псевдонимом С.Л. Рогожин) Социологический анализ норм международного гуманитарного права // Московский журнал международного права. 2000. № 4. С. 173–182. <https://doi.org/10.24833/0869-0049-2000-4-173-182>.
36. Army rescinds mental health memo // USA TODAY, 16.11.2017. URL: <https://www.usatoday.com/videos/news/nation/2017/11/16/army-rescinds-mental-health-memo/107741818> (дата обращения: 22.03.2024).

References

1. Bol'shakova V.M., Kholikov I.V., Naumov P.Yu. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
2. Breytegger A. *Mezhdunarodnyy zhurnal Krasnogo Kresta* [International Review of the Red Cross], 2013, no. 95, pp. 1-60.
3. Bukhtiyarov I.V., Kholikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu. *Medit-sina truda i promyshlennaya ekologiya* [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology], 2023, vol. 63, no. 1, pp. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
4. Gavrillov S.O., Glebov I.N., Chukin S.G., Kholikov I.V., Naumov P.Yu. *Gosudarstvo i pravo* [State and Law], 2022, no. 12, pp. 59–67. <https://doi.org/10.31857/S102694520023301-2>
5. Gaydamashko I.V., Naumov P.Yu., D'yachkov A.A. *Gosudarstvo i pravo* [State and Law], 2023, no. 5, pp. 68–79. <https://doi.org/10.31857/S102694520025198-8>
6. Glushachenko S.B., Zelepukin R.V. *Mir transporta* [World of Transport], 2023, vol. 21, no. 1 (104), pp. 134–137. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-21-1-16>
7. Zhdanov K.V., Kholikov I.V. *Zhurnal infektologii*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 5-17.
8. Kudashkin A., Kholikov I. *Puti k miru i bezopasnosti* [Pathways to Peace and Security], 2023, no. 1 (64), pp. 31-47. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-1-31-47>
9. Lobachev A.V. *Rassstroystva adaptatsii u voennosluzhashchikh (kliniko-organizatsionnye problemy)* [Adjustment disorders in military personnel (clinical and organizational problems)]: Dis. ... MD. Saint Petersburg, 2020, 265 p. https://vmeda.mil.ru/upload/site56/document_file/JigR27FLTR.pdf (accessed March 22, 2024).
10. Mel'nichenko P.I., Damaskin O.V., Kholikov I.V., Parshin M.Zh. *Voенно-meditsinskiy zhurnal*, 2005, vol. 326, no. 2, pp. 50-54.
11. Mel'tser N. *Mezhdunarodnoe gumanitarnoe pravo. Obshchiy kurs* [International humanitarian law. A comprehensive introduction]. Geneva: ICRC, 2016, 418 p. https://www.icrc.org/ru/download/file/53471/4231_005_ihl_textbook_by_melzer_web.pdf (accessed March 22, 2024).
12. Naumov P.Yu., Baranova N.N., Kholikov I.V., Kuptsov S.A. *Medit-sina katastrof* [Disaster Medicine], 2023, no. 3, pp. 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>
13. Naumov P.Yu., Bol'shakova V.M., Zemlin A.I., Kholikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
14. Naumov P.Yu., Shepel' R.N., Kholikov I.V. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular Therapy and Prevention], 2023, vol. 22, no. S9, pp. 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>

15. Naumov P.Yu. *Puti k miru i bezopasnosti* [Pathways to Peace and Security], 2023, no. 2 (65), pp. 207–218. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218>
16. Naumov P.Yu., Zakhartsev S.I., Kholikov I.V., Bol'shakova V.M. *Gosudarstvo i pravo* [State and Law], 2023, no. 9, pp. 64–72. <https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5>
17. Naumov P.Yu., Kholikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>
18. Nikolaev K.N., Zubritskiy V.F., Koltovich A.P., Vardanyan A.V., Kapustin S.I., Dolidze D.D., Vardanyan V.A. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova* [Pirogov Russian Journal of Surgery], 2018, no. 9, pp. 82–86. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018090182>
19. *Obshchie eticheskie printsipy okazaniya meditsinskoj pomoshchi vo vremya konfliktov i drugih chrezvychaynykh situatsiy* [Common ethical principles of health care in conflict and other emergencies] // International Committee of the Red Cross, 30 June 2015. URL: <https://www.icrc.org/ru/document/obshchie-eticheskie-principy-okazaniya-medicinskoj-pomoshchi-vo-vremya-konfliktov-i-drugih> (accessed March 21, 2024).
20. Potemina T.E., Zuykova A.A., Kuznetsova S.V., Pereshein A.V. *Vestnik meditsinskogo instituta «REAVIZ» (reabilitatsiya, vrach i zdorov'e)* [Bulletin of the medical institute “REAVIZ” (rehabilitation, doctor and health)], 2019, no. 4, pp. 73–78.
21. Rusinova V.N. *Prava cheloveka v vooruzhennykh konfliktakh: sootnoshenie norm mezhdunarodnogo gumanitarnogo prava i mezhdunarodnogo prava prav cheloveka* [Human rights in armed conflicts: the correlation of international humanitarian law and international human rights law]: Abst. dis. ... PhD in Law. Moscow, 2016, 55 p.
22. Sal'nikov V.P., Bol'shakova V.M., Zakhartsev S.I. *Pravo. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki* [Law: Journal of the Higher School of Economics], 2023, no. 1, pp. 251–261. <https://doi.org/10.17323/2072-8166.2023.1.251.261>
23. Kholikov I.V., Shafalinov V.A., Volgin A.R., Yakovlev S.V. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, 2007, vol. 328, no. 3, pp. 10–13.
24. Kholikov I.V. *Mezhdunarodno-pravovoy status voenno-meditsinskogo personala* [International legal status of military medical personnel]. Moscow: Main Military Clinical Hospital named after N.N. Burdenko, 2002, 160 p.
25. Kholikov I.V. *Mir transporta* [World of Transport], 2020, vol. 18, no. 1 (86), pp. 260–264. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-260-264>
26. Kholikov I.V., Okocha V.A. *Zhurnal rossiyskogo prava* [Journal of Russian Law], 2020, no. 12, pp. 147–158. <https://doi.org/10.12737/jrl.2020.154>
27. Kholikov I.V. *Puti k miru i bezopasnosti* [Pathways to Peace and Security], 2020, no. 2 (59), pp. 27–40. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40>

28. Kholikov I.V., Naumov P.Yu., Bol'shakova V.M., Mamedova I.A., Savchenko-Bel'skiy V.Yu. *Ugol'* [Ugol' – Russian Coal Journal], 2022, no. 10 (1159), pp. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
29. Kholikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Yu., Zelepukin R.V. *Gosudarstvo i pravo* [Government and Law], 2022, no. 10, pp. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S1026945200217887>
30. Kholikov I.V., Zhdanov K.V. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 2, pp. 93–95.
31. Kholikov I.V., Milovanovich A., Naumov P.Yu. *Zhurnal rossiyskogo prava* [Journal of Russian Law], 2022, vol. 26, no. 11, pp. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
32. Kholikov I.V., Sazonova K.L. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 8, pp. 51–57.
33. Kholikov I.V., Belousova M.S. *Law in the Armed Forces - Military Legal Review*, 2024, no. 4 (321), pp. 99–107.
34. Tsirkin S.Yu. *Nezavisimyy psikhiatricheskiy zhurnal* [Independent Psychiatric Journal], 2002, no. 4, pp. 28–31.
35. Chumarev S.L. *Pokrovitel'stvennye litsa po mezhdunarodnomu gumanitarnomu pravu* [Protected persons under international humanitarian law]: Abst. dis. ... PhD in Law. Moscow, 2002, 29 p.
36. Army rescinds mental health memo. *USA TODAY*, 16.11.2017. URL: <https://www.usatoday.com/videos/news/nation/2017/11/16/army-rescinds-mental-health-memo/107741818> (accessed March 22, 2024).

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Белуsoва Марина Сергеевна, аспирант

*ФГНИУ «Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации»
ул. Большая Черемушкинская, 34, г. Москва, 117218, Российская Федерация
marbelousova@yandex.ru*

Холиков Иван Владимирович, доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник центра международного права и сравнительно-правовых исследований, профессор кафедры международного права ФГНИУ «Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации»
ул. Большая Черемушкинская, 34, г. Москва, 117218, Российская Федерация
iv_kholik@mail.ru

Фролова Лариса Валерьевна, доцент кафедры философских и социально-экономических дисциплин

ФГКВОВ ВО «Санкт-Петербургская 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

Marina S. Belousova, Graduate Student

Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation

34, Bolshaya Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation

marbelousova@yandex.ru

SPIN-code: 6878-0309

Ivan V. Kholikov, Doctor of Law, Professor, Chief Researcher of International Law Section, Professor of the Chair of International and European Law
Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation

34, Bolshaya Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation

iv_kholik@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0421-5829>

SPIN-code: 7311-5596

Larisa V. Frolova, Associate Professor of the Department of Philosophy and Socio-Economics Disciplines

Saint Petersburg Military Order of Zhukov Academy of the National Guard Troops of the Russian Federation

1, Pilyutova Pilyutova Str., Saint Petersburg, 198206, Russian Federation

FrolovaLora1@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0814-5808>

SPIN-code: 4333-2221

Поступила 28.04.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 25.05.2024

Received 28.04.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 25.05.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1006

EDN: NTWYCU

УДК 614.2:616.3



Научная статья

АНАЛИЗ ОКАЗАНИЯ ЭКСТРЕННОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ В РСО-АЛАНИЯ ЗА 2021-2023 ГГ.

*З.В. Тотиков, В.З. Тотиков, З.Р. Аликова, И.Т. Тотикова,
Р.А. Хубецова, Р.А. Халлаев, Т.Т. Казиев*

Аннотация

Обоснование. Экстренная абдоминальная хирургическая патология занимает лидирующую позицию в структуре больничной летальности. К самым распространенным ургентным абдоминальным заболеваниям относятся: острый аппендицит, кишечная непроходимость, перфоративные язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, желудочно-кишечные кровотечения, ущемленные грыжи, острый холецистит и острый панкреатит. Для выявления существующих проблем и выработки путей их решения необходим регулярный анализ результатов работы экстренных служб.

Цель работы. Провести анализ работы хирургической службы РСО-Алания по основным экстренным заболеваниям органов брюшной полости за период 2021-2023 гг., выявить основные тенденции и проблемы, а также определить возможные пути их решения.

Материалы и методы. Проанализированы данные ежегодных электронных отчетных форм медицинских организаций РСО-Алания за 2021-2023 гг., оказывающих экстренную хирургическую помощь взрослому населению. Изучены заболеваемость, частота выполняемых хирургических вмешательств, общая и послеоперационная летальность по основным семи ургентным хирургическим патологиям: острая кишечная непроходимость, острый аппендицит, перфоративная язва, желудочно-кишечные кровотечения, ущемленная грыжа, острый холецистит, острый панкреатит.

Результаты. За анализируемый трехлетний период наблюдался рост госпитализаций экстренных пациентов на 59,9% и рост количества оперативных вмешательств на 86,2%. При этом сохранялся высоким процент поздних госпитализаций. Рост числа госпитализаций с 2021 года отмечался по всем

ургентным нозологиям, кроме язвенных кровотечений, где наблюдалась обратная тенденция. Отмечено некоторое снижение показателей общей летальности с 1,6% в 2021 году до 1,1% в 2023. При этом за наблюдаемый период показатели общей летальности были ниже общероссийских, за исключением летальности при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки в 2022 году, когда этот показатель был сопоставим с общероссийским.

Заключение. Проведенный анализ показал, что негативное влияние на результаты лечения экстренных хирургических пациентов оказало перепрофилирование основных республиканских стационаров III уровня в инфекционные госпитали (в 2020-2021 гг.) и перераспределение потоков пациентов в районные больницы I уровня. С целью улучшения результатов лечения ургентных хирургических больных в РСО-Алания необходимо сформировать трехуровневую систему оказания помощи, с созданием укомплектованного штатами и оборудованием межрайонного хирургического центра II уровня, а также разработать четкую систему маршрутизации больных, с целью концентрации наиболее сложных пациентов в хирургических стационарах III уровня в г. Владикавказе.

Ключевые слова: экстренная хирургическая помощь; заболеваемость; летальность; острая кишечная непроходимость; острый аппендицит; перфоративная язва; желудочно-кишечные кровотечения; ущемленная грыжа; острый холецистит; острый панкреатит

Для цитирования. Тотиков З.В., Тотиков В.З., Аликова З.Р., Тотикова И.Т., Хубецова Р.А., Халлаев Р.А., Казиев Т.Т. Анализ оказания экстренной хирургической помощи в РСО-Алания за 2021-2023 гг. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 405-422. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1006

Original article

ANALYSIS OF THE PROVISION OF EMERGENCY SURGICAL CARE IN THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA FOR 2021-2023

*Z.V. Totikov, V.Z. Totikov, Z.R. Alikova, I.T. Totikova,
R.A. Khubetsova, R.A. Hallaev, T.T. Kaziev*

Abstract

Background. Emergency abdominal surgical pathology accounts for a significant proportion of hospital deaths. The most common emergency abdominal conditions include acute appendicitis, intestinal obstruction, perforated gastric and duo-

denal ulcers, gastrointestinal bleeding, strangulated hernias, acute cholecystitis, and acute pancreatitis. Regular analysis of emergency department data is essential to identify any problems that exist and develop strategies for addressing them.

Purpose. To analyze the performance of the RSO-Alania surgical service in treating the most common emergency conditions of the abdominal cavity over the period from 2021 to 2023. We aim to identify key trends and challenges, as well as possible solutions.

Materials and methods. The data for this analysis will be drawn from the annual electronic reports of medical organizations in the Republic of North Ossetia-Alania, which provide emergency surgical care for the adult population. We will examine the incidence, frequency of surgeries, and overall and postoperative mortality rates for seven major urgent surgical conditions: acute intestinal obstruction, acute appendicitis, perforated ulcers, gastrointestinal bleeding, strangulated hernias, acute cholecystitis, and acute pancreatitis.

Results. During the three-year period analyzed, there was an increase in hospital admissions for emergency patients of 59,9%, and an increase in surgical interventions of 86,2%. However, the percentage of delayed admissions remained high. There was an increase in admissions for all urgent conditions, except for ulcer bleeding, which saw a decrease. The overall mortality rate decreased from 1,6% in 2021 to 1,1% in 2023, although it was still lower than the national average. However, there were some exceptions, with mortality rates for perforated stomach and duodenal ulcer being comparable to the national average in 2022.

Conclusion. The analysis showed that the conversion of major republican hospitals at the third level into infectious disease hospitals (in 2020-2021) and the redirection of patient flow to district hospitals at the first level had a negative impact on the outcomes of emergency surgical treatment. To improve the outcomes for urgent surgical patients in North Ossetia-Alania, a three-tiered care system should be established, including the establishment of a staffed and equipped inter-district surgical center at the second level. Additionally, a clear patient referral system should be developed to concentrate the most complex patients in surgical facilities at the third level in Vladikavkaz.

Keywords: emergency surgical care; morbidity; mortality; acute intestinal obstruction; acute appendicitis; perforated ulcer; gastrointestinal bleeding; strangulated hernia; acute cholecystitis; acute pancreatitis

For citation. Totikov Z.V., Totikov V.Z., Alikova Z.R., Totikova I.T., Khubetsova R.A., Hallaev R.A., Kaziev T.T. Analysis of the Provision of Emergency Surgical Care in the Republic of North Ossetia-Alania for 2021-2023. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 405-422. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1006

Введение

В структуре больничной летальности экстренная абдоминальная хирургическая патология занимает лидирующую позицию [3-6]. В США количество госпитализаций пациентов с экстренной хирургической патологией с начала 21 века возросло на 28% и превысило 27 миллионов случаев в год, при этом к 2060 году прогнозируется рост госпитализаций еще на 45% с общими затратами на лечение более 41 миллиарда долларов в год [9]. За последнее время наблюдается рост числа хирургических вмешательств в большинстве субъектов Российской Федерации, в то же время число операций, выполняемых по экстренным показаниям снижается [1; 3; 4; 5].

Проблемы, присущие неотложной хирургии, в основном связаны с послеоперационными осложнениями и летальными исходами [3; 4; 6-8; 10]. Так, вероятность летального исхода у экстренных хирургических больных примерно в 8 раз выше, чем у пациентов, получающих плановую помощь [8; 9]. Это обусловлено различными факторами, включая узкие временные рамки и недостаточный объем информации при принятии решения о выборе оптимального диагностического и лечебного алгоритма, а также более высоким риском врачебных ошибок [2; 3; 9; 11].

К самым распространенным ургентным абдоминальным заболеваниям относятся: острый аппендицит, кишечная непроходимость, перфоративные язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, желудочно-кишечные кровотечения, ущемленные грыжи, острый холецистит и острый панкреатит, результат лечения которых неразрывно связан со своевременностью и качеством оказания медицинской помощи [3-5]. Следовательно, становится необходимым проведение регулярного анализа результатов работы экстренных хирургических служб для выявления имеющихся проблем и разработки путей их решения [1-4; 9-11].

Цель исследования – провести анализ работы хирургической службы РСО-Алания по основным экстренным заболеваниям органов брюшной полости за период 2021-2023 гг., выявить основные тенденции и проблемы, а также определить возможные пути их решения.

Материалы и методы

Проанализированы данные ежегодных электронных отчетных форм медицинских организаций РСО-Алания за 2021-2023 гг., оказывающих экстренную хирургическую помощь взрослому населению. Изучены заболеваемость, частота выполняемых хирургических вмешательств, общая

и послеоперационная летальность по основным семи urgentным хирургическим патологиям: острая кишечная непроходимость, острый аппендицит, перфоративная язва, желудочно-кишечные кровотечения, ущемленная грыжа, острый холецистит, острый панкреатит. Описательная статистика результатов исследования представлена в виде относительных интенсивных показателей, рассчитанных на 100 пациентов.

Результаты

В 2021 году в стационары республики было госпитализировано 3643 экстренных больных, при этом по 7 urgentным хирургическим патологиям – 2334, из них оперировано было 1022 (43,8%) пациента. В сроки свыше 24 часов было госпитализировано 898 (38,5%) из 2334 больных. Умерло 38 (1,6%) больных, из них 22 (57,9%) пациента, госпитализированных позже 24 часов от момента начала заболевания. Следует отметить, что в 2021 году основные хирургические стационары III уровня в РСО-Алания (Республиканская клиническая больница скорой медицинской помощи и Республиканская клиническая больница) были перепрофилированы в инфекционные госпитали для оказания помощи пациентам с COVID-19, а помощь хирургическим пациентам оказывалась в районных больницах I уровня. По основным нозологиям госпитализированные больные распределились следующим образом: острая неопухолевая кишечная непроходимость – 275 больных, из них 136 (49,5%) госпитализированы после 24 часов, при этом умерло 8 (2,9%) больных, из них 5 (62,5%) пациентов поступивших позже суток от начала заболевания. Из 275 вышеописанных больных, с острой спаечной кишечной непроходимостью было доставлено 137, из них 55 (40,1%) позже суток, при этом умерло 2 (1,5%) больных, оба пациента были доставлены после 24 часов от момента начала заболевания. С острой опухолевой кишечной непроходимостью было госпитализировано 34 пациента, из них 26 (76,5%) позже 24 часов. При этом умер 1 (3,8%) больной, поступивший спустя более суток от начала заболевания. С острым аппендицитом поступило 369 больных, из них 133 (36,0%) после 24 часов. С перфоративной язвой желудка и двенадцатиперстной кишки – 43 больных, из них 15 (34,9%) позже суток, при этом умерло 3 (7,0%), из них 2 (66,7%) больных, поступивших позже 24 часов. С язвой желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением было госпитализировано 318 пациентов, из них 116 (36,5%) позже суток, при этом умерло 12 (3,8%), из которых 4 (33,3%) пациентов, поступивших позже 24 часов от начала заболевания. С ущемленной грыжей поступило 165 больных, из

них 26 (15,8%) после 24 часов, при этом умерло 4 (2,5%) больных, все из которых поступили позже суток от начала заболевания. С острым холециститом было доставлено в стационары республики 557 пациентов, из них 256 (46,0%) позже суток, при этом умерло 4 (0,7%) больных, 2 (50,0%) из которых поступили спустя более суток от начала заболевания. Острый панкреатит явился причиной госпитализации 573 больных, из них 190 (33,2%) пациентов госпитализированы спустя 24 часа от начала заболевания, при этом умерло 6 (1,0%), из них 4 (66,7%) пациентов поступивших позже суток от начала заболевания.

Наибольшие показатели послеоперационной летальности у больных по 7 основным экстренным нозологиям в РСО-Алания отмечались при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением – 21,7% (из 23 больных умерло 5, 3 из которых были госпитализированы в поздние сроки). Далее при острой неопухоловой кишечной непроходимости – 7,7% (из 52 оперированных больных умерло 4, из которых 3 поступили спустя более суток от момента начала заболевания). При этом при острой спаечной кишечной непроходимости – 8,7% (из 23 оперированных пациентов умерло 2, в обоих случаях имела место поздняя госпитализация). А также при остром панкреатите - 7,7% (из 39 оперированных пациентов умерло 3, при этом во всех 3 случаях имела место поздняя госпитализация). Несколько ниже этот показатель был при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки - 7,0% (из 43 больных умерло 3, из которых 2 пациентов поступили спустя более суток от появления первых признаков заболевания). Схожими показатели послеоперационной летальности были при ущемленной грыже – 2,5% (из 161 оперированного больного умерло 4, во всех случаях имела место поздняя госпитализация) и при остром холецистите – 2,5% (из 159 оперированных больных умерло 4, при этом 2 из них были При остром аппендиците летальных исходов не было.

В 2022 году в хирургические отделения стационаров республики был госпитализирован 5721 экстренный пациент, при этом по 7 ургентным хирургическим патологиям – 3238, из них оперировано было 1506 (46,5%) пациентов. В сроки свыше 24 часов было госпитализировано 1629 (50,3%) из 3238 больных. Умерло 55 (1,7%) больных, из них 46 (83,6%) пациентов, госпитализированных позже 24 часов от момента начала заболевания. При этом необходимо отметить, что с апреля 2022 года наиболее крупный хирургический стационар республики III уровня, оказывающий экстренную хирургическую помощь, Республиканская клиническая больница ско-

рой медицинской помощи приступила к работе в штатном режиме, как и несколько ранее Республиканская клиническая больница. Однако, часть экстренных хирургических пациентов на протяжении 2022 и 2023 годов продолжала направляться в районные больницы I уровня.

По основным нозологиям в 2022 году госпитализированные больные распределились следующим образом: острая неопухолевая кишечная непроходимость – 498 больных, из них 368 (73,9%) госпитализированы после 24 часов, при этом умерло 20 (4,0%) больных, из них 16 (80,0%) пациентов поступивших позже суток от начала заболевания. Из 498 вышеописанных больных, с острой спаечной кишечной непроходимостью было доставлено 267, из них 209 (78,2%) позже суток, при этом умер 1 (0,4%) больной. С острой опухолевой кишечной непроходимостью было госпитализировано 140 пациентов, из них 95 (67,9%) позже 24 часов. При этом умерло 11 (7,9%) больных, все они поступили спустя более суток от начала заболевания. С острым аппендицитом поступило 380 больных, из них 133 (35,0%) после 24 часов. С перфоративной язвой желудка и двенадцатиперстной кишки – 49 больных, из них 13 (26,5%) позже суток, при этом умерло 7 (16,3%), все они поступили позже 24 часов от момента начала заболевания. С язвой желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением было госпитализировано 225 пациентов, из них 58 (25,8%) позже суток, при этом умерло 3 (1,3%), из которых 2 (66,7%) пациентов, поступивших позже 24 часов от начала заболевания. С ущемленной грыжей поступило 310 больных, из них 32 (10,3%) после 24 часов, при этом умерло 6 (1,9%) больных, 4 (66,7%) из которых поступили позже суток от начала заболевания. С острым холециститом было доставлено в стационары республики 795 пациентов, из них 413 (51,9%) позже суток, при этом умерло 2 (0,3%) больных, оба эти пациента поступили спустя более суток от начала заболевания. Острый панкреатит явился причиной госпитализации 841 больного, из них 517 (61,5%) пациентов госпитализированы спустя 24 часа от начала заболевания, при этом умерло 6 (0,7%), из них 4 (66,7%) пациентов поступивших позже суток от начала заболевания.

В 2022 году в РСО-Алания наивысшие показатели послеоперационной летальности отмечались при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки - 14,3% (из 49 больных умерло 7 пациентов, все они госпитализированы спустя более суток от появления первых признаков заболевания). Далее при острой неопухолевой кишечной непроходимости – 14,2% (из 127 оперированных больных умерло 18, из которых 16 поступили спустя более суток от момента начала заболевания). При этом

при острой спаечной кишечной непроходимости – 2,9% (из 34 оперированных пациентов умер 1 больной). А также при остром панкреатите – 6,2% (из 97 оперированных пациентов умерло 6, при этом в 4 случаях имела место поздняя госпитализация). Существенно ниже этот показатель был при ущемленной грыже – 2,2% (из 279 оперированных больных умерло 6, в 4 случаях имела место поздняя госпитализация) и при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением – 2,1% (из 48 больных умер 1). При остром аппендиците летальных исходов в указанный год не наблюдалось.

В 2023 году в хирургические отделения стационаров республики был госпитализировано 6222 экстренных пациента, при этом по 7 ургентным хирургическим патологиям – 3731, из них оперировано было 1905 (51,5%) пациентов. В сроки свыше 24 часов было госпитализировано 1310 (35,1%) из 3731 больных. Умерло 42 (1,1%) больных, из них 35 (83,3%) пациентов, госпитализированных позже 24 часов от момента начала заболевания.

По основным нозологиям в 2023 году госпитализированные больные распределились следующим образом: острая неопухолевая кишечная непроходимость – 467 больных, из них 306 (65,5%) госпитализированы после 24 часов, при этом умерло 9 (1,9%) больных, из них 6 (66,7%) пациентов поступивших позже суток от начала заболевания. Из 467 вышеописанных больных, с острой спаечной кишечной непроходимостью было доставлено 370, из них 243 (65,7%) позже суток, при этом умерло 7 (1,9%) больных, 6 (85,7%) из которых были госпитализированы позже 24 часов от момента начала заболевания. С острой опухолевой кишечной непроходимостью было госпитализировано 124 пациента, из них 80 (64,5%) позже 24 часов. При этом умерло 7 (5,6%) больных, все они поступили спустя более суток от начала заболевания. С острым аппендицитом поступило 472 больных, из них 151 (32,0%) после 24 часов. При этом умер 1 (0,2%) больной, поступивший спустя более суток от начала заболевания с клиникой перитонита. С перфоративной язвой желудка и двенадцатиперстной кишки – 83 больных, из них 6 (7,2%) позже суток, при этом умерло 6 (7,2%), 4 (66,7%) из которых поступили позже 24 часов от момента начала заболевания. С язвой желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением было госпитализировано 250 пациентов, из них 110 (44,0%) позже суток, при этом умерло 6 (2,4%), из которых 5 (83,3%) пациентов, поступивших позже 24 часов от начала заболевания. С ущемленной грыжей поступило 433 больных, из них 63 (14,5%) после 24 часов, при этом умерло 4 (0,9%) больных, которые поступили позже суток от начала заболевания.

С острым холециститом было доставлено в стационары республики 969 пациентов, из них 278 (28,7%) позже суток, при этом умерло 4 (0,4%) больных, 3 (75,0%) из них поступили спустя более суток от начала заболевания. Острый панкреатит явился причиной госпитализации 933 больных, из них 316 (33,9%) пациентов госпитализированы спустя 24 часа от начала заболевания, при этом умерло 5 (0,5%), все эти больные поступили позже суток от начала заболевания.

Наивысшие показатели послеоперационной летальности у больных по 7 основным экстренным нозологиям в РСО-Алания в 2023 году были при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненной кровотечением – 10,0% (из 10 больных умер 1, госпитализированный спустя более суток от момента заболевания). Далее при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки – 7,2% (из 83 больных умерло 6 пациентов, 4 из которых госпитализированы спустя более суток от появления первых признаков заболевания). При острой неопухоловой кишечной непроходимости – 5,3% (из 133 оперированных больных умерло 7, из которых 6 поступили спустя более суток от момента начала заболевания). При этом при острой спаечной кишечной непроходимости – 9,4% (из 53 оперированных пациентов умерло 5 больных, в 4 случаях имела место поздняя госпитализация). При остром панкреатите – 3,8% (из 104 оперированных пациентов умерло 4, во всех случаях имела место поздняя госпитализация). Существенно более низкими показатели послеоперационной летальности были при ущемленной грыже – 0,9% (из 430 оперированных больных умерло 4, во всех 4 случаях имела место поздняя госпитализация) и при остром холецистите – 0,5% (из 600 оперированных больных умерло 3, при этом все эти пациенты были госпитализированы в поздние сроки). При остром аппендиците летальность составила 0,2% (из 473 оперированных больных умер 1 пациент, который был доставлен спустя сутки от момента начала заболевания с клиникой перитонита).

За анализируемый трехлетний период наблюдается рост госпитализаций экстренных пациентов на 59,9% (с 2334 больных в 2021 году до 3731 - в 2023 году) и рост количества оперативных вмешательств на 86,2% (с 1022 в 2021 году до 1905 в 2023). При этом сохранялся высоким процент поздних госпитализаций (наименьший 35,1% в 2023 году). Рост числа госпитализаций с 2021 года отмечается по всем ургентным нозологиям, кроме язвенных кровотечений, где наблюдалась обратная тенденция. При этом отмечается некоторое снижение показателей общей летальности с 1,6% в 2021 году до 1,1% в 2023 (табл.1).

Таблица 1.

**Показатели общей летальности среди экстренных больных
в РСО-Алания в 2021-2023 гг.**

Диагноз	2021		2022		2023	
	Всего	Умерло, %	Всего	Умерло, %	Всего	Умерло, %
Острая кишечная непроходимость (неопухолевая)	275	8 (2,9%)	498	20 (4,0%)	467	9 (1,9%)
в т.ч. острая спаечная кишечная непроходимость	137	2 (1,5%)	267	1 (0,4%)	370	7 (1,9%)
Острая опухолевая кишечная непроходимость	34	1 (2,9%)	140	11 (7,9%)	124	7 (5,6%)
Острый аппендицит	369	0	380	0	472	1 (0,2%)
Перфоративная язва желудка и двенадцатиперстной кишки	43	3 (7,0%)	49	7 (14,3%)	83	6 (7,2%)
Язва желудка и двенадцатиперстной кишки с кровотечением	318	12 (3,8%)	225	3 (1,3%)	250	6 (2,4%)
Ущемленная грыжа	165	4 (2,4%)	310	6 (1,9%)	433	4 (0,9%)
Острый холецистит	557	4 (0,7%)	795	2 (0,3%)	969	4 (0,4%)
Острый панкреатит	573	6 (1,0%)	841	6 (0,7%)	933	5 (0,6%)
Всего	2334	38 (1,6%)	3238	55 (1,7%)	3731	42 (1,1%)

По 7 основным экстренным хирургическим патологиям изучены базовый и цепной приросты показателя общей летальности (2021 год взят за базовый год для расчета показателей) за анализируемый период времени. Так при острой неопухолевой кишечной непроходимости базовый показатель общей летальности в 2022 году увеличился на 19%, цепной – на 19,6%. В 2023 году базовый показатель вырос на 8,0%, а цепной снизился на 8,0%. При этом при спаечной непроходимости в 2022 году отмечалось снижение базового показателя общей летальности на 1,5%, а цепного – на 1%. В то время как в 2023 году наблюдался рост обоих показателей на 6% и 6,7% соответственно. Увеличение как базового, так и цепного показателей общей летальности наблюдалось при острой опухолевой кишечной непроходимости в 2022 году (на 10% и 10,9%), а в 2023 году при росте базового показателя на 6% отмечалось снижение цепного на 10%. При перфоративной язве в 2022 году так же наблюдалось увеличение этих показателей (на 6% и 6,5%), в 2023 году базовый показатель снизился на 4,8%, а цепной на 6,1%. В 2022 году отмечалось снижение как базового,

так и цепного показателей общей летальности при язвах желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненных кровотечением на 11,7% и 11,0% соответственно, в 2023 году базовый показатель снизился на 11,5%, а цепной вырос на 5,5%. При ущемленной грыже в 2022 году наблюдался рост базового и цепного показателей на 5% и 5,3%, в то время как в 2023 году базовый показатель общей летальности не изменился, а цепной снизился на 5%. При остром холецистите снижение обоих показателей отмечено в 2022 году (на 3,5% и 3%), в 2023 году – базовый не изменился, а цепной снизился на 3,5%. При остром панкреатите в 2022-23 гг. отмечалось снижение базового и цепного показателей (на 6% в 2022 и 5,1% и 5,0% в 2023 соответственно). При этом следует отметить, что по всем основным нозологиям за наблюдаемый период показатели общей летальности были ниже общероссийских, за исключением летальности при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки в 2022 году, когда этот показатель был сопоставим с общероссийским. Необходимо подчеркнуть, что в подавляющем большинстве случаев летальные исходы наблюдались у пациентов пожилого и старческого возраста, с наличием тяжелой сопутствующей патологии, госпитализированных спустя более суток от момента начала заболевания, а также длительно отказывающихся от предлагаемого оперативного вмешательства.

Аналогичным образом были рассчитаны базовый и цепной приросты показателя послеоперационной летальности по основным экстренным патологиям за анализируемый период времени (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели послеоперационной летальности среди экстренных больных в РСО-Алания в 2021-2023 гг.

Диагноз	2021		2022		2023	
	Всего	Умерло, %	Всего	Умерло, %	Всего	Умерло, %
Острая кишечная непроходимость (неопухолевая)	52	4 (7,7%)	127	18 (14,2%)	133	7 (5,3%)
в т.ч. острая спаечная кишечная непроходимость	23	2 (8,7%)	34	1 (2,9%)	53	5 (9,4%)
Острая опухолевая кишечная непроходимость	34	1 (7,7%)	71	6 (8,5%)	74	7 (9,5%)
Острый аппендицит	369	0	379	0	472	1 (0,2%)
Перфоративная язва желудка и двенадцатиперстной кишки	43	3 (7,0%)	49	7 (14,3%)	83	6 (7,2%)

Язва желудка и двенадцатиперстной кишки с кровотечением	23	5 (21,7%)	48	1 (2,1%)	10	1 (10,0%)
Ущемленная грыжа	161	4 (2,5%)	279	6 (2,2%)	430	4 (0,9%)
Острый холецистит	323	4 (1,2%)	456	2 (0,4%)	600	3 (0,5%)
Острый панкреатит	39	4 (10,2%)	97	6 (6,2%)	104	4 (3,8%)
Всего	1022	25 (2,4%)	1506	46 (3,1%)	1905	33 (1,7%)

Так при острой неопухоловой кишечной непроходимости базовый показатель послеоперационной летальности в 2022 году увеличился на 17%, цепной – на 17,7%. В 2023 году базовый показатель вырос на 2,2%, а цепной снизился на 17,6%. При этом при спаечной непроходимости в 2022 году отмечалось снижение базового показателя послеоперационной летальности на 1,5%, а цепного – на 1%. В то время как в 2023 году наблюдался рост обоих показателей на 4% и 4,8% соответственно. Что было связано как с поздней обращаемостью больных, так и со случаями длительных отказов пациентов от предложенной операции. Увеличение как базового, так и цепного показателей послеоперационной летальности наблюдалось при острой опухолевой кишечной непроходимости как в 2022 (на 5% и 5,8%), так и в 2023 году (на 6 и 6,1% соответственно), что было связано в основном с вышеописанными причинами, а также с большим числом больных, имеющих на момент поступления генерализованные формы онкологического процесса. При перфоративной язве в 2022 году так же наблюдалось увеличение этих показателей (на 6% и 6,5%), в 2023 году базовый показатель вырос на 5%, в то время как цепной снизился на 4,8%. В 2022-2023 гг. отмечалось снижение как базового, так и цепного показателей послеоперационной летальности при язвах желудка и двенадцатиперстной кишки, осложненных кровотечением на 4,8% и 4% соответственно, за счет снижения числа открытых операций и более широкого использования эндоскопических и рентгенэндоваскулярных методов остановки кровотечений, в первую очередь в Республиканской клинической больнице скорой медицинской помощи г. Владикавказа, где преимущественно с момента перепрофилирования ее из инфекционного госпиталя в апреле 2022 года и в последующий период концентрировались наиболее тяжелые пациенты со всех районов республики. При ущемленной грыже, так же, как и при остром панкреатите в 2022 году наблюдался рост базового и цепного показателей на 5% и 5,3%, в то время как в 2023 году базовый показатель послеоперационной летальности при данных заболеваниях не изменился, а цепной снизился на 5%. При остром холецистите снижение

обоих показателей отмечено в 2022 году (на 3,5% и 3%), в 2023 – базовый снизился на 3,2%, а цепной вырос на 2,3%.

Практически по всем основным экстренным хирургическим нозологиям показатели послеоперационной летальности за анализируемый период времени были ниже общероссийских.

Заключение

За период с 2021 по 2023 годы отмечался неуклонный рост количества госпитализируемых экстренных хирургических пациентов (на 59,9%), рост количества оперативных вмешательств (на 86,2%), при сохраняющемся высоком проценте поздних госпитализаций (свыше 35%). Преклонный возраст пациентов, наличие тяжелой декомпенсированной сопутствующей патологии, генерализованных форм онкологического процесса, наряду с поздней госпитализацией и отказами больных от предлагаемого вмешательства обуславливают наибольшее число летальных исходов. При этом за наблюдаемый период показатели общей и послеоперационной летальности были ниже общероссийских, за исключением общей летальности при перфоративной язве желудка и двенадцатиперстной кишки в 2022 году, когда этот показатель был сопоставим с общероссийским.

Негативное влияние на результаты лечения экстренных хирургических пациентов оказало перепрофилирование основных республиканских стационаров III уровня в инфекционные госпитали (в 2020-2021 гг.) и перераспределение потоков пациентов в районные больницы I уровня. С целью улучшения результатов лечения urgentных хирургических больных в РСО-Алания необходимо сформировать трехуровневую систему оказания помощи, с созданием укомплектованного штатами и оборудованием межрайонного хирургического центра II уровня, а также разработать четкую систему маршрутизации больных, с целью концентрации наиболее сложных пациентов в хирургических стационарах III уровня в г. Владикавказе.

Список литературы

1. Баулин А.В., Беренштейн М.М., Лугина О.Б., Ивачев А.С. Динамика экстренной абдоминальной хирургической патологии за 28 лет // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2010. № 1(13). С.87-98.
2. Гинюк В.А., Левша Е.С., Маляревич С.П. Современные тенденции, закономерности и структура urgentной хирургической патологии, потребовавшей

- экстренного оперативного вмешательства // Медицинский журнал. 2014. № 1. С. 58-61.
3. Мидленко В.И., Смолькина А.В., Зайцев А.В., Морозов В.С. и др. Эпидемиологическая характеристика экстренной хирургической патологии в Ульяновской области // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15785>
 4. Ревишвили А.Ш., Федоров А.В., Сажин В.П., Оловянный В.Е. Состояние экстренной хирургической помощи в Российской Федерации // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019. №3. С. 88-97. <https://doi.org/10.17116/hirurgia201903188>
 5. Ревишвили А.Ш., Сажин В.П., Оловянный В.Е., Захарова М.А. Современные тенденции в неотложной абдоминальной хирургии в Российской Федерации // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2020. №7. С. 6-11. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20200716>
 6. Aggarwal G., Peden C.J., Quiney N.F. Improving Outcomes in Emergency General Surgery Patients: What Evidence Is Out There? // Anesth Analg. 2017, vol. 125, no. 4, pp. 1403-1405. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002190>
 7. GlobalSurg Collaborative. Mortality of emergency abdominal surgery in high-, middle- and low-income countries // Br J Surg., 2016, vol. 103, no. 8, pp. 971-988. <https://doi.org/10.1002/bjs.10151>
 8. Havens J.M., Neiman P.U., Campbell B.L., Croce M.A., Spain D.A., Napolitano L.M. The Future of Emergency General Surgery // Ann Surg., 2019, vol. 270, no. 2, pp. 221-222. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003183>
 9. Havens J.M., Peetz A.B., Do W.S, et al. The excess morbidity and mortality of emergency general surgery // J Trauma Acute Care Surg., 2015, vol. 78, pp. 306–311. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000517>
 10. Lyu H.G., Najjar P., Havens J.M. Past, present, and future of Emergency General Surgery in the USA // Acute Med Surg., 2018, vol. 5, no. 2, pp. 119-122. <https://doi.org/10.1002/ams2.327>
 11. Stewart B., Khanduri P., McCord C., Ohene-Yeboah M., Uranues S., Vega Rivera F., Mock C. Global disease burden of conditions requiring emergency surgery // Br J Surg., 2014, vol. 101, no. 1, pp. 9-22. <https://doi.org/10.1002/bjs.9329>

References

1. Baulin A.V., Berenshtejn M.M., Lugina O.B., Ivachev A.S. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Medicinskie nauki*, 2010, no. 1, pp. 87-98.
2. Ginyuk V.A., Levsha E.S., Malyarevich S.P. *Medicinskij zhurnal*, 2014, no. 1, pp. 58-61.

3. Midlenko V.I., Smol'kina A.V., Zajcev A.V., Morozov V.S. et al. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2014, no. 6. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15785>
4. Revishvili A.Sh., Fedorov A.V., Sazhin V.P., Olovyannyj V.E. *Hirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, 2019, no. 3, pp. 88-97. <https://doi.org/10.17116/hirurgia201903188>
5. Revishvili A.SH., Sazhin V.P., Olovyannyj V.E., Zaharova M.A. *Hirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*, 2020, no. 7, pp. 6-11. <https://doi.org/10.17116/hirurgia20200716>
6. Aggarwal G., Peden C.J., Quiney N.F. Improving Outcomes in Emergency General Surgery Patients: What Evidence Is Out There? *Anesth Analg.* 2017, vol. 125, no. 4, pp. 1403-1405. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002190>
7. GlobalSurg Collaborative. Mortality of emergency abdominal surgery in high-, middle- and low-income countries. *Br J Surg*, 2016, vol. 103, no. 8, pp. 971-988. <https://doi.org/10.1002/bjs.10151>
8. Havens J.M., Neiman P.U., Campbell B.L., Croce M.A., Spain D.A., Napolitano L.M. The Future of Emergency General Surgery. *Ann Surg.*, 2019, vol. 270, no. 2, pp. 221-222. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000003183>
9. Havens J.M., Peetz A.B., Do W.S, et al. The excess morbidity and mortality of emergency general surgery. *J Trauma Acute Care Surg.*, 2015, vol. 78, pp. 306–311. <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000517>
10. Lyu H.G., Najjar P., Havens J.M. Past, present, and future of Emergency General Surgery in the USA. *Acute Med Surg.*, 2018, vol. 5, no. 2, pp. 119-122. <https://doi.org/10.1002/ams2.327>
11. Stewart B., Khanduri P., McCord C., Ohene-Yeboah M., Uranues S., Vega Rivera F., Mock C. Global disease burden of conditions requiring emergency surgery. *Br J Surg.*, 2014, vol. 101, no. 1, pp. 9-22. <https://doi.org/10.1002/bjs.9329>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Тотиков Заурбек Валерьевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры хирургических болезней №2

*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
z-totikov@mail.ru*

Тотиков Валерий Зелимханович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней №2
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
vz-totikov@mail.ru*

Аликова Зара Рамазановна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой общественного здоровья, здравоохранения и социально-экономических наук
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
alikova_zr@mail.ru*

Тотикова Ирина Таймуразовна, ассистент кафедры общественного здоровья, здравоохранения и социально-экономических наук
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
ilona008@yandex.ru*

Хубецова Рамина Аликовна, аспирант кафедры хирургических болезней №2
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
chubetsova91@mail.ru*

Халлаев Руслан Ахсарбекович, аспирант кафедры хирургических болезней №2
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
ruslan-hallaev@mail.ru*

Казиев Тимур Таймуразович, ассистент кафедры хирургических болезней №2
*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, г. Владикавказ, 362019, Российская Федерация
tmrkzv@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Zaurbek V. Totikov, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Surgery №2

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362019, Russian Federation

z-totikov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4765-9753>

Valeriy Z. Totikov, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Surgery №2

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362019, Russian Federation

vz-totikov@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0179-9742>

Zara R. Alikova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of Public Health, Healthcare and Socio-Economic Sciences

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362019, Russian Federation

alikova_zr@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8186-2424>

Irina T. Totikova, Assistant of the Department of Public Health, Healthcare and Socio-Economic Sciences

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362019, Russian Federation

ilona008@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-4264-667X>

Ramina A. Khubetsova, Postgraduate on the Department of Surgery №2

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, 362019, Russian Federation

chubetsova91@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9006-1641>

Ruslan A. Hallaev, Postgraduate on the Department of Surgery №2

North Ossetian State Medical Academy

*40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania,
362019, Russian Federation*

ruslan-hallaev@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4057-2947>

Timur T. Kaziev, Assistant of the Department of Surgery №2

North Ossetian State Medical Academy

*40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania,
362019, Russian Federation*

tmrkzv@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2986-0156>

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 23.05.2024

Принята 09.06.2024

Received 29.03.2024

Revised 23.05.2024

Accepted 09.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1026

EDN: TAYVZG

УДК 614.2



Научная статья

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНВАЛИДНОСТИ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ ПО ПРИЧИНЕ САХАРНОГО ДИАБЕТА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)

З.Р. Аликова, А.А. Цаликова, Т.Т. Аликова

Аннотация

Обоснование. Рост заболеваемости сахарным диабетом, сопровождающийся развитием осложнений, приводит к росту инвалидизации, к снижению качества жизни и сокращению продолжительности жизни. Актуальным является проведение региональных исследований, позволяющих выявить территориальные тенденции и особенности инвалидности вследствие сахарного диабета.

Цель работы. Проанализировать региональные особенности инвалидности взрослого населения Республики Северная Осетия-Алания по причине сахарного диабета.

Материалы и методы. Проанализированы данные Федерального казенного учреждения «Главное бюро медико-социальной экспертизы по Республике Северная Осетия-Алания» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. (ф. № 7) за период с 2018–2022 гг. и акты освидетельствования впервые признанных инвалидами по сахарному диабету.

Результаты. Выявлены территориальные и возрастные особенности инвалидности по причине сахарного диабета. С 2018 г. по 2022 г. отмечается рост показателя инвалидности на 98,2%. В возрастно-половой структуре преобладают лица трудоспособного возраста и мужчины. Значительная часть инвалидности приходится на III группу инвалидности. Большое влияние на рост инвалидности оказала пандемия коронавирусной инфекции COVID-19, сопровождавшаяся тяжелым течением заболевания и развитием осложнений.

Заключение. С целью снижения показателей инвалидности, необходимо проведение регулярного обследования всех пациентов с сахарным диабетом для улучшения приверженности к лечению и выявления поздних осложнений на обратимых стадиях, которые не приводят к инвалидизации.

Ключевые слова: сахарный диабет; инвалидность; группа инвалидности; взрослое население; показатели

Для цитирования. Аликова З.Р., Цаликова А.А., Аликова Т.Т. Региональные особенности инвалидности взрослого населения по причине сахарного диабета (на примере Республики Северная Осетия-Алания) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 423-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1026

Original article

REGIONAL PECULIARITIES OF DISABILITY OF THE ADULT POPULATION DUE TO DIABETES MELLITUS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA)

Z.R. Alikova, A.A. Tsalikova, T.T. Alikova

Abstract

Background. The increase dincidence of diabetes with the development of complications leads to increased disability, decreased quality of life, and reduced life expectancy. It is important to conduct regional studies to identify regional trends and characteristics of disability due to diabetes.

Purpose. To analyze the regional peculiarities of disability of the adult population of the Republic of North Ossetia-Alania due to diabetes mellitus.

Materials and methods. The data of the Federal state Institution “Main Bureau of Medical and Social Expertise in the Republic of North Ossetia-Alania” of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation are analyzed. (f. No. 7) for the period from 2018-2022 and certificates of examination of those recognized as disabled for diabetes mellitus for the first time.

Results. The territorial and age-related features of disability due to diabetes mellitus have been identified. From 2018 to 2022, there is an increase in the disability rate by 98.2%. The age-sex structure is dominated by people of working age and men. A significant part of the disability falls on the third group. The pandemic of COVID-19 coronavirus infection, accompanied by a severe course of the disease and the development of complications, had a noticeable impact on the growth of disability.

Conclusion. In order to reduce disability rates, it is necessary to conduct regular examinations of all patients with diabetes mellitus to improve adherence to treatment and to identify late complications at reversible stages that do not lead to disability.

Keywords: diabetes mellitus; disability; disability group; adult population; indicators

For citation. Alikova Z.R., Tsalikova A.A., Alikova T.T. Regional Peculiarities of Disability of the Adult Population due to Diabetes Mellitus (on the Example of the Republic of North Ossetia-Alania). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 423-434. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1026

Введение

Сахарный диабет – одно из самых распространенных хронических заболеваний в мире [1]. Диабет характеризуется не только высокой распространенностью, но и тяжестью течения и развитием осложнений [15]. Заболевание приводит к развитию осложнений при декомпенсации углеводного обмена (вследствие отсутствия приверженности к лечению и соблюдению всех рекомендаций врача) [3; 6]. В последние годы все чаще проводятся комплексные исследования структуры формирования инвалидности вследствие сахарного диабета. Это связано с медицинской и социальной значимостью сахарного диабета и его осложнений, приводящих к инвалидности [14]. В 70-80% случаев диабет приводит к развитию микро- и макроангиопатий (ИБС, цереброваскулярные заболевания, диабетическая ретинопатия, которая может привести к слепоте, диабетическая нефропатия, а также синдром диабетической стопы [5; 8; 9]. Для установления одной из групп инвалидности необходимо сочетание взаимосвязанных последствий заболевания [2; 7]. Стойкое ограничение одной или нескольких категорий жизнедеятельности вследствие функциональных нарушений или социальной несостоятельности, приводящее к необходимости социальной помощи и защиты, является основной инвалидности [10-13]. Поскольку диабет и связанные с ним проблемы инвалидности тесно связаны между собой, важно проводить региональные исследования для выявления тенденций и особенностей этого заболевания на конкретной территории.

Цель исследования

Проанализировать и выявить региональные особенности инвалидности взрослого населения Республики Северная Осетия-Алания (РСО-Алания) вследствие сахарного диабета.

Материалы и методы

В ходе исследования были изучены данные Проанализированы данные Федерального казенного учреждения «Главное бюро медико-социальной

экспертизы по Республике Северная Осетия-Алания» Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации. (ф. № 7) за 2018–2022 гг., а также акты освидетельствования впервые признанных инвалидами вследствие сахарного диабета, использованы данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РСО-Алания. Рассчитан интенсивный показатель первичной инвалидности на 10 тыс. взрослого населения. Проанализирована структура инвалидности с учетом возраста и группы инвалидности за пятилетний период.

Результаты

Число лиц, впервые признанных инвалидами (ВПИ) по всем классам заболеваний, среди взрослого населения РСО-Алания в 2022 г. уменьшилось с 2974 человек в 2018 г. и составило 2516 человек. В распределении ВПИ по полу с небольшой разницей преобладают мужчины, что соответствует показателям по РФ.

Уровень первичной инвалидности по РСО-Алания, в целом и по причине болезней эндокринной системы, в 2022 г. (1,6 на 10 тыс. населения) был выше уровня по Российской Федерации (1,0 на 10 тыс. населения) и выше по сравнению с показателями по Северо-Кавказскому федеральному округу (СКФО) (1,3 на 10. тыс. населения).

Анализ показателей инвалидности за 5 лет по причине сахарного диабета в РСО-Алания выявил некоторые территориальные и возрастные особенности. С 2018 по 2022 г. в РСО-Алания отмечается рост показателя инвалидности на 98,2%. Вместе с тем отмечается снижение числа впервые признанных инвалидами на 9,4%, при нулевом приросте показателя за 5 лет (табл. 1).

Таблица 1.

Инвалидность взрослого населения по причине сахарного диабета в РСО-Алания за 2018- 2022 гг. (абс., на 10 тыс. населения)

Год	Всего		Из них впервые	
	Абс	Пок	Абс	Пок
2018	299	5,6	82	1,5
2019	322	6,0	104	1,9
2020	371	7,0	83	1,6
2021	554	10,5	101	1,9
2022	586	11,1	77	1,5
Прирост к 2018 г., %	95,9	98,2	-9,4	0

Обращает внимание нестабильная динамика показателя первичной инвалидности за изучаемый период. Так наиболее высокий показатель на 10 тысяч населения зарегистрирован в 2019 и 2021 г. – 1,9, самый низкий - в 2018 и 2022 гг. – 1,5. В 2022 г. отмечается снижение показателя на 26% по сравнению с 2021 г. и на 6% по сравнению с 2020 г. (табл.1). Рост показателей впервые признанных инвалидами с 2019 по 2021г. может быть связан с пандемией новой коронавирусной инфекцией COVID-19. Пациенты с сахарным диабетом оказались в группе риска по тяжелому течению коронавирусной инфекции и развитию осложнений, которые могли привести к инвалидизации.

При сравнительном анализе показателей инвалидности в годы пандемии 2020-2022 гг. по причине болезней эндокринной системы в восьми сельских муниципальных районах республики выявлено, что в 2020 г. зарегистрированы показатели, превышающие среднереспубликанские в Алагирском (2,3), Дигорском (2,4), Кировском (1,9), Правобережном (1,7) районах, а также в г. Владикавказе (1,8) (РСО-Алания – 1,7). Данная патология занимает пятое место в Дигорском и Пригородном районах среди инвалидности населения по всем классам заболеваний. В 2022 г. отмечается рост инвалидности по причине болезней эндокринной системы в двух сельских районах республики: Моздокском (2,1) и Правобережном (2,6). Данный показатель вырос в 2022 г. и в г. Владикавказе (1,9) (РСО-Алания – 1,5). Болезни эндокринной системы в Правобережном районе занимают в 2022 г. пятое место среди показателей инвалидности по всем классам болезней. В динамике за 2021-2022 гг. в РСО-Алания отмечается незначительное снижение показателя инвалидности по эндокринным заболеваниям. По сельским районам снижение выявлено везде, кроме Моздокского и Правобережного.

При распределении по половому признаку показателей инвалидности по причине сахарного диабета большая часть (106,4) приходится на мужской пол, среди женщин показатель составил 95,8 на 10 тыс. населения. Среди впервые признанных инвалидами по причине сахарного диабета все годы также преобладают мужчины (табл. 2).

При сравнительном анализе инвалидности по сахарному диабету в трудоспособном и пенсионном возрасте в 2020 г. выявлено, что значительная часть (63,9%) приходится на трудоспособный возраст. В 2022 г. число людей с инвалидностью в трудоспособном возрасте было на 11% ниже, чем в 2020 г., однако, эта возрастная категория составляла наибольшую долю в возрастной структуре инвалидности населения по причине сахарного

диабета. Трудоспособный возраст составил 57,1%, лица пенсионного возраста составили - 42,9%.

Таблица 2.

Распределение инвалидности по причине сахарного диабета в РСО-Алания по полу за 2018-2022 гг. (абс., на 10 тыс. населения)

Годы	Мужчины				Женщины			
	Всего		Из них впервые		Всего		Из них впервые	
	Абс.	Пок.	Абс.	Пок.	Абс.	Пок.	Абс.	Пок.
2018	169	3,1	48	0,9	130	2,4	34	0,6
2019	194	3,6	70	1,9	128	2,4	34	0,6
2020	217	4,1	45	0,8	154	2,9	38	0,7
2021	330	6,2	54	1,0	224	4,2	47	0,9
2022	338	6,4	45	0,9	248	4,7	32	0,6
Прирост к 2018 г., %	100,0	106,4	- 6,6	0,0	90,8	95,8	-5,8	0,0

При анализе степени тяжести первичной инвалидности за 2018-2022 гг. для I группы инвалидности в 2022 г. выявлено снижение удельного веса в структуре инвалидности по сравнению с предыдущими годами, как в целом по болезням эндокринной системы, так и по сахарному диабету. Доля I группы в структуре инвалидности по болезням эндокринной системы и сахарному диабету составила в 2022 г. 9,3% и 9,1% соответственно (табл. 3).

Таблица 3.

Структура инвалидности взрослого населения по болезням эндокринной системы и сахарному диабету по группам инвалидности в РСО-Алания за 2018-2022 гг. (%)

годы	2018			2019			2020			2021			2022		
группы	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Болезни эндокринной системы	11,5	16,8	71,7	12,6	16,2	71,2	8,8	19,8	71,4	10,5	21,9	67,6	9,3	15,1	75,6
В т.ч. сахарный диабет	12,4	16,8	70,8	13,5	16,3	70,2	9,6	19,3	71,1	11,9	19,8	68,3	9,1	15,6	75,3

Характерно, что за исследуемый период удельный вес II группы инвалидности в структуре первичной инвалидности населения РСО-Алания по причине эндокринных заболеваний, в том числе сахарного диабета, имел стабильную тенденцию к росту с 16,8% в 2018 г. и достиг максимального значения 19,8% в 2021 г. (табл.3). Однако в 2022 г. удельный вес II группы

инвалидности в структуре первичной инвалидности по причине эндокринных заболеваний и сахарного диабета снизился до 15,1% и 15,6%, соответственно, что не повлияло на тенденцию к его росту (табл. 3).

При анализе показателей первичной инвалидности взрослого населения вследствие сахарного диабета за 2018-2022 гг. выявлена стабильная тенденция снижения показателя I группы инвалидности, составившей в 2022 г. 0,1 на 10 тыс. населения. Темп снижения составил 66,7% (табл. 4).

Таблица 4.

Показатели первичной инвалидности взрослого населения вследствие сахарного диабета по группам инвалидности в РСО-Алания за 2018-2022 гг. (абс., на 10 тыс. населения)

Годы	I группа		II группа		III группа	
	Абс.	Пок	Абс.	Пок	Абс.	Пок
2018	14	0,3	9	0,2	57	1,1
2019	14	0,3	17	0,3	73	1,4
2020	8	0,2	16	0,3	59	1,1
2021	12	0,2	20	0,4	69	1,3
2022	7	0,1	12	0,2	58	1,1

Показатель II группы первичной инвалидности вследствие сахарного диабета населения РСО-Алания при относительно стабильной динамике за изучаемый период вырос в 2021г. на 50,0% и составил 0,4 на 10 тыс. населения. Наиболее значительный рост показателя до 0,4 произошел в 2021 г. Данная группа инвалидности превалирует над I группой (табл. 4).

Наибольший показатель первичной инвалидности взрослого населения РСО-Алания по причине сахарного диабета представлен III группой инвалидности, составившей в 2022 г. 1,1 на 10 тыс. населения. Отмечается относительная стабильность показателя с ростом в 2019 и 2021 гг. до 1,4 и 1,3 на 10 тыс. населения, соответственно (табл. 4).

Проведен анализ показателей впервые признанных инвалидами в зависимости от типов сахарного диабета с 2018 по 2022 гг. Отмечается стабильность показателей впервые признанных инвалидами пациентов с сахарным диабетом 1 типа с незначительным снижением в 2022 г. до 0,18 и увеличением в 2019 г. до 0,3 на 10 тыс. населения (табл. 5).

Среди пациентов с сахарным диабетом 2 типа наименьший показатель (0,9 на 10 тыс. населения) зарегистрирован в 2020 и 2022 гг. Наибольший показатель отмечается в 2021 г. (на 23,0% выше, чем в 2022 г., и на 26,0%

выше, чем в 2020 г.). Инвалидность по причине сахарного диабета 2 типа значительно превалирует над инвалидностью по сахарному диабету 1 типа (табл. 5).

Таблица 5.

Распределение впервые признанных инвалидами по типам диабета в РСО-Алания за 2018-2022гг. (абс., на 10 тыс.населения)

	СД 1 типа		СД 2 типа	
	Абс.	Пок.	Абс	Пок.
2018	16	0,2	66	1,0
2019	24	0,3	80	1,1
2020	21	0,3	62	0,9
2021	17	0,2	84	1,2
2022	13	0,18	64	0,9

Заключение

При анализе актов освидетельствования лиц, признанных инвалидами по сахарному диабету, выявлен рост показателя инвалидности среди взрослого населения по РСО-Алания. В возрастно-половой структуре преобладают лица трудоспособного возраста и мужчины. При распределении по группам инвалидности значительную часть составляют инвалиды III группы. Учитывая актуальность проблемы, связанной с сахарным диабетом, особое значение приобретает принятие и совершенствование региональных программ медицинской профилактики и реабилитации лиц с сахарным диабетом. Необходима постоянная работа врачей с пациентами для улучшения приверженности к лечению. Особое внимание следует уделить регулярному обследованию всех пациентов с сахарным диабетом для выявления поздних осложнений на обратимых стадиях, которые не приводят к инвалидизации.

Список литературы

1. Анализ заболеваемости диабетом в различных странах мира. URL: <https://medvestnik.ru/content/medarticles/Opublikovan-analiz-zabolevaemosti-diabetom-v-razlichnyh-stranah-mira.html> (дата обращения: 03.04.2024)
2. Василенко О.Ю. Основные принципы оценки ограничений жизнедеятельности при эндокринных заболеваниях // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2009. №2. С. 6–13.
3. Дедов И.И., Шестакова М.В., Викулова О.К. и др. Сахарный диабет в Российской Федерации: динамика эпидемиологических показателей по

- данным Федерального регистра сахарного диабета за период 2010-2022 гг. // Сахарный диабет. 2023. №26. С.104-123. <https://doi.org/10.14341/DM13035>
4. Дедов И.И., Шестакова М.В., Майоров А.Ю. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом // Сахарный диабет. 2023. №26. С. 185-231. <https://doi.org/10.14341/DM13042>
 5. Заболотных И. И. Клинико-экспертная диагностика патологии внутренних органов. СПб.: СпецЛит, 2008. С. 207.
 6. Шарофова М.У., Сагдиева Ш.С., Юсуфи С.Д. Сахарный диабет: современное состояние вопроса (часть 1). // Вестник Авиценны. 2019. №21. С. 502-512. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-3-502-512>
 7. Каширина Е.Ж., Брызгалина С.М., Жилина Н.М. Инвалидность вследствие сахарного диабета и медико-социальная реабилитация // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9094> (дата обращения: 29.03.2024).
 8. Львова Н.Л. Медико-социальные критерии для определения инвалидности пациентам с сахарным диабетом 2-го типа с позиций международной классификации функционирования, ограничений жизнедеятельности и здоровья // Физическая и реабилитационная медицина. 2019. Т. 1. № 4. С. 31-39. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2019-1-4-31-39>
 9. Панков В. Е. Инвалидность вследствие сахарного диабета у лиц молодого возраста // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2007. № 3. С. 49-51.
 10. Пузин С. Н. Медико-социальная экспертиза. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2008. С. 408.
 11. Скоробогатова Е. С. Диабетическая ретинопатия - причина слепоты и инвалидности // Сахарный диабет. 2003. № 2. С. 34-36.
 12. Чикинова Л.Н., Бегма И.В., Запарий Н.С., Болтенко Ж.В. Комплексное исследование инвалидности вследствие сахарного диабета в Российской Федерации // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2018. №21. С. 55–59. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2018-21-1-55-59>
 13. Шестакова М. В. Диабетическая нефропатия: состояние проблемы в мире и в России // Сахарный диабет. 2001. № 3. С. 2-4.
 14. Zimmet P., Alberti K., Magliano D. et al. Diabetes mellitus statistics on prevalence and mortality: facts and fallacies // Nat Rev Endocrinol. 2016. Vol. 12. P. 616–622. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.105>
 15. Diabetes mellitus. URL: <https://medic-journal.com/endocrine-diseases/diabetes-mellitus/> (accessed 03.04.2024)

References

1. Analysis of the incidence of diabetes in various countries of the world. <https://medvestnik.ru/content/medarticles/Opublikovan-analiz-zabolevaemosti-dia-betom-v-razlichnyh-stranah-mira.html> (accessed 04.03.2024)
2. Vasilenko O.Y. *Mediko-social'naja jekspertiza i reabilitacija*, 2009, no. 2, pp. 6-13.
3. Dedov I.I., Shestakova M.V., Vikulova O.K., et al. *Saharnyj diabet*, 2023, no. 26, pp. 104-123. <https://doi.org/10.14341/DM13035>
4. Dedov I.I., Shestakova M.V., Mayorov A. Yu. *Saharnyj diabet*, 2023, no. 26, pp. 185-231. <https://doi.org/10.14341/DM13042>
5. Zabolotnykh I. I. *Clinico-expert diagnostics of pathology of internal organs*. SPb.: SpetsLit, 2008, p. 207.
6. Sharofova M.U., Sagdieva S.H., Yusufi S.D. *Vestnik Avicenny*, 2019, no. 21, pp. 502-512. <https://doi.org/10.25005/2074-0581-2019-21-3-502-512>
7. Kashirina E.Zh., Bryzgalina S.M., Zhilina N.M. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9094> (accessed 03.29.2024).
8. Lvova N.L. *Fizicheskaja i reabilitacionnaja medicina*, 2019, vol. 1, no. 4, pp. 31-39. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2019-1-4-31-39>
9. Pankov V. E. *Mediko-social'naja jekspertiza i reabilitacija*, 2007, no. 3, pp. 49-51.
10. Puzin S. N. *Medico-social expertise*. Moscow: Medical Information Agency, 2008, p. 408.
11. Skorobogatova E. S. *Saharnyj diabet*, 2003, no. 2, pp. 34-36.
12. Chikinova L.N., Begma I.V., Zapariy N.S., Boltenko J.V. *Mediko-social'naja jekspertiza i reabilitacija*, 2018, no. 21, pp. 55-59. <https://doi.org/10.18821/1560-9537-2018-21-1-55-59>
13. Shestakova M. V. Diabetic nephropathy: the state of the problem in the world and in Russia. *Saharnyj diabet*, 2001, no. 3, pp. 2-4.
14. Zimmet P., Alberti K., Magliano D. et al. Diabetes mellitus statistics on prevalence and mortality: facts and fallacies. *Nat Rev Endocrinol.*, 2016, vol. 12, pp. 616–622. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.105>
15. Diabetes mellitus. <https://medic-journal.com/endocrine-diseases/diabetes-mellitus/> (accessed 03.04.2024)

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Аликова Зара Рамазановна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой общественного здоровья, здравоохранения и социально-экономических наук

*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, город Владикавказ, 362019, Российская Федерация
alikova_zr@mail.ru*

Цаликова Ася Александровна, аспирант кафедры общественного здоровья, здравоохранения и социально-экономических наук

*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, город Владикавказ, 362019, Российская Федерация
atsalikova@yandex.ru*

Аликова Тамара Таймуразовна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры офтальмологии

*Северо-Осетинская государственная медицинская академия
ул. Пушкинская, 40, город Владикавказ, 362019, Российская Федерация
alikova_tamara@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Zara R. Alikova, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of Public Health, Healthcare and Socio-Economic Sciences

*North Ossetian State Medical Academy
40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, 362019, Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation
alikova_zr@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8186-2424>*

Asya A. Tsalikova, Graduate student of the Department of Public Health, Healthcare and Socio-Economic Sciences

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, 362019, Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation

atsalikova@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9430-9265>

Tamara T. Alikova, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Ophthalmology

North Ossetian State Medical Academy

40, Pushkinskaya Str., Vladikavkaz, 362019, Republic of North Ossetia-Alania, Russian Federation

alikova_tamara@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-3410-9800>

Поступила 15.04.2024

После рецензирования 03.06.2024

Принята 10.06.2024

Received 15.04.2024

Revised 03.06.2024

Accepted 10.06.2024

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

EDN: UUVZTP

УДК 619:617-089



Научная статья

СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ТРАНСКРАНИАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОВВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕПАРАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

*Д.В. Дашко, М.А. Урядников***Аннотация**

Электростимуляция с анальгетическими параметрами тока рассматривается как перспективный метод в разработке эффективных и неинвазивных методов обезболивания и терапии, благодаря легкоуправляемому и быстрому получению обезболивания, отсутствию побочных явлений, токсических и аллергических осложнений.

Цель. Изучение влияния транскраниальной электрической стимуляции антиноцицептивной системы мозга на процесс заживления кожных ран у лабораторных животных.

Материалы и методы. Объект исследования – нелинейные белые лабораторные крысы-самцы в количестве 80 гол. В первой опытной группе использовали режим транскраниальной электростимуляции в виде сочетания постоянного и переменного токов анальгетических параметров. Во второй и третьей опытных группах использовали то же сочетание, но с другими частотами импульса -50 и 90 Гц (частоты «неанальгетического раздражения»). Сеансы проводили один раз в день по 30 минут в течение трех дней после нанесения кожных ран. Дополнительно, проведены опыты с двумя режимами воздействия: в течение трех дней до нанесения раны и трех дней после операции («профилактическое» и «лечебное» действие): применялся как анальгетический, так и неанальгетический режимы электровоздействия.

Результаты. Под влиянием транскраниальной электростимуляции с анальгетическими параметрами тока (частота 70 Гц) наблюдается достоверное ускорение (на 21 %) процесса заживления и сокращение среднего срока полного заживления ран. Транскраниальные воздействия с «неанальгетическими частотами раздражения» (50 и 90 Гц) не вызывали каких-либо изменений скорости заживления, от контроля. Наибольшее ускорение заживления ран под влиянием лечебных процедур достоверно проявляется на 4-7 сутки после их нанесения, а в контрольной группе на 10-11 сутки. В «профилактической» группе изменение размеров ран значительно опережало таковое у крыс с «лечебным» воздействием: на 4-е сутки разница в площади ран между опытными группами и контролем статистически достоверна и составляет 12 %, в то время, как «лечебное» воздействие к 8-м суткам достигает аналогичного результата.

Заключение. Получена информация о влиянии электрического тока на электрическую активность мозга, поведенческие реакции и репаративные процессы.

Ключевые слова: электроанальгезия; электровоздействие; электростимуляция; рана; заживление; антиноцицепция; крыса

Для цитирования. Дашко Д.В., Урядников М.А. Стимулирующее влияние транскраниального электровоздействия на репаративные процессы в эксперименте // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 435-454. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

Original article

STIMULATING EFFECT OF TRANSCRANIAL ELECTRICAL EXPOSURE ON REPARATIVE PROCESSES IN AN EXPERIMENT

D.V. Dashko, M.A. Uryadnikov

Abstract

Electrical stimulation with analgesic current parameters is considered a promising method for developing effective and non-invasive pain relief and therapy methods due to its easily controllable and rapid pain relief, and the absence of side effects, toxic, and allergic complications.

Purpose: to study the effect of transcranial electrical stimulation of the brain's antinociceptive system on the healing process of skin wounds in laboratory animals.

Materials and methods. The study involved 80 male non-linear white laboratory rats. The first experimental group used a mode of transcranial electrical stimulation combining direct and alternating currents with analgesic parameters. The second and third experimental groups used the same combination but with different pulse frequencies, i.e. 50 and 90 Hz (“non-analgesic irritation” frequencies). Sessions were conducted once a day for 30 minutes for three days after skin wounds were inflicted. Additionally, experiments were conducted with two modes of exposure: for three days before the wound infliction and three days after the operation (i.e. “preventive” and “therapeutic” effects), using both analgesic and non-analgesic modes of electrical exposure.

Results. Under the influence of transcranial electrical stimulation with analgesic current parameters (70 Hz frequency), a significant acceleration by 21% of the healing process and a reduction in the average time for complete wound healing were observed. Transcranial exposures with “non-analgesic irritation frequencies” (50 and 90 Hz) did not cause any changes in the healing rate compared to the control. The greatest acceleration of wound healing under the influence of therapeutic procedures was significantly manifested on the 4th – 7th day after their infliction, while in the control group, it was on the 10th – 11th day. In the “preventive” group, the change in wound size significantly outpaced that of rats with “therapeutic” exposure: on the 4th day, the difference in wound area between the experimental groups and the control was statistically significant and amounted to 12%, while the “therapeutic” exposure reached a similar result by the 8th day.

Conclusion. Information was obtained on the effect of electric current on brain electrical activity, behavioral reactions, and reparative processes.

Keywords: electroanalgesia; electrical exposure; electrical stimulation; wound; healing; antinociception; rat

For citation. Dashko D.V., Uryadnikov M.A. Stimulating Effect of Transcranial Electrical Exposure on Reparative Processes in an Experiment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 435-454. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1060

Введение

В современной медицинской и ветеринарной практике существует проблема поиска инновационных и альтернативных методов обезболивания, выходящих за рамки традиционных подходов, которая остается в центре внимания исследователей [1; 2; 22; 29]. Более века ученые во всем мире неустанно проводят эксперименты и клинические исследования в области

электрообезболивания (электростимуляции), чтобы выявить оптимальные режимы и оценить эффективность этого метода [3; 27].

Транскраниальное электрообезболивание (электростимуляция) представляет собою электрическое воздействие на головной мозг, через наружные покровы черепа, оказывая стимулирующее влияние на кору и подкорковые структуры головного мозга, реализует свои анальгетические эффекты, в т.ч. и на периферии с последующей активацией защитно-адаптационных механизмов живого организма [4; 23-25].

Немедикаментозные методы обезболивания и стимуляции все шире применяются в клинической практике, и интерес к их изучению в последнее время растет. Наряду с различными видами терапии, в т.ч и рефлексотерапии определенное место среди них отводится электроанальгезии, возникающей при действии тока на головной мозг через покровы черепа (транскраниальная электроанальгезия) [6]. Метод привлекает своей технической простотой и возможной перспективой достижения не только электроанальгезии, но и электростимуляции органно-тканевых структур организма [5; 7; 26].

Необходимо учесть, что порой задачи физиологических экспериментов, выполняемых в форме острых опытов, требуют исключения воздействия фармакологических препаратов, так или иначе влияющих на исследуемые органы или системы их управления [8-10]. Поэтому, весьма важно, чтобы длительность обезболивания соответствовала периоду препаровки, и действие обезболивания полностью прекращалось в период наблюдения, т.е. продолжительность воздействия должна произвольно управляться экспериментатором, а само воздействие должно прекращаться без последствий. Этим требованиям может удовлетворять электрообезболивание, как метод неинвазивного воздействия на организм [6; 28].

В недавних исследованиях было обнаружено, что морфиноподобные пептиды активизируют процессы регенерации в различных тканях и структурах организма, способствуя их более быстрому восстановлению [11]. Гипотеза заключается в том, что морфиноподобные пептиды, которые высвобождаются при активации антиноцицептивных механизмов в результате повреждений, выполняют важную функцию в поддержании структурного гомеостаза организма. Это означает, что опиоидные пептиды помогают организму восстановить и поддерживать нормальное состояние тканей и органов после повреждений, т.е. представлять собой некую патогенетическую составляющую [11; 12; 30]. Гомеостатическая направленность действия транскраниальной электростимуляции (ТЭС) проявляется

в полной мере при нарушениях регуляции функций систем и органов, не изменяя нормально текущие процессы. Из этого следует, что возможная эффективность лечебных воздействий ТЭС в определенной степени ограничена пределами гомеостатических возможностей организма.

Известно, что активация антиноцицептивных структур мозга вызывает анальгетический эффект, обусловленный высвобождением в организме опиоидных пептидов [11]. Неинвазивное транскраниальное электрическое воздействие (транскраниальная электрическая стимуляция) является одним из методов стимуляции опиоидных структур антиноцицептивной системы организма. Главный реализуемый принцип, при проведении транскраниального электровоздействия, соблюдение основного свойства данного метода: соответствие частотно-временных характеристик электрических импульсов квазирезонансным свойствам антиноцицептивной системы.

Было установлено, что в формировании анальгетического эффекта ТЭС участвует опиоидный нейрохимический механизм. Экспериментально-клиническими исследованиями было отмечено, что во время и после ТЭС усиливалось выделение опиоидного пептида - β -эндорфина в мозге и увеличивалась концентрация этого пептида в спинномозговой жидкости и крови [13]. При этом, наиболее интенсивное выделение β -эндорфина происходило при стимуляции частотой, оптимальной для анальгетического эффекта. В формировании анальгетического эффекта активно участвуют серотониновые механизмы антиноцицептивной системы (АНС), связанные, вероятно, с опиоидными последовательно. Все эти факты соответствуют общепринятым критериям, которые принимаются как доказательства участия опиоидных пептидов в эффектах стимуляции АНС.

Исследования в этой области продолжаются, и электростимуляция с анальгетическими параметрами тока рассматривается как перспективный метод в разработке эффективных и неинвазивных методов обезбоживания и терапии, благодаря легкому и быстрому получению обезбоживания, отсутствию побочных явлений, токсических и аллергических осложнений. В дополнение к приведенной выше информации, важно отметить следующее, что электрообезболивание является полезным дополнением к традиционным методам обезбоживания, медикаментозной терапии и физиотерапии при лечении различных патологий у животных [14-16].

Цель

Изучить влияние транскраниальной электростимуляции на скорость заживления кожных ран у лабораторных животных.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе Иркутского ГАУ в 2023 году. Объектом исследования служили нелинейные белые лабораторные крысы-самцы в количестве 80 голов, живой массой 240 ± 25 гр. Всех животных разделили на четыре группы (одну контрольную и три опытные) по 15 голов в каждой. В контрольной группе у подопытных животных не применяли никаких способов терапии. В первой опытной (1-я опытная) группе использовали режим транскраниальной электростимуляции в виде сочетания постоянного и переменного токов анальгетических параметров: постоянный ток силой 0,8 мА и прямоугольный импульсный ток силой 0,4 мА, с частотой 70 Гц и длительностью импульса 3-3,5 мс [11]. Во второй (2-я опытная) и третьей (3-я опытная) опытных группах использовали то же сочетание постоянного и переменного токов, только менялась частота импульса на 50 Гц и 90 Гц (частоты «неанальгетического раздражения»), соответственно. Сеансы транскраниального электровоздействия (ТЭВ) в опытных группах проводили один раз в день по 30 минут в течение трех дней после нанесения кожных ран («лечебное воздействие»).

В ходе экспериментальной процедуры подопытные животные были зафиксированы в специальных станках, которые обеспечивали их естественное положение, чтобы избежать дискомфорта. Использовался генератор импульсов, который генерировал контролируемые параметры тока и был стабилизирован по напряжению. Генератор импульсов был настроен на подачу тока определенных параметров, включая силу тока, частоту импульсов и длительность импульсов обозначенных выше. Ток подавался через тонкие игольчатые электроды, имплантированные под кожу в определенных областях головы животных, после предварительного выстригания шерсти. Подкожно вводились электроды - в лобную область и позади ушных раковин.

С целью выяснения возможности использования транскраниальной электростимуляции для подготовки животных к операции были проведены опыты с двумя режимами воздействия: в течение трех дней до нанесения раны и трех дней после операции («профилактическое» и «лечебное» действие). Были созданы четыре группы (1-я и 2-я лечебная; 1-я и 2-я профилактическая) по 5 крыс в каждой. В обоих случаях применялся как анальгетический (1-я лечебная и 1-я профилактическая группы), так и неанальгетический (2-я лечебная и 2-я профилактическая группы) режимы электровоздействия по выше описанной методике.

Для создания модели кожной раны у крыс под общей неингаляционной анестезией («Золетил 100» - 0,4 мг/кг, интрамускулярно) удаляли кож-

ный лоскут в области спины диаметром 15 ± 2 мм, с соблюдением правил асептики [21]. В дальнейшем, животных содержали раздельно, для предотвращения от взаимного вылизывания раневой поверхности.

Динамику заживления кожных ран проводили с помощью метода планиметрии и оценивали средние сроки полного заживления с последующей математической обработкой, по общепринятой в биологии методике.

Одновременно, помимо описанных выше методик, проводили поведенческие наблюдения за животными в течение эксперимента, для выявления любых видимых изменений в их двигательной активности, реакции на стимулы и общем состоянии.

Результаты и обсуждение

Изучение влияния транскраниальной электростимуляции на заживление ран проводилось на крысах с использованием различных параметров тока - анальгетических и неанальгетических. Результаты исследования показали, что использование анальгетических параметров тока с частотой 70 Гц приводит к ускорению процесса заживления ран на 21 %, в сравнении, с контролем. Наоборот, воздействие с неанальгетическими частотами (50 и 90 Гц) не оказывало никакого значимого влияния на скорость заживления ран на протяжении всего срока эксперимента (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние транскраниального электрического воздействия с различными параметрами тока на средний срок полного заживления ран

Номер группы	Условия эксперимента			Срок полного заживления, дни	Процент к контролю
	частота, Гц	сила постоянного тока, мА	сила импульсного тока, мА		
контрольная	-	-	-	$21,3 \pm 0,61$	100,0
1-я опытная	70	0,8	0,4	$16,8 \pm 0,26$	79,8*
2-я опытная	50	0,8	0,4	$21,8 \pm 0,52$	102,2
3-я опытная	90	0,8	0,4	$21,4 \pm 0,54$	100,0

*Достоверность результата ($P < 0.05$).

Характер ран у животных, которые подверглись электростимуляции с частотой 70 Гц, имели значительное отличие от животных контрольной группы: струп тонкий, просвечивает розовая поверхность раны, нежный. В свою очередь, одновременно с раневой контракцией, отмечается ускорение процесса эпителизации раневого дефекта и, как следствие, раньше происходит отторжение первичного струпа.

Наибольшее ускорение заживления кожных ран у крыс отмечается на 4-7 сутки после проведения лечебно-стимулирующих процедур (частота 70 Гц). У животных контрольной группы рост темпа заживления наблюдается спустя более длительное время, на 10-11 сутки. В то же время, раны у животных, получавших электровоздействие с «неоптимальными» частотами (50 и 90 Гц), носили аналогичные характерные особенности в заживлении ран у крыс контрольной группы - грубый и плотноспаенный с раневым дефектом струп, позднее его отторжение и, как следствие, замедленный процесс эпителизации. Получается, что в группах опытов, где использовали частоты прямоугольных импульсов 50 и 90 Гц (частоты «раздражения»), которые не являются оптимальными для получения анальгетического эффекта, эффективность заживления ран была ниже, чем при параметрах тока достигающих анальгетических показателей (рис. 1).

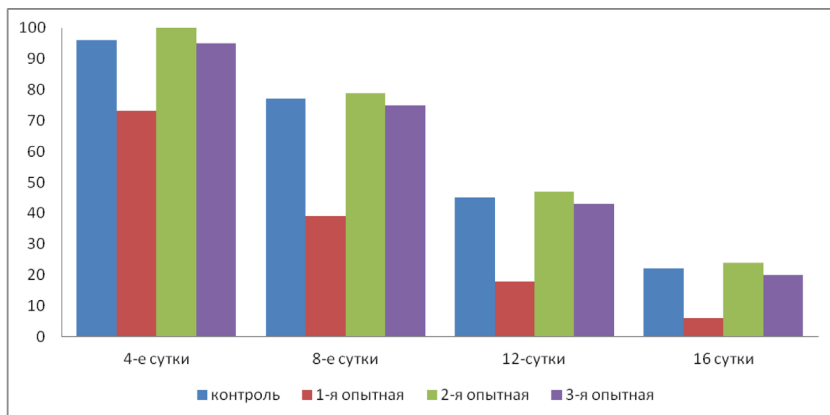


Рис. 1. Влияние транскраниального электрического воздействия при различных частотах на скорость заживления кожных ран, процентов/сутки

Весьма характерным было и поведение животных во время проведения процедуры. При применении к крысам электростимуляции с анальгетическими параметрами тока (способной подавлять болевые ощущения), наблюдается ряд характерных изменений в их поведении. Животные успокаиваются, прекращая спонтанную вокализацию (писки). Они становятся малоподвижными, проявляя минимальную активность. Во многих случаях крысы впадают в состояние, напоминающее сон («сноподобное» состояние), характеризующееся снижением двигательной активности и реакций на внешние раздражители.

При прекращении подачи тока на электроды крысы сразу же возвращаются к исходному состоянию. Они становятся активными и подвижными, пытаются освободиться от фиксирующего устройства, в которое они помещены для проведения эксперимента. Это свидетельствует о том, что эффект электростимуляции обратим и не приводит к длительным изменениям в поведении животных [13].

Электростимуляция с анальгетическими параметрами тока, способная подавлять болевые ощущения, широко используется в исследованиях нейробиологии боли и разработке новых методов обезболивания [17-19; 24]. Механизм действия такой электростимуляции связан с активацией нейронов, которые высвобождают эндогенные обезболивающие вещества, такие как эндорфины и энкефалины. Эти вещества взаимодействуют с опиоидными рецепторами в центральной нервной системе, что приводит к подавлению болевых сигналов и уменьшению болевых ощущений [7; 20; 30].

Кроме того, электростимуляция с анальгетическими параметрами тока может влиять на различные физиологические процессы, связанные с болью и стрессом, включая снижение частоты сердечных сокращений, артериального давления и уровня кортизола (гормона стресса). Эти эффекты могут усиливать обезболивающее действие электростимуляции и улучшать общее самочувствие животных, особенно при патологии.

При использовании же частот 50 и 90 Гц поведение животных было иным: в процессе воздействия животные в клетках оставались беспокойными, сохранялись спонтанные голосовые и двигательные ответные реакции.

В специальных экспериментах по изучению лечебного и профилактического влияния на раневую контракцию было установлено, что ускорение заживления отмечалось всегда при анальгетическом и никогда при неанальгетическом режиме транскраниального электровоздействия (табл. 2).

Процесс заживления и сокращение сроков регенерации был особенно выражен у животных с «профилактическим» проведением процедур транскраниальной электростимуляции. В «профилактической» группе у животных изменение размеров ран значительно опережало таковое у крыс с «лечебным» воздействием. Уже на 4-е сутки разница в площади ран между опытными группами и контролем статистически достоверна и составляет 12 %, в то время как «лечебное» воздействие лишь к 8-м суткам приводит к такой же раневой контракции. Ранняя раневая контракция, связанная с более ранним формированием грануляционной ткани, приводит к сокращению сроков полного заживления раны. Если в группе с «лечебным» применением электрического воздействия сокращение

срока полного заживления ран составило, в среднем, 3,4 дня, то у крыс с «профилактическим» его применением - 4,1 дня, что равно 17 % и 21 %, соответственно.

Таблица 2.

Влияние транскраниальных электрических воздействий, при различных способах применения, на динамику полного заживления ран

Номер группы	Средний диаметр ран, мм				Срок полного заживления, дни	Процент к контролю
	4-е сутки	8-е сутки	12-е сутки	16-е сутки		
Контрольная	10,9±0,3	9,9±0,4	5,2±0,4	2,2±0,2	20,4±0,6	100
1 профилактическая	9,6±0,3	7,5±0,3	2,3±0,5	0,5±0,3	16,1±0,8	79*
2 профилактическая	10,8±0,2	9,8±0,3	5,7±0,6	2,0±0,4	20,3±0,6	100
1 лечебная	10,1±0,4	8,2±0,5	3,6±0,3	0,8±0,3	17,3±0,9	83*
2 лечебная	12,4±0,3	10,1±0,4	5,4±0,3	2,1±0,3	20,8±0,6	102

*Достоверность результата ($P<0.05$).

Полученные данные свидетельствуют о том, что транскраниальные электрические воздействия, способствуют ускорению регенерации ран у животных. Как нам представляется, полученные результаты не оставляют сомнений в том, что физиотерапевтический способ воздействия на организм - транскраниальная электростимуляция помимо центральных структур весьма эффективно влияет на функцию периферических систем.

Транскраниальная электростимуляция дает не только анальгетический, но и другие эффекты, причем и тогда воздействие током с оптимальными параметрами имеет первостепенное значение [1; 12]. Наибольшую эффективность показали параметры электрического раздражения, вызывающие анальгетический эффект (АЭ). Активация эндорфинных структур антиноцицептивной системы является одним из механизмов, способствующих развитию анальгетического эффекта при транскраниальном электровоздействии. Данный способ раздражения, вызывал существенное увеличение β -эндорфина в ликворе и в крови у животных и это обстоятельство несомненно свидетельствует в пользу представления о важной роли опиоидных пептидов в механизмах репарации и поддержания структурного гомеостаза организма [3; 9].

Все эти факты соответствуют общепринятым критериям, которые принимаются как доказательства участия опиоидных пептидов в эффектах

стимуляции АНС. Все эффекты ТЭС по механизму можно условно разделить на: центральные, периферические и комбинированные (смешанные). При этом имеется в виду, что центральные эффекты связаны с влиянием усиленного выделения и действия эндорфинов, серотонина и, возможно, других биологически активных веществ непосредственно на структуры мозга, а периферические - с действием эндорфинов, поступивших в кровь. Следует подчеркнуть, что в формировании эффектов ТЭС, особенно периферических, ключевая (или триггерная) роль β -эндорфинов и других опиоидных пептидов несомненна. Кроме того, существенную роль в регенеративно-восстановительных процессах покровной ткани может оказывать нормализующее действие опиоидов на микроциркуляцию и лимфоток в месте кожного дефекта.

Важно отметить, что лечебное действие наблюдалось только в начальной фазе процесса репарации, что приводило к ускоренному заживлению ран в этот временной период с уменьшением общих сроков регенерации дефекта. Эти данные показывают, что ТЭС в анальгетическом режиме оказывает комплексное лечебное воздействие. Природа данного явления требует ещё более глубокого изучения, но уже сейчас можно констатировать факт наличия у животных ответных нейрохимических механизмов направленных на регенеративно-восстановительные возможности организма под неинвазивным действием транскраниальной электроанальгезии (электро-стимуляции) [4; 11; 14; 19; 23; 28].

Заключение

Полученные нами данные подтверждают представление о том, что в организме существует уникальный механизм восстановительных процессов, где значительную роль играют опиоидергические антиноцицептивные структуры головного мозга, которые, в свою очередь, существенно влияют на процессы поддержания структурного гомеостаза.

Вместе с тем, мы не считаем, что предлагаемая нами методика транскраниальной электростимуляции (электроанальгезии), не является какой-то абсолютной панацеей, в выше сказанном аспекте. Очень широкие показания к применению данной методики, при наличии ограниченного круга противопоказаний, являются естественным отражением основного свойства данного режима транскраниальной электростимуляции (электроанальгезии) - способности активировать защитные механизмы антиноцицептивной системы, которые обладают большим спектром гомеостатических эффектов. Поэтому гомеостатическая направленность

действия транскраниальной электростимуляции проявляется в полной мере при нарушениях регуляции функций систем и органов, не изменяя нормально текущие процессы. Из этого с очевидностью следует, что возможная эффективность лечебных воздействий ТЭС в определенной степени ограничена пределами гомеостатических возможностей организма, которые хотя и весьма велики, но отнюдь не беспредельны и имеют существенные индивидуальные различия. При этом, простота и доступность метода, практическое отсутствие осложнений и противопоказаний делают целесообразным его широкое использование в экспериментально-клинической практике.

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

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Веселова Ф.А., Дашко Д.В. О перспективах применения транскраниальной электростимуляции при регенерации костной ткани // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сборник VII Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием, Новосибирск, 20 декабря 2022 года. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 372-374.
2. Дашко Д.В. Влияние электростимуляции на регенерацию седалищного нерва // Иппология и ветеринария. 2023. № 1(47). С. 129-137. <https://doi.org/10.52419/2225-1537/2023.1.129-137>
3. Дашко Д.В. Гематологические изменения у собак при электроанальгезии // Вестник ИрГСХА. 2013. № 58. С. 102-108.
4. Дашко Д.В. Клинико-лабораторное обоснование способа электроанальгезии собак // Вестник ИрГСХА. 2013. № 57-3. С. 59-66.
5. Дашко Д.В. Лечение гнойно-некротической патологии осложненной бактериальной инфекцией в области дистального отдела конечностей у крупного рогатого скота // Год науки и технологий 2021: Сборник тезисов по

- материалам Всероссийской научно-практической конференции, Краснодар, 09–12 февраля 2021 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2021. С. 43.
6. Дашко Д.В. Определение оптимальных параметров тока и вариантов наложения электродов для проведения электроанальгезии у собак // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых, Иркутск, 17–18 апреля 2013 года. Иркутск: Иркутская ГСХА, 2013. С. 183-187.
 7. Дашко Д.В. Оптимизация параметров тока и вариантов наложения электродов при электроанальгезии собак импульсным током прямоугольной формы // Актуальные вопросы аграрной науки. 2013. № 6. С. 27-32.
 8. Дашко Д.В. Экспериментально-клиническое обоснование способа электроанальгезии собак: специальность 16.00.05: диссертация на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Дашко Денис Владимирович. Омск, 2003. 168 с.
 9. Дашко Д.В., Батомункуев А.С. К вопросу применения перкутанного метода кастрации продуктивных животных в условиях производства // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 4(61). С. 159-163. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.024>
 10. Дашко Д.В., Мельцов И.В. Гистологическая структура печени маньчжурского золотистого перепела // Морфология. 2020. Т. 157, № 2-3. С. 68.
 11. Дашко Д.В., Начатов Н.Я., Дарбинян А.А. Экспериментальное клинико-гематологическое обоснование параметров тока и вариантов наложения электродов при электроанальгезии собак импульсным током прямоугольной формы // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: Материалы Российской научно-практической конференции, Новосибирск, 13–14 февраля 2003 года. Новосибирск, 2003. С. 9-11.
 12. Дашко Д.В., Силкин И.И., Урядников М.А. О природе неинвазивного действия на организм при транскраниальном электрическом воздействии // Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти Александра Александровича Ежевского, п. Молодежный, 16–17 ноября 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 77-83.
 13. Инюшева А.И., Дашко Д.В. Экспериментальное изучение анальгетического эффекта транскраниального электровоздействия // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: материалы XI Международной научно-прак-

- тической конференции, Иркутск, 28–29 апреля 2022 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет, 2022. С. 430–437.
14. Кравченко А.А., Дашко Д.В. О перспективе снижения послеоперационной боли у собак // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 16–17 февраля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 59–62.
 15. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниального неинвазивного раздражения антиноцицептивных структур мозга на процессы репарации // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 22–26 марта 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет, 2021. С. 41–44.
 16. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на исходную алкогольную мотивацию у крыс // Актуальные проблемы ветеринарной науки и практики: Сборник материалов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 22–26 марта 2021 года. Омск: Омский государственный аграрный университет, 2021. С. 136–139.
 17. Логунцова М.С., Дашко Д.В. Влияние транскраниальной электростимуляции на процессы репарации в эксперименте // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы X международной научно-практической конференции, Молодежный, 27–28 мая 2021 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет, 2021. С. 114–115.
 18. Марчук Т.Н., Дашко Д.В. Гематологические показатели у лабораторных животных при электростимуляции // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. С. 149–150.
 19. Марчук Т.Н., Дашко Д.В. О возможности снижения послеоперационной боли у мелких домашних животных // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке: Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. С. 147–148.
 20. Мухаметдинова А.В., Дашко Д.В. О возможности применения рефлексотерапии у овец // Научные исследования студентов в решении актуальных

- проблем АПК: Материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Иркутск, 16–17 февраля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 80–83.
21. Силкин И.И., Дашко Д.В., Урядников М.А. Оптимизация способа общей анестезии кроликов // Климат, экология и сельское хозяйство Евразии: Материалы XII международной научно-практической конференции, п. Молодежный, 27–28 апреля 2023 года. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2023. С. 303–307.
 22. Dashko D.V. Treatment of purulo-necrotic pathology complicated by associated bacterial microflora in the hoof area in cows // E3S Web of Conferences, Orel, February 24–25, 2021. Orel, 2021. P. 09015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202125409015>
 23. Dashko D.V., Byambaa B. Treatment of purulent-necrotic diseases of the distal region of limbs complicated by bacterial microflora in cattle // Vestnik IrGSHA. 2020. No. 101. P. 128–134. <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2020-101-128-134>
 24. Dashko D., Silkin I. Effect of transcranial electrotherapy stimulation on reparative regeneration of the damaged sciatic nerve in the experiment // E3S Web of Conferences, Orel, February 24–25, 2021. Orel, 2021. P. 08010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125408010>
 25. Dashko D.V., Silkin I.I. Relevance of the use of postmortem biomaterial of domesticated yak (*Bos grunniens*) to obtain stem cells from bone marrow // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 11–23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23>
 26. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil // E3S Web of Conferences, Yekaterinburg, October 15–16, 2020. Yekaterinburg, 2020. P. 02027. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202022202027>
 27. Kucharski P., Antończyk A., Prządka P., Liszka B., Lachowska S., Kielbowicz Z. Clinical usefulness of the anaesthetic protocol using low doses of Tiletamine – Zolazepam combination in continuous rate infusion as a partial intravenous anaesthesia in bitches undergoing laparoscopic surgery // Topics in Companion Animal Medicine. 2022. Vol. 49. P. 100664. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100664>
 28. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (*Bos mutus*) with a cow of a black-and-white Holstein breed // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering,

- technology, innovation and digital technologies in agriculture. Ser. 3, Smolensk, January 25, 2021. Smolensk: IOP PUBLISHING LTD, 2021. P. 032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
29. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Morphofunctional changes in rabbit thymus with simultaneous vaccination and disinsection // IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products. Ser. 2, Smolensk, January 25, 2021. Vol. 723. Smolensk, 2021. P. 022060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022060>
30. Silkin I.I., Popov A.P., Dashko D.V. Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems // IOP conference series: earth and environmental science: The conference proceedings, Barnaul, April 19-20, 2019. Vol. 395. IOP Publishing: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012019>

References

1. Veselova F.A., Dashko D.V. On the prospects of transcranial electrical stimulation in bone tissue regeneration. *The role of agrarian science in the sustainable development of rural areas: Collection of VII All-Russian (national) scientific conference with international participation, Novosibirsk, December 20, 2022*. Novosibirsk: Golden Spike Publ., 2022, pp. 372-374.
2. Dashko D.V. Effect of electrical stimulation on the regeneration of the sciatic nerve. *Hippology and Veterinary Medicine*, 2023, no. 1(47), pp. 129-137. <https://doi.org/10.52419/2225-1537/2023.1.129-137>
3. Dashko D.V. Hematologic changes in dogs under electroanalgesia. *Bulletin of the IrGSA*, 2013, no. 58, pp. 102-108.
4. Dashko D.V. Clinical and laboratory substantiation of the method of electroanalgesia in dogs. *Vestnik IrGSKHA*, 2013, no. 57-3, pp. 59-66.
5. Dashko D.V. Treatment of purulent-necrotic pathology complicated by bacterial infection in the area of distal limbs in cattle. *The Year of Science and Technology 2021: Collection of abstracts on the materials of the All-Russian scientific-practical conference, Krasnodar, February 09-12, 2021*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Publ., 2021, p. 43.
6. Dashko D.V. Determination of optimal current parameters and variants of electrode application for electroanalgesia in dogs. *Scientific research and development to implementation in agroindustrial complex: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Irkutsk, April 17-18, 2013*. Irkutsk: Irkutsk State Agricultural Academy Publ., 2013, pp. 183-187.

7. Dashko D.V. Optimization of current parameters and variants of electrode superimposition at electroanalgesia of dogs by pulse current of rectangular shape. *Actual issues of agrarian science*, 2013, no. 6, pp. 27-32.
8. Dashko D.V. *Experimental and clinical substantiation of the method of electroanalgesia of dogs: specialty 16.00.05: dissertation for the degree of candidate of veterinary sciences*. Omsk, 2003, 168 p.
9. Dashko D.V., Batomunkuev A.S. To the question of application of the percutaneous method of castration of productive animals in production conditions. *Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov*, 2020, no. 4(61), pp. 159-163. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.61.4.024>
10. Dashko D.V., Meltsov I.V. Histologic structure of the liver of Manchurian golden quail. *Morphology*, 2020, vol. 157, no. 2-3, p. 68.
11. Dashko D.V., Nachatov N.Y., Darbinyan A.A. Experimental clinical and hematological substantiation of current parameters and variants of electrode overlay at electroanalgesia of dogs with pulse current of rectangular shape. *Actual issues of veterinary medicine: Proceedings of the Russian scientific-practical conference, Novosibirsk, February 13-14, 2003*. Novosibirsk, 2003, pp. 9-11.
12. Dashko D.V., Silkin I.I., Uryadnikov M.A. On the nature of non-invasive action on the body at transcranial electric influence. *Problems and prospects of sustainable development of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation, dedicated to the memory of Alexander A. Ezevsky, Molodezhny, November 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 77-83.
13. Inyusheva A.I., Dashko D.V. Experimental study of the analgesic effect of transcranial electrical action. *Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, Irkutsk, April 28-29, 2022*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University Publ., 2022, pp. 430-437.
14. Kravchenko A.A., Dashko D.V. On the prospect of reducing postoperative pain in dogs. *Scientific research of students in solving urgent problems of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian student scientific-practical conference, Irkutsk, February 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 59-62.
15. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial non-invasive irritation of antinociceptive brain structures on the processes of repair. *Actual problems of veterinary science and practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference, Omsk, March 22-26, 2021*. Omsk: Omsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 41-44.

16. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial electrical stimulation on the initial alcohol motivation in rats. *Actual problems of veterinary science and practice: Proceedings of the All-Russian (national) scientific-practical conference, Omsk, March 22-26, 2021*. Omsk: Omsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 136-139.
17. Loguntsova M.S., Dashko D.V. Effect of transcranial electrical stimulation on repair processes in the experiment. *Climate, ecology, agriculture of Eurasia: Proceedings of the X international scientific-practical conference, Molodezhny, May 27-28, 2021*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University Publ., 2021, pp. 114-115.
18. Marchuk T.N., Dashko D.V. Hematological parameters in laboratory animals under electrical stimulation. *Challenges and innovative solutions in agrarian science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Production Conference, Maisky, April 12, 2023. Vol. 2*. Mayskiy: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin Publ., 2023, pp. 149-150.
19. Marchuk T.N., Dashko D.V. On the possibility of reducing postoperative pain in small domestic animals. *Challenges and innovative solutions in agrarian science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Production Conference, Maisky, April 12, 2023. Vol. 2*. Mayskiy: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin Publ., 2023, pp. 147-148.
20. Mukhametdinova A.V., Dashko D.V. On the possibility of using reflexotherapy in sheep. *Scientific research of students in solving urgent problems of agroindustrial complex: Proceedings of the All-Russian student scientific-practical conference, Irkutsk, February 16-17, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 80-83.
21. Silkin I.I., Dashko D.V., Uryadnikov M.A. Optimization of the method of general anesthesia of rabbits. *Climate, ecology and agriculture of Eurasia: Proceedings of the XII International Scientific Conference, Molodezhny, April 27-28, 2023*. Molodezhny: Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Jezhevsky Publ., 2023, pp. 303-307.
22. Dashko D.V. Treatment of purulo-necrotic pathology complicated by associated bacterial microflora in the hoof area in cows. *E3S Web of Conferences*, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021, 09015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202125409015>
23. Dashko D.V., Byambaa B. Treatment of purulent-necrotic diseases of the distal region of limbs complicated by bacterial microflora in cattle. *Vestnik IrGSHA*, 2020, no. 101, pp. 128-134. <https://doi.org/10.51215/1999-3765-2020-101-128-134>
24. Dashko D., Silkin I. Effect of transcranial electrotherapy stimulation on reparative regeneration of the damaged sciatic nerve in the experiment. *E3S Web*

- of Conferences*, Orel, February 24-25, 2021. Orel, 2021, 08010. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125408010>
25. Dashko D.V., Silkin I.I. Relevance of the use of postmortem biomaterial of domesticated yak (*Bos grunniens*) to obtain stem cells from bone marrow. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-11-23>
 26. Dashko D., Tarasevich V., Melnik O. Experimental and clinical justification of male orchidectomy under local anesthesia in combination with xylazine and subanesthetic doses of zoletil. *E3S Web of Conferences*, Yekaterinburg, October 15-16, 2020. Yekaterinburg, 2020, 02027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022202027>
 27. Kucharski P., Antończyk A., Prządka P., Liszka B., Lachowska S., Kielbowicz Z. Clinical usefulness of the anaesthetic protocol using low doses of Tiletamine – Zolazepam combination in continuous rate infusion as a partial intravenous anaesthesia in bitches undergoing laparoscopic surgery. *Topics in Companion Animal Medicine*, 2022, vol. 49, 100664. <https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100664>
 28. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Electron-microscopic study of enterocytes of intestinal crypts of the small intestine of a hybrid of a yak (*Bos mutus*) with a cow of a black-and-white Holstein breed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mechanization, engineering, technology, innovation and digital technologies in agriculture*. Ser. 3, Smolensk, January 25, 2021. Smolensk: IOP PUBLISHING LTD, 2021, 032084. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032084>
 29. Silkin I.I., Batomunkuev A.S., Dashko D.V., Tarasevich V.N. Morphofunctional changes in rabbit thymus with simultaneous vaccination and disinsection. *IOP conference series: earth and environmental science: Agriculture, field cultivation, animal husbandry, forestry and agricultural products*. Ser. 2, Smolensk, January 25, 2021. vol. 723. Smolensk, 2021, 022060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/2/022060>
 30. Silkin I.I., Popov A.P., Dashko D.V. Prospects for using post-mortal genetic materials on the example of sable to ensure the biodiversity in natural systems. *IOP conference series: earth and environmental science: The conference proceedings, Barnaul, April 19-20, 2019*. Vol. 395. IOP Publishing: IOP Publishing Ltd, 2019, 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012019>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дашко Денис Владимирович, кандидат ветеринарных наук, доцент,
доцент

*ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А.Ежевского*

*п. Молодёжный, Иркутский р-он., Иркутская обл., 664038, Россий-
ская Федерация*

den120577@bk.ru

Урядников Максим Алексеевич, аспирант

*ФГБОУ ВО Иркутский государственный аграрный университет
им. А.А.Ежевского*

*п. Молодёжный, Иркутский р-он., Иркутская обл., 664038, Россий-
ская Федерация*

m.uriadnikov@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Denis V. Dashko, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky

*Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian
Federation*

den120577@bk.ru

SPIN-code: 8335-0871

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5703-7301>

Scopus Author ID: 57221097546

Maksim A. Uryadnikov, Postgraduate Student

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky

*Molodezhny village, Irkutsk district, Irkutsk region, 664038, Russian
Federation*

m.uriadnikov@yandex.ru

SPIN-code: 9355-8555

Поступила 26.05.2024

После рецензирования 09.06.2024

Принята 26.06.2024

Received 26.05.2024

Revised 09.06.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1032

EDN: UXMGQZ

УДК 664.68



Научная статья

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ МУЧНЫХ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.Т. Васюкова, И.У. Кусова, Р.Х. Кандроков

Аннотация

Обоснование. Мучные кулинарные изделия пользуются повышенным спросом населения. Для удовлетворения потребностей населения в пищевой и биологической ценности при употреблении данной группы пищевых продуктов необходимо обогатить их ингредиентный состав компонентами, отвечающими указанным требованиям.

Цель – разработка помольных партий и определение гранулометрического состава смеси с оптимальным аминокислотным составом из зернобобового сырья и специй для кулинарных изделий.

Методы. В качестве объекта выбраны зернобобовые компоненты и вкусовые добавки (7-9 наименований), используемые для получения функциональных мучных смесей для мучных кулинарных изделий. Помол осуществлялся на лабораторной установке РСА-4–2, с применением рассева и комплекта сит.

Результаты. Определены технологические параметры драных и размольных систем получены данные о выходе и качестве круподуновых продуктов, получаемых на второй драной системе при влажности зерна на первой драной системе 14%. С увеличением степени увлажнения помольных смесей общий выход круподуновых продуктов снижается, но качество их улучшается. Технологические схемы включали две драны и пять размольных систем, позволяющих получить муку, отруби и дунсты. Степень помола сухих мучных смесей составляла 224 мкм и менее. Получен высокий выход круподуновых продуктов и муки на двух драных системах при низкой их средневзвешенной зольности. На основании полученных данных можно прогнозировать высокие выходы композитной муки, гранулометрический состав которой позволит использовать для функциональных кулинарных изделий.

Заключение. Проведено исследование биологической ценности белка функциональных мучных смесей. Установлено, что все образцы полученных смесей соответствуют установленным значениям нормативной документации,

что говорит о надлежащем их качестве. В результате помола и просеивания через сито с размером ячейки отверстия 224 мкм получено муки для кондитерских изделий: из смеси 2ДС-2 – 94,2%, из смеси ЗВС-2 – 93,8%.

Ключевые слова: сухие мучные смеси; аминокислотный состав; круподуновые продукты; мука; отруби

Для цитирования. Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кандроков Р.Х. Разработка функциональных смесей для мучных кулинарных изделий // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 455-475. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1032

Original article

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MIXTURES FOR FLOUR CULINARY PRODUCTS

A.T. Vasyukova, I.U. Kusova, R.Kh. Kandrov

Abstract

Background. Flour culinary products are in high demand among the population. To meet the needs of the population for nutritional and biological value when consuming this group of food products, it is necessary to enrich their ingredient composition with components that meet the specified requirements. The purpose of the work is to develop grinding batches and determine the granulometric composition of the mixture with the optimal amino acid composition from grain legumes and spices for culinary products.

Methods. The object chosen was grain legume components and flavoring additives (7-9 items) used to obtain functional flour mixtures for flour culinary products. Grinding was carried out on a laboratory installation RSA-4-2, using a sieving device and a set of sieves.

Results. The technological parameters of the torn and grinding systems have been determined; data have been obtained on the yield and quality of grain products obtained on the second torn system at a grain moisture content of 14% on the first torn system. With an increase in the degree of moistening of the grinding mixtures, the overall yield of grain products decreases, but their quality improves. The technological schemes included two grinders and five grinding systems to produce flour, bran and dust. The degree of grinding of dry flour mixtures was 224 microns or less. A high yield of cereal products and flour was obtained using two torn systems with a low weighted average ash content. Based on the data obtained, it is possible

to predict high yields of composite flour, the granulometric composition of which will allow it to be used for functional culinary products.

Conclusion. A study of the biological value of protein in functional flour mixtures was carried out. It was established that all samples of the resulting mixtures correspond to the established values of regulatory documentation, which indicates their proper quality. As a result of grinding and sifting through a sieve with a mesh size of 224 microns, flour for confectionery products was obtained: from the 2DS-2 mixture - 94.2%, from the 3BC-2 mixture - 93.8%.

Keywords: dry flour mixtures; amino acid composition; cereal products; flour; bran

For citation. Vasyukova A.T., Kusova I.U., Kandrov R.Kh. Development of Functional Mixtures for Flour Culinary Products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 455-475. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1032

Введение

Современные технологии позволяют получить высококачественное сырье на основе комбинирования нетрадиционных видов зерна, семян и других сухих частей растений (петрушки, базилика, чабреца, розмарина, кинзы, крапивы и пр.). Использование многокомпонентного состава при изготовлении размольных партий разрешит сбалансировать состав помольной смеси по основным пищевым веществам [1].

Разработке полных схем переработки отдельных культур посвящены труды Барановской Т.П., Богославского С.Н. и других о переработке зерна пшеницы [2], Тарасенко С.С. о помоле твердых сортов пшеницы для макаронного производства [20], Панкратов Г.Н. и Кандроков Р.Х. [6, 7], показавших возможность обогащения крупок при измольчении тритикале, Шмалько Н.А. и Смирнов С.О. обосновали возможность получения крахмалистых хлопьев при измольчении амаранта [21]. Brennan M.A., et al., [23] смоделировали функциональные смеси для снеков, а Ibanoglu S., et al., [26] разработали помольные партии различных культур для получения безглютеновой экструдированной продукции [6, 7, 8]. В этом же направлении известны труды Михайлова О.В. и Коробкова А.Н. [14], анализирующие возможные технологические операции в мукомольном производстве.

Одна из определяющих качество муки операций по заключению Белова А.А. и Коробкова А.Н. [10] – это подготовка зерна. Инновацией в данной операции может быть использование СВЧ-поля [10].

Анисимов А.В., Рудик Ф.Я. и Загородских Б.П. [1] для оптимизации помольных партий и повышения качества муки предложили холодное кондиционирование, шелушение и подсушку используемого сырья.

Формирование качества муки заложено на всех этапах подготовки его к измелчению. Так, Кандроков Р.Х., Белова Е.Р. исследовали возможность получения искомого качества полбяной муки при применении гидротермической обработки. Выход муки при этом составил 87,4-90,0 % [6-8]. Полбяную муку с такими показателями можно использовать при изготовлении бисквита [15].

Рядом авторов исследованы две схемы переработки сортов зерна тритикале в качественную муку хлебопекарного сорта. Предложены три размольные системы с решетчатыми очистителями, что позволило учесть специфику помола тритикале с 40% выходом муки по сокращенной схеме и 63% по инновационной [12].

Качество кулинарной готовой продукции будет зависеть от компонентов рецептуры и способов тепловой обработки. На формирование вкусовых параметров оказывает термопластическая экструзия. Рудась П.Г., Семькин Д.В., Петергов А.И. и Степанов В.И. [15] применили комплексные пищевые и вкусовые добавки, обеспечивающих получить характерные для экструзивных продуктов показатели качества.

Введение бобовой муки в композиционные смеси положительно влияет на реологические свойства теста и изделий из него, в частности, на скорость и энергоемкость замеса теста и процессы старения крахмалистых полисахаридов, однако приводит к снижению прочности сухих макаронных изделий [13].

Используя смешевой подход Zartoug I. et al. [31] оптимизировали рецептуры новых функциональных макаронных изделий, содержащих ингредиенты манной крупы из твердых сортов пшеницы, цельнозерновой муки и инулина, что позволило улучшить как технологические, так и текстурные свойства этого продукта.

Galkowska D. et al. [24] установили, что замена муки из полбы на другие древние пшеничные муки и муку из киноа увеличила долю эластичных свойств и снизила значения реологических показателей макаронного теста.

Wang J. et al. [30] исследуя функциональные ингредиенты - крупы, псевдозерна, бобовые и овощи, доказали возможность их использования для обогащения макаронных изделий. Так, макароны из морковного сока имеют более высокое техническое качество, чем макароны из морковной муки. Растительное сырье в виде пюре или жидкости представляет собой

лучший вариант добавления в манную крупу с более высокими реологическими показателями.

Haenel A., et al. [25] предложили формирование пищевого профиля рецептуры гибридных макарон с высоким содержанием белка, путем частичной замены пшеничной манной крупы комбинированием трех высокобелковых ингредиентов из гречихи, конских бобов и люпина.

Корректирование рецептуры экструдатов В.И. Степанов и соавторы [18] предложили на основе гранулометрических характеристик помолов. Сформированные помольные партии позволяют получить более нежную структуру готового экструдата, в тоже время твердость продукта увеличивается с 6,1 до 9,8 Н. Влияние экструзивной технологии на органолептические показатели М.А. Brennan, E. Derbyshire, B.K. Tiwari, C.S. Brennan [22] доказали на примере изготовленных приемлемых для потребителя питательных снеках.

Ожидается, что потребительская привлекательность готовых к употреблению продуктов будет быстро расти и развиваться [1, 2, 6].

Цель исследований – разработка помольных партий и определение гранулометрического состава смеси с оптимальным аминокислотным составом из зернобобового сырья и специй для кулинарных изделий.

Задачи разработки:

- выполнить мониторинг зернобобового сырья и специй, а также осуществить выбор основного компонента для обогащения мучных кулинарных изделий повышенной пищевой ценности;
- разработать схемы помола многокомпонентных функциональных смесей для повышения качества мучных кулинарных изделий;
- определить гранулометрический и аминокислотный состав рецептуры с учетом усвояемости белка, органолептических показателей качества функциональных смесей для мучных кулинарных изделий.

Научная новизна исследований

Впервые разработана рецептура и технология переработки сухих функциональных многокомпонентных смесей на основе сбалансированного сырья с применением продуктов переработки зернобобовых культур и специй.

Материалы и методы

Исследования проводились с 2021 по 2024 годы в РОСБИОТЕХ. В качестве объектов использованы разработанные многокомпонентные смеси

2ДС-2, 3ВС-2, включающие от 8 до 16 компонентов зернобобового сырья и специй. Моделирование композитной зерновой смеси осуществлялось на основе сбалансированного аминокислотного состава рецептурных ингредиентов и обогащения биологически активными веществами. Ингредиентный состав сухих смесей позволяет получить выраженную вкусовую гамму мучных кулинарных изделий, которую сообщают специи.

Для разработки схем помола композитных зерновых смесей и полученной из 2ДС-2, 3/ВС-2 муки на основе гранулометрического состава (таблица 1) необходимо установить мукомольные свойства каждого ингредиента рецептуры многокомпонентной смеси.

Таблица 1.

Состав разработанных многокомпонентных смесей

Наименование смеси	Состав компонентов рецептуры
2ДС-2	Перловая крупа, пшено, чечевица, фасоль, полба, соль, кориандр
3/ВС-2	Чечевица, горох, пшено, перловая крупа, полба, овес, кориандр, черный перец, соль.

Функциональные свойства многокомпонентных смесей формировали на основании аминокислотного состава компонентов рецептуры, который должен быть максимально соответствующий «идеальному» белку. Для количественной оценки биологической ценности и сбалансированности аминокислотного состава белка принято использовать коэффициент, равный доле незаменимых аминокислот, усваиваемых организмом, т.е. находящихся в необходимой для этого пропорции. Повышение биологической ценности белка подразумевает увеличение данного коэффициента [17]. Проектирование смеси функциональной мучной осуществляли на основе принципа аминокислотной сбалансированности. Математическое содержание процесса проектирования сбалансированного продукта осуществляется на основании аминокислот, входящих в зернобобовые ингредиенты и пряно-ароматические биологически активные добавки, что позволило сформулировать эффективный алгоритм, решающий поставленную задачу.

Однако питательная ценность пшеничной муки не позволяет без комбинирования с другим белоксодержащим сырьем получить сбалансированный по аминокислотному составу продукт. Чтобы эффективно использовать муку из зернобобовых культур в качестве альтернативы животному белку, необходима математическая обработка мучной смеси с отличными аминокислотными свойствами. Сухие композиционные смеси могут стать основой

для производства персонализированных пищевых концентратов, используемых при изготовлении функциональных мучных кулинарных изделий.

Для исследования степени помола композиционной зерновой смеси использован вычислительный алгоритм на основе аминокислотного состава ингредиентов рецептуры: бобовых (чечевица, горох), зерновые культуры (крупа пшеничная, перловая, полба, овес) (табл. 1 и табл. 2). Для расчетов использованы данные химического состава (Скурихин И.М., 2002) [17] и состава белка, принимаемого в дальнейших вычислениях за эталон (WHO technical report series, 1985) [19].

Аминокислотный состав рецептуры с учетом усвояемости белка и ингредиентный состав рецептуры с учетом усвояемости для смесей 3/BC-2 и 2ДС-2 приведены в табл. 2-7. Разрабатываемые смеси сравнивали с потребностью в аминокислотах для детей различных возрастов (табл. 8-11).

Таблица 2.

**Смесь функциональная мучная 3/BC-2.
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г**

Наименование сырья	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Цистеин	Фенилаланин	Тирозин	Валин	Гистидин	НАК
Чечевица, зерно	0,221	0,882	1,065	1,786	1,72	0,21	0,322	1,215	0,658	1,223	0,693	9,995
Горох лущеный	0,275	0,872	1,014	1,76	1,772	0,251	0,373	1,132	0,711	1,159	0,597	9,916
Крупа пшеничная	0,119	0,353	0,465	1,4	0,212	0,221	0,212	0,58	0,34	0,578	0,236	4,716
Крупа перловая	0,165	0,337	0,362	0,673	0,369	0,19	0,219	0,556	0,284	0,486	0,223	3,864
Полба, сырая	0,132	0,443	0,552	1,07	0,409	0,258	0,33	0,737	0,377	0,681	0,36	5,349
Овес. Зерно продовольственное	0,234	0,575	0,694	1,284	0,701	0,312	0,408	0,895	0,573	0,937	0,405	7,018
Специи, кориандр семена	0	0,001	0,001	0,002	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0,008
Специи, душистый перец, молотый	0	0,001	0,001	0,001	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0,007
Итого	1,146	3,464	4,154	7,976	5,185	1,442	1,864	5,117	2,945	5,066	2,514	40,873

Таблица 3.

Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка

Наименование сырья	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Цистеин	Фенилаланин	Тирозин	Валин	Гистидин	НАК
Чечевица, зерно	58,1	232,0	280,1	469,7	452,4	55,2	84,7	319,5	173,1	321,6	182,3	2629
Горох лущеный	60,5	191,8	223,1	387,2	389,8	55,2	82,1	249,0	156,4	255,0	131,3	2182
Крупа пшеничная	26,2	77,7	102,3	308,0	46,6	48,6	46,6	127,6	74,8	127,2	51,9	1038
Крупа перловая	19,8	40,4	43,4	80,8	44,3	22,8	26,3	66,7	34,1	58,3	26,8	464

Полба, сырая	13,2	44,3	55,2	107,0	40,9	25,8	33,0	73,7	37,7	68,1	36,0	535
Овес. Зерно продовольственное	14,0	34,5	41,6	77,0	42,1	18,7	24,5	53,7	34,4	56,2	24,3	421
Итого	192	621	746	1 430	1 016	226	297	890	510	886	453	7267
На 1 г белка	10,8	34,9	42,0	80,5	57,2	12,7	16,7	50,1	28,7	49,9	25,5	409

Таблица 4.

Смесь функциональная мучная 3/ВС-2.
Ингредиентный состав рецептуры с учетом усвояемости

Наименование сырья	Вес, г	Белок, г		
		на 100 г	% усвояемости	по рецептуре, усваиваемый
Чечевица, зерно	26,3	24	94	6,312
Горох лущеный	22	23		5,06
Крупа пшениная	22	8,9		1,958
Крупа перловая	12	17		2,04
Полба, сырая	10	14,57		1,457
Овес. Зерно продовольственное	6	21,1		1,266
Соль поваренная пищевая	1,2	-		-
Специи, кориандр семена	0,3	12,37		0,037
Специи, душистый перец, молотый	0,2	6,09		0,012
Итого	100		97,911	18,142

Таблица 5.

Смесь функциональная мучная 2ДС-2.
Аминокислотный состав на 100 г продуктов, г

Наименование сырья	Вес, г	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Цистеин	Фенилаланин	Тирозин	Валин	Гистидин	НАК
Полба, сырая	6	0,008	0,027	0,033	0,064	0,025	0,015	0,02	0,044	0,023	0,041	0,022	0,314
Крупа пшениная	35	0,042	0,128	0,168	0,504	0,076	0,08	0,076	0,208	0,122	0,208	0,084	1,654
Крупа перловая	37,6	0,495	1,011	1,086	1,911	1,107	0,57	0,657	1,668	0,852	1,458	2,079	12,399
Чечевица, зерно	12	0,111	0,441	0,532	0,893	0,86	0,105	0,161	0,605	0,329	0,611	0,346	4,883
Фасоль	8	0,26	0,95	0,1	0,18	0,155	0,022	0,026	0,122	0,063	0,118	0,63	2,366
Соль	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кориандр, семена	0,3	0	0,001	0,001	0,002	0,001	0	0	0,001	0,001	0,001	0	0,008
Итого	100	0,916	2,558	1,92	3,554	2,224	0,792	0,94	2,648	1,39	2,437	3,161	21,624

Таблица 6.

Аминокислотный состав рецептуры (мг), с учетом усвояемости белка

Наименование сырья	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	Метионин	Цистеин	Фенилаланин	Тирозин	Валин	Гистидин	НАК	САК	ААК
Фасоль	0,26	0,95	0,1	0,18	0,155	0,022	0,026	0,122	0,063	0,118	0,63	2,366	0,048	0,185
Крупа пшениная	30,9	91,8	120,9	364,0	55,1	57,5	55,1	150,8	88,4	150,3	61,4	1226	113	239

Горох лучшенный	46,8	148,2	172,4	299,2	301,2	42,7	63,4	192,4	120,9	197,0	101,5	1686	106	313
Крупа перловая	23,1	47,2	50,7	94,2	51,7	26,6	30,7	77,8	39,8	68,0	31,2	541	57	118
Полба, сырая	9,2	31,0	38,6	74,9	28,6	18,1	23,1	51,6	26,4	47,7	25,2	374	41	78
Чечевица, зерно	29,1	116,0	240,1	234,8	226,2	27,6	42,4	154,8	86,5	160,8	91,1	1314	29,1	116,0
Итого	139,36	435,15	622,8	1067,3	662,96	172,52	214,73	627,52	362,06	623,92	311,03	5143,4	346,15	864,19
На 1 г белка	6,9	20,0	23,5	51,5	27,0	9,2	10,3	29,7	17,1	28,7	13,7	238	19	47

Таблица 7.

**Смесь функциональная мучная 2ДС-2.
Ингредиентный состав рецептуры с учетом усвояемости**

Продукт	Вес, г	Белок, г		
		на 100 г	% усвояемости	по рецептуре, усваиваемый
Крупа перловая	37,6	23	97,9	5,074
Крупа пшеничная	35	8,9		3,22
Полба, сырая	6	15,1		1,7
Чечевица, зерно	12	17		2,314
Фасоль	8	19,8		1,98
Соль	1,1	14,57		0,874
Кориандр, семена	0,3	6,09		0,012
Итого	101	104,46	100	11,954

Таблица 8.

Аминокислотные шаблоны, по категориям питающихся, мг

Категория питающихся	Трипто- фан	Трео- нин	Изолей- цин	Лейцин	Лизин	CAK	AAK	Валин	Гистидин
до года	8,5	31	32	66	57	28	52	43	20
1–2	7,4	27	31	63	52	26	46	42	18
3–10	6,6	25	31	61	48	24	41	40	16
11–14	6,5	25	30	60	48	23	41	40	16
15–18	6,3	24	30	60	47	23	40	40	16
Взрослые >18 лет	6	23	30	59	45	22	38	39	15

Таблица 9.

Расчет аминокислотного сора рецептуры и PDCAAS

Категория питающихся (шаблон АК)	Трипто- фан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	CAK	AAK	Валин	Гистидин	Лимитирующая АК	Скор	PDCAAS
до года	127	113	131	122	100	105	152	116	127	Лизин	100,4	98,3
1–2	146	129	135	128	110	113	171	119	142	Лизин	110,0	107,7
3–10	164	140	135	132	119	123	192	125	159	Лизин	119,2	116,7
11–14	166	140	140	134	119	128	192	125	159	Лизин	119,2	116,7

15–18	171	146	140	134	122	128	197	125	159	Лизин	121,7	119,2
Взрослые >18 лет	180	152	140	136	127	134	208	128	170	Лизин	127,1	124,5

Таблица 10.

Коэффициенты утилитарности набора аминокислот (КУНА)

Категория питающихся (шаблон АК)	Коэффициенты утилитарности набора аминокислот (КУНА)									КСАС
	Триптофан	Треонин	Изолейцин	Лейцин	Лизин	САК	ААК	Валин	Гистидин	
до года	1,3	1,1	1,3	1,2	1,0	1,0	1,5	1,2	1,3	0,828
1–2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,6	1,1	1,3	0,84
3–10	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,6	1,0	1,3	0,852
11–14	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1	1,6	1,0	1,3	0,843
15–18	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1	1,6	1,0	1,3	0,852
Взрослые >18 лет	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,6	1,0	1,3	0,861

Таблица 11

Прочие показатели отклонения значений аминокислот от категории питающихся (ПСИ, КОАС, ИНАК)

Категория питающихся (шаблон АК)	ПСИ - показатель сопоставимой избыточности (сумма отклонений, неиспользуемых АК, отнесенная к скору)	КОАС - сумма относительных отклонений значений АК от шаблона	ИНАК - среднее геометрическое отклонений значений АК к шаблону
до года	0,702	1,936	1,207
1–2	0,595	2,937	1,315
3–10	0,507	3,891	1,416
11–14	0,538	4,037	1,433
15–18	0,499	4,221	1,452
Взрослые >18 лет	0,449	4,747	1,507

Сокращения и обозначения: Три – триптофан Тир – тирозин АК – аминокислота Тре – треонин Лиз – лизин САК - серосодержащие аминокислоты (метионин + цистеин) Изо – изолейцин Вал – валин ААК - ароматические аминокислоты (фенилаланин + тирозин) Лей – лейцин Гис - гистидин

НАК - незаменимые аминокислоты (все) Мет – метионин Фен – фенилаланин Цис - цистеин

Результаты и обсуждение

В проведенном исследовании оптимизация рецептур сухих функциональных мучных смесей 3/ВС-2 и 2ДС-2 основана на подборе концентрации ингредиентов, позволяющих максимально соответствовать эталону. Аналогами данной разработки могут быть труды Степанова В.И. и соавторов [18] о влиянии гранулометрического состава зерновой смеси на экструзию, Шмалько Н.А. и др. [20] об использовании амарантовой муки

в составе рецептуры хлеба, Титова Е.И. [21] об оптимизации состава продуктов на основе нутриентной сбалансированности белка.

Н.Н. Липатов (мл.) и И.А. Рогов, используя принцип Митчелла-Блока, определили показатели, оценивающие аминокислотный состав и его сбалансированность в моделируемом продукте [10; 24], Ibanoglu S. et al., обоснована пищевая ценность и органолептические показатели питательно сбалансированной безглютеновой экструдированной композиции [25], что подтверждается потребностям человека в энергии и белке, установленными экспертами FAO/WHO [26]. К широко применяемым относят: коэффициент утилитарности незаменимой аминокислоты, коэффициент рациональности аминокислотного состава, показатель сопоставимой избыточности и индекс незаменимых аминокислот.

Многокомпонентные сухие функциональные мучные смеси 3/BC-2 и 2ДС-2 предназначены для изготовления мучных кулинарных изделий для питания детей до года и других возрастных категорий до 18 лет и старше, в связи с чем конструирование осуществлялось с учетом требований FAO/WHO к аминокислотному скору для указанной возрастной группы. Конкретная возрастная группа взята в качестве примера для иллюстрации работоспособности компьютерной программы, а полученные смеси сбалансированны по аминокислотному скору [18; 19]. Сухие функциональные мучные смеси 3/BC-2 и 2ДС-2, спроектированные с помощью программы 1С «Школьное питание», отвечают функциональным требованиям, предъявляемым к эталонному продукту для конкретных возрастных групп детей.

Рецептуры сухих функциональных мучных смесей 3/BC-2 и 2ДС-2 приведены в таблице 12.

Полученные таким образом сухие функциональные мучные смеси подвергали размолу. Измельчение зерновых компонентов проводили с использованием размольно-сортирующего агрегата РСА-4-2 и лабораторного рассева с ситами: $\varnothing$ 2,5 мм; $\varnothing$ 1,6 мм; $\varnothing$ 1,2 мм; $\varnothing$ 0,63 мм; $\varnothing$ 0,45 мм и $\varnothing$ 0,224 мм.

В процессе проведения экспериментальных исследований нами было разработано 2 различных технологических смесей переработки помольных зернобобовых смесей с добавками БАД (пряно-ароматическое сырьё) с получением различных видов муки повышенной пищевой ценности для изготовления мучных кулинарных изделий.

В качестве основного измельчающего технологического оборудования используются на драных системах используются молотковые дробилки, а на размольных системах применяются вальцовые станки с нарезными вальца-

ми. Просеивание производится на рассевах с использованием полиамидного мучного сита с номинальным размером отверстия ячеек 224 микрометра.

Таблица 12.

Рецептуры сухих функциональных мучных смесей 3/ВС-2 и 2ДС-2

Наименование сырья	Смесь функциональная мучная 2ДС-2, г	Смесь функциональная мучная 3/ВС-2, г
Крупа перловая	37,6	12,0
Крупа пшеничная	35,0	22,0
Крупа овсяная	-	6,0
Полба	6,0	-
Чечевица	12,0	26,3
Фасоль	8,0	-
Горох	-	22,0
Соль	1,2	1,2
Кориандр, семена	0,2	0,3
Чёрный перец	-	0,2
Выход	100	100

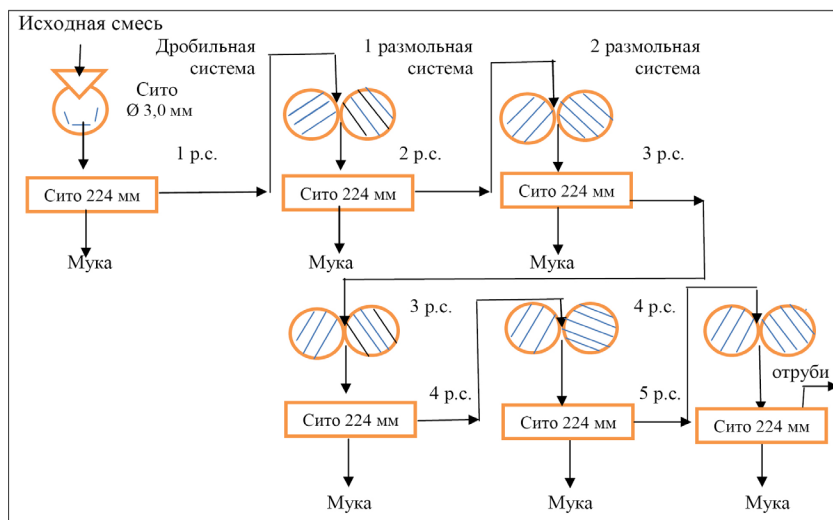


Рис. 1. Схема размола многокомпонентной смеси 2ДС-2

Механико-кинематические параметры молотковых дробилок и вальцовых станков составляют коммерческую тайну, т.к. на разработанные технологические схемы помолов композитных зернобобовых смесей подготовлены

Таблица 13.

**Извлечение обогащенной муки из разработанных многокомпонентных
зернобобовых помольных смесей**

Технологическая система, извлечение	Наименование помольной зернобобовой смеси	
	Смесь 2ДС-2	Смесь 3/ВС-2
1 система, %	26,7	25,8
2 система, %	32,8	33,5
3 система, %	18,2	17,9
4 система, %	12,8	12,7
6 система, %	3,7	3,9
Общий выход муки, %	94,2	93,8

В результате помола и рассеивания через сито 132 мкм получено тонкоизмельченной фракции: для смеси 2ДС-2 – 18,0%, для смеси 3/ВС-2 – 17,4%. Размер промежуточной фракции, составляющей более 450 мкм, которая была максимальной, по сравнению с другими фракциями, выделяемыми в процессе помола. Исследуемые многокомпонентные образцы: 2ДС-2 и 3/ВС-2 могут быть рекомендованы для промышленной переработки многокомпонентных зерновых смесей в муку, которую можно использовать как БАД, оптимизированной по аминокислотному составу для изготовления функциональных мучных кулинарных изделий.

Выводы

1. По результатам проведенных исследований разработаны 2 рецептуры и 2 технологические схемы получения сухих функциональных мучных смесей 3/ВС-2 и 2ДС-2 для производства функциональных мучных кулинарных изделий в питании детей различных возрастных категорий.
2. Получен наибольший выход муки из смесей 3/ВС-2 и 2ДС-2 при использовании разработанных крупобразующих первой и второй дражных системах, фракция муки составляет 157–250 мкм.
3. Определен размер промежуточной фракции - более 450 мкм, которая была максимальной, по сравнению с другими фракциями, выделяемыми в процессе помола. Это является важным фактором при разработке помольных партий особенно при измельчении многокомпонентных зерновых смесей, имеющих различную плотность (бобовые, зерновые, масличные) и иные культуры.
4. Общий выход обогащенной муки из разработанных композитных зернобобовых помольных смесей составил от 93,8% до 94,2%, что свиде-

тельствует о высокой эффективности разработанных технологий и ее не только научной, но и практической значимости.

5. Поставленная в данной исследовательской работе цель разработки рецептур смесей функциональных мучных достигнута. Результаты были ожидаемы, потому что разработки в этом направлении проводились с 2010 года по настоящее время.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Анисимов А.В., Рудик Ф.Я., Загородских Б.П. Совершенствование технологии подготовки зерна к помолу на малых предприятиях // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28. № 4. С. 603-623. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.603-623>
2. Барановская Т.П., Лойко В.И., Макаревич О.А., Богославский Н.С. Потокоская схема интегрированной производственной системы по переработке зерна пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 82. С. 1024-1037.
3. Белов А.А., Коробков А.Н. Способ обеззараживания зерна в электромагнитном поле сверхвысокой частоты // Вестник НГИЭИ, 2015. № 2(45). С. 5-12.
4. Бураго В.А. Математические принципы оптимизации аминокислотного состава композиционных продуктов питания // Известия ТИНРО: Сб-к науч. тр. Известия ТИНРО: Сб-к науч. тр. 2004. Т.138. С. 381-388.
5. Васюкова А.Т., Кусова И.У., Кандроков Р.Х. Исследование гранулометрического состава промежуточных продуктов размола композитной зерновой смеси // Вестник МГУТУ. 2023. № 1. С. 3-9.
6. Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н. Технология переработки зерна тритикале в крупу типа «манная» // Хлебопродукты. 2017. № 1. С. 52–54.
7. Кандроков Р.Х., Панкратов Г.Н., Кусова И.У., Рындин А.А. Влияние межвальцового зазора на крупобразующую способность и гранулометрический состав промежуточных продуктов измельчения зерна тритикале // Хлебопродукты. 2021. № 6. С. 36-38. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-36-38>
8. Кандроков Р.Х., Терентьев С.Е., Лабутина Н.В., Кусова И.У., Рындин А.А. Влияние соотношения помольной смеси зерна пшеницы и семян конопли

- на крупнообразующую способность пшенично-конопляной зерновой смеси // Хлебопродукты. 2021. № 10. С. 41-43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-10-41-43>
9. Лисин П.А., Мусина О.Н., Кистер И.В., Чернопольская Н.Л. Методология оценки сбалансированности аминокислотного состава многокомпонентных пищевых продуктов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. С. 1-6.
 10. Липатов Н.Н., Сажин Г.Ю., Башкиров О.Н. Формализованный анализ amino- и жирокислотной сбалансированности сырья, перспективного для проектирования продуктов детского питания с задаваемой пищевой адекватностью // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 8. С. 11-14.
 11. Лисин П.А. Компьютерные технологии в рецептурных расчетах молочных продуктов. Москва: ДеЛиПринт, 2007. 102 с.
 12. Лисин П.А. Программный модуль «Минимум-максимум» / П.А. Лисин, О.Н. Мусина; регистр. № 20106112628, от 15.04.2010. Роспатент РФ.
 13. Марадудин М.С., Симакова И.В., Елисеев Ю.Ю., Стрижевская В.Н. Исследование композиционных смесей на основе крупы твердых сортов пшеницы и муки из белых бобов для производства макаронных изделий как специализированной пищевой продукции // Вопросы питания, 2024. Т. 93, № 1. С. 125-134. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-125-134>
 14. Михайлова О.В., Коробков А.Н. Изучение технологических операций подготовки зерна к помолу // Вестник НГИЭИ. 2011. С. 4-7.
 15. Рудась П.Г., Семькин Д.В., Петергов А.И., Степанов В.И. Экструдированные пищевые изделия сложных форм и разнообразных вкусов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 9. С. 292-298.
 16. Санжаровская Н.С., Сокол Н.В., Шарифуллина Ю.Б. Совершенствование рецептурного состава бисквитного полуфабриката с использованием муки из полбы // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 14-19. <https://doi.org/10.257127ASTU.2072-8921.2021.02.002>
 17. Скурихин И.М. (ред.) Химический состав российских пищевых продуктов. М.: ДеЛи принт, 2002. 236 с.
 18. Степанов В.И., Иванов В.В., Шариков А.Ю., Поливановская Д.В., Семькин Д.В. Исследование влияния гранулометрического состава экструдированной смеси на процесс экструзии и качество многокомпонентных снежков // Техника и технология пищевых производств. 2016. Т. 43. № 4. С. 129-134.
 19. Тарасенко С.С. Оптимизация процесса подготовки твердой пшеницы к макаронному помолу // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. №1 (176). С. 234-237.

20. Шмалько Н.А., Смирнов С.О. Способ производства хлеба при добавлении амарантовой крупяной муки // Ползуновский вестник. 2018. № 1. С. 27-32. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.01.006>
21. Экспертная система оптимизации состава продуктов и рационов питания: монография / Е.И. Титов [и др.]. Москва: МГУПБ, 2009. 129 с.
22. Brennan M.A., Derbyshire E., Tiwari B.K., Brennan C.S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. // International Journal of Food Science & Technology. 2013. Vol. 48. № 5. P. 893-902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
23. Galkowska D., Witczak T., Witczak M. Ancient wheat flour and quinoa as pasta dough ingredients - evaluation of thermal and rheological properties // Molecules. 2021. Vol. 26. № 22. P. 7033. <https://doi.org/10.3390/molecules26227033>
24. Haenel A., Bez J., Petersen I.L., Amarovich R., Yuskevich J., Zannini E., Arendt E.K. Combining high-protein ingredients from pseudograins and legumes to develop high-protein fresh hybrid pasta: an improved nutritional profile // J Sci Food Agric. 2022. Vol. 102. № 12. P. 5000–5010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11015>
25. Ibanoglu S., Ains-worth P., Ozer E. A., Plunkett A. Physical and sensory evaluation of a nutritionally balanced gluten-free extruded snack // Journal of Food Engineering. 2006. Vol. 75. № 4. P. 469-472. <https://doi.org/10.1016/j.jfood-eng.2005.04.060>
26. Report of expert work group on energy and protein requirements: WHO technical report series. WHO Publication Center Albany. N.Y. 12210. 1985. № 724.
27. Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Akchurina A.I., Bogonosova I.A., Bondarenko Yu.V., Alekseeva A.A. Development of food products enriched with a complex of dietary supplements for children // Process Management and Scientific Developments. Proceedings of the International Conference. Birmingham. 2022. P. 192-199. <https://doi.org/10.34660/INF.2022.17.27.025>
28. Vasyukova A.T., Kusova I. U., Belenkov A. I., Kandrov R. Kh., Dyshekova M. M. Investigation of the degree of grinding of the composite grain mixture // BIO Web of Conferences, 2023. Vol. 67. P. 02008. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236702008>
29. Wang J., Brennan M.A., Serventi L., Brennan K.S. The influence of functional plant ingredients on the technical and nutritional qualities of pasta // Crit Rev Food Sci Nutr. 2022. Vol. 62. № 22. P. 6069-6080. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895712>
30. Zarroug I., Djebali K., Sfahi D., Hemahem M., Boulares M., El Felah M., Mnasser H., Kharrat M. Optimizing the addition of barley flour and inulin to pasta using a mixture formulation approach // J Food Sci. 2022. Vol. 87. № 1. P. 68-79. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16009>

References

1. Anisimov A.V., Rudik F.Ya., Zagorodskikh B.P. Improvement of the technology of grain preparation for milling at small enterprises. *Vestnik of Mordovian University*, 2018, vol. 28, no. 4, pp. 603-623. <https://doi.org/10.15507/0236-2910.028.201804.603-623>
2. Baranovskaya T.P., Loiko V.I., Makarevich O.A., Bogoslavsky N.S. Flow chart of an integrated production system for processing wheat grain. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2012, no. 82, pp. 1024-1037.
3. Belov, A.A.; Korobkov, A.N. Method of grain disinfection in the electromagnetic field of ultra-high frequency. *Bulletin of the National Institute of Energy and Environmental Research*, 2015, no. 2(45), pp. 5-12.
4. Burago, V.A. Mathematical principles of optimization of amino acid composition of composite food products. *Izvestiya TINRO*, 2004, vol. 138, pp. 381-388.
5. Vasyukova A.T., Kusova I.U., Kandrov R.H. Investigation of granulometric composition of intermediate products of composite grain mixture milling. *Bulletin of MSUTU*, 2023, no. 1, pp. 3-9.
6. Kandrov R.H., Pankratov G.N. Technology of processing triticale grain into a coarse meal of the “semolina” type. *Khleboprodukty*, 2017, no. 1, pp. 52-54.
7. Kandrov R.Kh., Pankratov G.N., Kusova I.U., Ryndin A.A. Influence of the interval gap on the gritting ability and granulometric composition of intermediate products of triticale grain milling. *Khleboprodukty*, 2021, no. 6, pp. 36-38. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-6-36-38>
8. Kandrov R.H., Terentyev S.E., Labutina N.V., Kusova I.U., Ryndin A.A. Effect of the ratio of milling mixture of wheat grain and hemp seeds on the gritting ability of wheat-hemp grain mixture. *Khleboprodukty*, 2021, no. 10, pp. 41-43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-10-41-43>
9. Lisin P.A., Musina O.N., Kister I.V., Chernopolskaya N.L. Methodology for assessing the balance of amino acid composition of multi-component food products. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 2013, pp. 1-6.
10. Lipatov N.N., Sazhinov G.Yu., Bashkirov O.N. Formalized analysis of amino- and fatty-acid balance of raw materials, promising for the design of baby food products with a given nutritional adequacy. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2001, no. 8, pp. 11-14.
11. Lisin P.A. *Computer technologies in the recipe calculations of dairy products*. Moscow: DeLiPrint Publ., 2007, 102 p.
12. Lisin P.A. *Program module “Minimum-Maximum”* / P.A. Lisin, O.N. Musina; register. No. 20106112628, 15.04.2010. Rospatent RF.
13. Maradudin M.S., Simakova I.V., Eliseev Yu Yu, Strizhevskaya V.N. Study of composite mixtures based on grits of durum wheat and white bean flour for the

- production of pasta as a specialized food to *Nutrition Issues*, 2024, vol. 93, no. 1, pp. 125-134. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-1-125-134>
14. Mikhaylova O.V., Korobkov A.N. Study of technological operations of grain preparation for milling. *Vestnik of the National Research Institute of Economics and Technology*, 2011, pp. 4-7.
 15. Rudas P.G., Semykin D.V., Petergov A.I., Stepanov V.I. Extruded food products of complex shapes and various flavors. *Vestnik KrasSAU*, 2011, no. 9, pp. 292-298.
 16. Sanzharovskaya N.S., Sokol N.V., Sharifullina Y.B. Improvement of the recipe composition of biscuit semi-finished product using spelt flour. *Polzunov Bulletin*, 2021, no. 2, pp. 14-19. <https://doi.org/10.257127ASTU.2072-8921.2021.02.002>
 17. Skurikhin I.M. (ed.) *Chemical Composition of Russian Food Products*. Moscow: DeLee Print Publ., 2002, 236 p.
 18. Stepanov V.I., Ivanov V.V., Sharikov A.Yu., Polivanovskaya D.V., Semykin D.V. Study of the influence of the granulometric composition of the extruded mixture on the extrusion process and the quality of multicomponent snacks. *Technics and technology of food production*, 2016, vol. 43, no. 4, pp. 129-134.
 19. Tarasenko S.S. Optimization of the preparation process of durum wheat for pasta milling. *Bulletin of Orenburg State University*, 2015, no. 1 (176), pp. 234-237.
 20. Shmalko N.A., Smirnov S.O. Method of bread production with the addition of amaranth groat flour. *Polzunov Bulletin*, 2018, no. 1, pp. 27-32. <https://doi.org/10.257127ASTU.2072-8921.2018.01.006>
 21. *Expert system for optimizing the composition of products and food rations: monograph* / E.I. Titov [et al.]. Moscow: MGUPB Publ., 2009, 129 p.
 22. Brennan M.A., Derbyshire E., Tiwari B.K., Brennan C.S. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 2013, vol. 48, no. 5, pp. 893-902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
 23. Galkowska D., Witczak T., Witczak M. Ancient wheat flour and quinoa as pasta dough ingredients - evaluation of thermal and rheological properties. *Molecules*, 2021, vol. 26, no. 22, 7033. <https://doi.org/10.3390/molecules26227033>
 24. Haenel A., Bez J., Petersen I.L., Amarovich R., Yuskevich J., Zannini E., Arendt E.K. Combining high-protein ingredients from pseudograins and legumes to develop high-protein fresh hybrid pasta: an improved nutritional profile. *J Sci Food Agric.*, 2022, vol. 102, no. 12, pp. 5000–5010. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11015>
 25. Ibanoglu S., Ains-worth P., Ozer E. A., Plunkett A. Physical and sensory evaluation of a nutritionally balanced gluten-free extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 2006, vol. 75, no. 4, pp. 469-472. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.060>
 26. Report of expert work group on energy and protein requirements: WHO technical report series. WHO Publication Center Albany. N.Y. 12210. 1985. № 724.

27. Vasyukova A.T., Krivoshonok K.V., Akchurina A.I., Bogonosova I.A., Bondarenko Yu.V., Alekseeva A.A. Development of food products enriched with a complex of dietary supplements for children. *Process Management and Scientific Developments. Proceedings of the International Conference*. Birmingham, 2022, pp. 192-199. <https://doi.org/10.34660/INF.2022.17.27.025>
28. Vasyukova A.T., Kusova I. U., Belenkov A. I., Kandrov R. Kh., Dyshekova M. M. Investigation of the degree of grinding of the composite grain mixture. *BIO Web of Conferences*, 2023, vol. 67, 02008. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20236702008>
29. Wang J., Brennan M.A., Serventi L., Brennan K.S. The influence of functional plant ingredients on the technical and nutritional qualities of pasta. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2022, vol. 62, no. 22, pp. 6069-6080. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1895712>
30. Zarroug I., Djebali K., Sfahi D., Hemahem M., Boulares M., El Felah M., Mnasser H., Kharrat M. Optimizing the addition of barley flour and inulin to pasta using a mixture formulation approach. *J Food Sci.*, 2022, vol. 87, no. 1, pp. 68-79. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16009>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Васюкова Анна Тимофеевна, д.т.н., профессор, профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
vasyukova-at@yandex.ru

Кусова Ирина Урузмаговна, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
ir.kusowa@yandex.ru

Кандров Роман Хажсетович, к.т.н., доцент, доцент кафедры зерновых, хлебопекарных и кондитерских технологий

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет «РОСБИОТЕХ»
Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
nart132007@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna T. Vasyukova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service
*Russian Biotechnological University “ROSBIOTECH”
11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
vasyukova-at@yandex.ru
SPIN-code: 2889-1457
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-4145>
Researcher ID: AAX-2106-2020
Scopus Author ID: 57215827520*

Irina U. Kusova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Food Industry, Hotel Business and Service
*Russian Biotechnological University “ROSBIOTECH”
11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
ir.kusowa@yandex.ru
SPIN-code: 2889-1457
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8022-7229>
Researcher ID: G-2331-2018
Scopus Author ID: 57191155074*

Roman Kh. Kandrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Grains, Bakery and Confectionery Technologies
*Russian Biotechnological University “ROSBIOTECH”
11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
nart132007@mail.ru
SPIN-code: 7081-1209
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-2918>
Researcher ID: AAX-2106-2020
Scopus Author ID: 57200383950*

Поступила 23.04.2024

После рецензирования 02.05.2024

Принята 27.06.2024

Received 23.04.2024

Revised 02.05.2024

Accepted 27.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1347

EDN: TTKBGD

UDC 574.4



Original article

TAKING PLATFORMS BEYOND HUMAN-CENTRIC APPROACH: PLATFORMS FOR HUMAN-NON-HUMAN INTERACTIONS

I.D. Kotliarov

Abstract

Background. Platforms are generally seen as places for interaction between people. This assumption can be viewed as a manifestation of human-centric speciest approach which is now being abandoned in the social research. It means that an analysis of potential use of platform model by non-human animals is in order.

The goal of the present research essay is to go beyond this speciest approach and to find out if non-human sides can be present on platforms.

Research methodology. The theory used in the present research essay is based on key features of platforms described in the literature (network effects, competition, autonomy of users). The paper is conceptual and does not draw on empirical data.

Research findings. The paper demonstrates that platforms can be used for human-non-human interaction. Platforms can be initiated not only by people, but also by animals. People and animals can belong to the same side of a platform. These results show that platform approach can be used to analyze and to organize interactions between people and animals. Beyond the human-non-human interactions, the paper contributes to a better understanding of models of platform transformation. The paper sheds light on the nature of sides' participation in platform interactions and shows that one of the sides may not be interested in these interactions and is turned into a platform side against its will. It demonstrates that platform transformation can be forced (carried out against the will of the owner of the infrastructure that is used as a marketplace) and induced (carried out by external actors). Forced platformization can be seen as a dark platform practice. While owners of infrastructure may be interested in platform transformation, they should protect their infrastructures against forced platformization.

Conclusion. The contribution of this paper is two-fold. First, it enriches our understanding of human-non-human interactions by demonstrating that they can be based on platform approach. Second, it contributes to platform research as it

identifies new models of platform transformation that have not been described in the extant literature. A prospective direction of further research is use of platform approach by non-human animals (without a human side).

Keywords: platform; human-non-human platforms; forced platform transformation; dark platform practices; speciecism; specieclist approach

For citation. Kotliarov I.D. Taking Platforms Beyond Human-Centric Approach: Platforms for Human-Non-Human Interactions. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 476-489. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1347

Научная статья

ПЛАТФОРМЫ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ЧЕЛОВЕКОЦЕНТРИЧНОГО ПОДХОДА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЮДЕЙ С ДРУГИМИ ВИДАМИ

И.Д. Котляров

Аннотация

Обоснование. Платформы обычно рассматриваются как площадки для взаимодействия между людьми. Такое восприятие платформ представляет собой проявление человекоцентричного специецистского подхода, который в настоящее время постепенно уступает свое место в социальных науках неспециецистской логике. По этой причине большой интерес может представлять анализ возможности использования платформ нечеловеческими живыми существами.

Цель данного исследовательского эссе заключается в том, чтобы выйти за пределы специецистского подхода и определить, могут ли нечеловеческие живые существа присутствовать на платформах в качестве их сторон.

Материалы и методы: теория, использованная в данной работе, основана на ключевых характеристиках платформ, описанных в литературе (сетевые эффекты, конкурентное сотрудничество, автономия пользователей). Работа является концептуальной и не опирается на эмпирические данные.

Результаты исследования. Данная работа показывает, что платформы могут использоваться для взаимодействия людей с другими видами. Такие межвидовые платформы могут создаваться по инициативе как людей, так и

животных. Люди и другие виды живых существ могут находиться на одной стороне платформы. Эти результаты показывают, что платформенный подход может быть использован для анализа и организации взаимодействий между людьми и другими видами животных. Помимо нового взгляда взаимодействия людей и других видов, полученные результаты также позволяют лучше понять природу платформенной трансформации. Данное исследование уточняет природу участия сторон в платформенном взаимодействии и показывает, что одна из сторон может не быть заинтересована в нем и становится стороной платформы против своей воли. Кроме того, платформенная трансформация может быть принудительной для владельца инфраструктуры, используемой в качестве платформы, и реализованной внешними акторами. Принудительная платформизация может рассматриваться как недобросовестная платформенная практика. Хотя собственники инфраструктуры могут быть заинтересованы в платформенной трансформации, им необходимо принимать меры по защите от принудительной платформизации.

Заключение. Данная работа содержит два основных результата. Во-первых, она обогащает наше понимание взаимодействий между людьми и другими видами, показывая, что оно может быть основано на платформенном подходе. Во-вторых, она вносит вклад в исследование платформ, поскольку она идентифицирует новые модели платформенной трансформации, которые пока не были описаны в существующей литературе. Перспективным направлением дальнейших исследований является определение того, могут ли существовать платформы без участия человека.

Ключевые слова: платформа; платформы для взаимодействия людей и других видов; принудительная платформенная трансформация; недобросовестные платформенные практики; специализм; специалистский подход

Для цитирования. Котляров И.Д. Платформы за пределами человекоцентричного подхода: использование платформ для взаимодействия людей с другими видами // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 476-489. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1347

Introduction

Platforms have deeply transformed global economic, business, political and social landscapes over the last decades [14; 40]. People buy goods on Amazon, post their videos on YouTube, exchange opinions in Telegram, support projects on Kickstarter, order rides on Uber, find lodging on Airbnb, resell second-hand items on Etsy and Ebay, study on Coursera – the list is endless. This ubiquitous presence of platforms makes them an interesting object of study. However,

there is an important assumption that is taken for granted in platform research – that platforms are a human phenomenon. Indeed, all examples of platforms that are analyzed in the extant literature are human ones (that is, only humans or human-created structures use them for interactions) and to the best of my knowledge no attempts have been made to find out if platforms can be used by non-human animals. This assumption is a manifestation of the speciecist logic which is slowly but steadily giving ground to non-speciecist approach in social sciences [2; 4; 9; 22; 23; 43]. As Greenebaum and Sanders state, “Human interaction with nonhuman animals is a central feature of contemporary social life” [12]. Inclusion of non-human animals into social studies can help to identify differences and similarities in organization of human-non-human communities and societies and to better understand the universal features they have in common [41]. Non-speciecist approach to platforms can enrich our knowledge of this model of interactions.

Goal of the research

The goal of the present research essay is to demonstrate the existence of platforms in human-non-human interactions (more precisely, in exchange of food between people and animals). This goal is twofold as it can foster the platform research by including non-human animals into analysis and contribute to a better understanding of human-non-human interactions by applying platform approach.

Methodology

Hagiu and Wright [16] describe platforms as places for direct interactions of a large (potentially unlimited) number of affiliated users. “Affiliation” means that users on each side consciously make platform-specific investments necessary to access the platform (for example, spend time to drive to a shopping mall). Large number of users is present on each side of platforms so the supply and the demand are both decentralized.

Key features of platforms are:

- Coopetition – while suppliers compete for customers (and customers compete with each other for the limited supply) they create a complex offer that makes a platform attractive for users on the demand side. Customers, in their turn, create a combined demand (an audience) that attracts potential suppliers;
- Network effects – the more there are sellers on a platform, the more attractive the platform is for customers and vice versa [33];

- Autonomy of participants: users interacting on a platform are not controlled by this platform or by any other centralized entity [33].

Platforms analyzed in the literature are set up and run by platform operators – specific organizations which invest into digital infrastructures and develop their institutional rules [13; 16; 25]. However, platforms can also emerge naturally without external support. This situation usually takes place when there is a potential platform side (in most cases – a crowd of potential customers) that gathers in a specific location (so the platform is not empty [38]) which is free to access. In this case participants from the other side are naturally attracted to this location by the presence of this crowd. Informal markets near to subway or real stations belong to this type of platform. Potential platform side is formed by passengers concentrated in these stations and the passengers' purchasing power attracts potential sellers. It means that arriving sellers transform passengers into demand side of the platform, while the location becomes a platform.

Another misconception about platforms is that users from both sides (or all sides – in case of multi-sided platforms) are willing to participate in platforms. While it is indeed true for organized platforms (run by platform operators), affiliation to natural platforms may not be comfortable for one of the sides. For example, passengers who commute via railway or subway stations transformed into informal marketplaces may be unhappy because of unwanted advertising, overcrowding etc. For these commuters their transformation into platform side may be undesirable (from their point of view sellers forcefully occupy the public transport infrastructure that was not intended to be used as a marketplace). Within the definition of platforms proposed by Hagiu and Wright [16] one can say that in case of natural platforms users' affiliation to an infrastructure (for example, affiliation to railway and subway stations) is transformed into affiliation to platform. It naturally solves the chicken-and-egg problem typical for platforms [11; 38] as one of the sides is already affiliated to the infrastructure that will be turned into platform by the occupying side. In simple words, the occupying side parasitize on passengers' affiliation to public transport infrastructure. The major inconvenience is that while users of organized platforms can simply leave them in case of dissatisfaction, users (or, maybe, prisoners) of natural platforms cannot leave without abandoning the infrastructures they use for other purposes (for example, for commuting). The occupying side also parasitize on the public infrastructure turned into a marketplace.

Obviously natural platforms are not always uncomfortable and many of them do create value for their users. However, one should take into account that people who are present on platforms may actually be unwilling to participate.

Finally, it is noteworthy that interacting users are not necessarily in direct contact with each other. Their interactions (exchanges, swaps, sales etc) can take place without personal contact. Historical examples of such contactless transactions include the famous silent trade (however, it was not based on platform model) [10; 28; 39]. Present contactless platforms are represented by public fridges for food sharing and public bookshelves for bookcrossing [3; 7; 29]. People who take free books from these shelves do not interact directly with persons who left these books, however, an exchange between them does take place.

Platforms can be digital and physical (city markets, shopping malls etc). The extant literature is mostly dedicated to digital marketplaces. However, only physical platforms will be analyzed in the present paper.

These concepts (potential absence of platform operators, possibility of natural emergence of a platform, unwillingness of one of the sides to participate in platforms, indirect or contactless transactions) are essential for understanding platforms that emerge in human-non-human interactions (HNH platforms).

The paper is situated on the crossroads of economic anthropology and anthrozoology. It is conceptual and does not use empirical data. While there are some examples that support key ideas set out in the present essay, they cannot be considered as case studies.

Research results

While there are many urban places where people interact with and encounter animals (circuses, traditional and petting zoos, animal markets [30], animal shelters [32; 35], cat cafés [42] etc), they cannot be viewed as HNH platforms. They are either just centralized organizations that own animals (circuses, zoos etc; it means that they are not platforms at all as animals do not have any autonomy) or platforms for interaction between pet owners and buyers (pet markets), that is, platforms for transactions between people. This is why these places will not be analyzed in the present paper.

Most urban dwellers are familiar with the following situations:

1. There are places where animal supporters purposefully bring food for stray dogs, community cats [19] etc. Quite often the food is provided by many people who do not know each other, but are aware that animals come to this place (so the food brought to these places will be used as intended). These places are normally located near apartment block entrances, dumpsters etc. Interestingly enough, as now wild animals are often seen in cities they also benefit from food left in these locations (along with stray animals for whom this food was initially intended) [24; 27; 36]. For example, in

Vsevolozhsk, a small town near St. Petersburg (Russia), this food is taken not only by dogs and cats, but also by hedgehogs;

2. Animals (dogs, cats, birds) are gathering near open restaurants where they hope to find food. Birds take food from plates themselves when patrons have already left, while dogs and cats are usually approaching patrons asking them for food;
3. Animals are gathering on landfills and dumpsters where people throw out food and food waste.

As one can easily see, all these situations can be described as platforms as there are two independent collective sides (people and animals) which interact with each other. It means that platforms can emerge not only to facilitate transactions between people, but also for human-non-human interactions. However a further analysis is in order.

The situation 1 is a classical natural platform (as there is no central operator). Normally such platforms evolve as follows: a person leaves food for stray animals in a specific location. Animals attracted by this food start coming to this place. Other animal supporters among local dwellers who see that there is a place where animals are gathering start bringing food to this location. This way of development perfectly corresponds to the platform evolution model. These places have key features of platforms:

- Network effects: the more food is left there, the more this place is valuable for animals and the more animals come there the more this place is valuable for animal supporter who bring food;
- Coopetition: while animals compete for the limited supply of food, they create a collective demand.

These platforms are created by people on purpose, animals just react to the supply of food. Both sides are interested in this interaction as food givers want to provide support to stray animals and animals want to get food. Obviously these platforms can create negative externalities for local communities that may be unhappy with noise, dirt [5] etc. Moreover, local dwellers may be afraid of large groups of stray animals [36]. However, the key feature is that both food givers (people) and food takers (animals) are interested in this interaction.

The interaction between people and animals on these platforms can be direct and indirect. It means that animals can be present in these locations when people bring food (and in this case the interaction is direct), or animals can come when there are no people (indirect interaction).

The situation 2 is totally different. While it is also a natural platform, it emerges in a different way. Animals exploit infrastructure which is initially intended for

other purposes (open restaurants) and transform it into a platform (that is, unlike the situation 1, human-non-human interaction is initiated by animals; it means that animals can play an active role in emergence of HNH platforms). Platform interactions may be indirect (as the example of birds shows) and direct (with cats and dogs). Patrons are transformed into a platform side against their will (as they come to restaurant to spend time and to eat, not to be surrounded by animals looking and asking for food). It means that the platform side role is imposed on patrons and their participation in this platform is involuntary. Patrons' reactions to this forced platform transformation may be different (some people can enjoy giving extra food to cats and dogs and for them feeding animals is an additional entertainment) and include anger and discomfort. It leads to negative network effects, or, more precisely, while for animals network effects are positive, for patrons they are negative: more food makes these restaurants more attractive for animals, however, the more animals the fewer patrons. Obviously, like for the situation 1, cooperation is also present among animals.

The transformation of the restaurant into a platform also takes place against the will of its owner. It means that the platform transformation is forced not only for one of the platform sides, but also for the owner of the platform infrastructure (this is why forced platform transformation can be seen as a dark platform practice). In simple words, non-platform infrastructures that can potentially be used as marketplaces are often not protected against forced platform transformation. Owners of these infrastructures should not only develop strategies of platform transformation [14; 15], but also eliminate risks of forced platformization.

It also means that platform transformation of an infrastructure can be induced, that is, carried out by external actors, not by its owner.

Such forced platforms exist not only in human-non-human interactions. Open restaurants (especially fast-food restaurants) are surrounded not only by animals, but also by beggars asking for money. Their presence may be uncomfortable for customers.

This example demonstrate that natural platforms can emerge in two ways:

- When there is a centralized supply of a specific resource by a crowd of providers and potential users of this resource can access this supply. In this case users simply gather in the place where this resource is supplied. In case of human-only platforms this situation corresponds to informal marketplaces near metro stations described above. In case of HNH platforms the situation 2 follows this model;
- When additional providers can follow the first supplier who offered a product to potential users in a specific location. When customers react

to this offer (and create a demand) other suppliers discover the potential of this place and join it forming the supply side for this platform. It is important to highlight that the first provider is not the operator of the platform as other suppliers join it freely without his or her permission. Neither did this supplier intend to transform this location into a platform (in human only-platforms this supplier would even prefer to avoid this transformation in order not to create competition with his or her own offer). The supply side emerged naturally around this supplier. This model corresponds to the situation 1.

In both cases platforms emerge on the basis of potential demand sides. In the first model the demand side already exists thanks to a point of attraction. In the second model this demand side is created thanks to efforts of the first supplier.

The situation 3 is similar to the situation 2. The difference is that interactions between people and animals are mostly indirect. People throw out food into dumpsters and animals come later, when there are no local dwellers around. However, if dumpsters attract many animals they can gather in large groups and stay there even if there are people and in this case direct contacts between animals and people can take place [36]. It is noteworthy that these contacts are not food-related. Animals do not beg for food (as they can easily get it from dumpsters), it is simply not possible for a person to reach the dumpster without going by a group of dogs or cats. These groups of animals may be uncomfortable, scaring or even dangerous for local dwellers. Network effects are positive for both sites until these direct contacts are avoided. As soon as the contact becomes direct network effects become negative for people.

The situation 3 demonstrates that interactions on a platform are not necessarily resource-related. Sides may have to interact on a platform even if they do not exchange resources directly.

Just like in the situation 2, dumpsters are used as a source of food not only by animals, but also by people [6; 21; 31; 34]. The situation 2 and 3 demonstrate that people and animals are not always situated on the different sides of a platform, they may well belong to the same side.

Obviously the list of situations of platform interactions analyzed in the present research essay is not exhaustive. One can easily remember other situations (for example, people feeding swans, ducks and squirrels in city parks [37]; places for sky burials can be another example, probably a less nice one [17; 18; 26]). However, providing a full list of HNH platforms is beyond the scope of this paper.

Conclusion

This research essay shows the following:

- Platform model is not human-specific. It is universal and can be used for interactions between people and animals. This result adds up to the emerging field of research in non-anthropocentric economic structures and organizations [1]. It is noteworthy, however, that all examples analyzed in this paper represent human-non-human interactions (that is, they include a human side). It is important to find out if there are any non-human platforms (platforms that do not have a human side);
- Despite the common belief, platform transformation may be involuntary (and value destroying) for one of the sides of the platform as well as for the owner of the infrastructure that is used as the marketplace (this phenomenon can be described as forced platform transformation or forced platformization). This research contribution is twofold. First, it extends the list of potential models of platform transformation and shows that it can be carried out by external actors against the will of the infrastructure owner. Infrastructure owners should not only develop strategies of platform transformation [14; 15] but also work out tools in order to protect their infrastructures against forced platformization. Second, this finding contributes to the analysis of dark platform practices which remain understudied in the literature [8; 20];
- Platforms can emerge naturally without efforts of an operator if there is a potential platform and an infrastructure that can be used as a marketplace. Platforms can be initiated by human actors as well as by non-human ones (which means that non-human animals are not just passive users of platforms initiated by people). People and animals can belong to the same side of a platform.

These results are important not only for human-non-human interactions, but for platform research in general as they enrich our understanding of the platform model and demonstrate that it can be used beyond the common assumptions.

References / Список литературы

1. Agafonow A., Perez M. In search of a non-anthropocentric middle-range theory of the firm: On how the Patagonia Purpose Trust granted a controlling stake to nature. *Ecological Economics*, 2024, vol. 217, 108076. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108076>
2. Arcari P. Normalised, human-centric discourses of meat and animals in climate change, sustainability and food security. *Agriculture and Human Values*, 2017, vol. 34, pp. 69-85. <https://doi.org/10.1007/s10460-016-9697-0>

3. Bakharev V., Mityashin G., Stelmashonok E., Stelmashonok V., Chargasiya G. Trends of evolution of food security: digital transformation, social entrepreneurship and human dignity. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15(2), pp. 363-391. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391>
4. Bernstein A., Sivkov D. Yu. Resurrection is possible not only for people. *The Russian Peasant Studies*, 2024, vol. 9(3), pp. 119-126. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2024-9-3-119-126>
5. Caiza-Villegas A., Ginn F., van Hoven B. Learning to live with synanthropic bats: Practices of tolerance and care in domestic space. *Social & Cultural Geography*, 2023, vol. 25(6), pp. 909-927. <https://doi.org/10.1080/14649365.2023.2209054>
6. Clarke A., Parsell C. Resurgent charity and the neoliberalizing social. *Economy and Society*, 2022, vol. 51(2), pp. 307-329. <https://doi.org/10.1080/03085147.2021.1995977>
7. Corciolani M., Dalli D. Gift-giving, sharing and commodity exchange at Bookcrossing.com: new insights from a qualitative analysis. *Management Decision*, 2014, vol. 52(4), pp. 755-776. <https://doi.org/10.1108/MD-03-2012-0241>
8. Cowden B. J., Young S. L. The copycat conundrum: The double-edged sword of crowdfunding. *Business Horizons*, 2020, vol. 63(4), pp. 541-551. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2020.03.012>
9. Cudworth E. Beyond speciesism: Intersectionality, critical sociology and the human domination of other animals. In *The rise of critical animal studies: From the margins to the centre*, eds. R. Twine, and N. Taylor. New York: Routledge, 2014, pp. 19-35. <https://doi.org/10.4324/9780203797631>
10. Dolfma W., Spithoven A. “Silent Trade” and the Supposed Continuum between OIE and NIE. *Journal of Economic Issues*, 2008, vol. 42(2), pp. 517-526. <https://doi.org/10.1080/00213624.2008.11507161>
11. Evans D.S., Schmalensee R. Multi-sided Platforms. In: *The New Palgrave Dictionary of Economics*. Palgrave Macmillan, London, 2017, pp. 1-9. https://doi.org/10.1057/978-1-349-95121-5_3069-1
12. Greenebaum J., Sanders C.R. Human-Non-Human Interaction. In *The Blackwell Encyclopedia of Sociology*, G. Ritzer (Ed.). 2015. <https://doi.org/10.1002/9781405165518.wbeosh050.pub2>
13. Hagiu A. Merchant or Two-Sided Platform. *Review of Network Economics*, 2007, vol. 6(2), pp. 115-133. <https://doi.org/10.2202/1446-9022.1113>
14. Hagiu A., Altman E. J. Finding the Platform in Your Product. *Harvard Business Review*, 2017, vol. 95(4), pp. 94-100.

15. Hagiú A., Bruno J., Wright J. Creating Platforms by Hosting Rivals. *Management Science*, 2020, vol. 66(7), pp. 3234-3248. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2019.3356>
16. Hagiú A., Wright J. Multi-sided platforms. *International Journal of Industrial Organization*, 2015, vol. 43, pp. 162-174. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2015.03.003>
17. Huff D. Archaeological Evidence of Zoroastrian Funerary Practices. In *Zoroastrian Rituals in Context*. Leiden, The Netherlands: Brill, 2004. https://doi.org/10.1163/9789047412502_027
18. Hutter M. The Impurity of the Corpse (nasā) and the Future Body (tan ī pasēn): Death and Afterlife in Zoroastrianism. *Deuterocanonical and Cognate Literature Yearbook*, 2009, vol. 2009(2009), pp. 13-26. <https://doi.org/10.1515/9783110208818.13>
19. Johnston J. Transspecies liminality: unpacking the politics and patchy legitimization of urban human-cat relations. *Social & Cultural Geography*, 2023, vol. 25(6), pp. 928–946. <https://doi.org/10.1080/14649365.2023.2209055>
20. Karhu K., Gustafsson R., Lyytinen K. Exploiting and Defending Open Digital Platforms with Boundary Resources: Android's Five Platform Forks. *Information Systems Research*, 2018, vol. 29(2), pp. 479-497. <https://doi.org/10.1287/isre.2018.0786>
21. Lehtonen T.-K., Pyyhtinen O. From Trash to Treasure: Valuing Waste in Dumpster Diving. *Valuation Studies*, 2020, vol. 7 (2), pp. 197-220. <https://doi.org/10.3384/VS.2001-5992.2020.7.2.197-220>
22. Lundström M. The Political Economy of Meat. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 2019, vol. 32, pp. 95-104. <https://doi.org/10.1007/s10806-019-09760-9>
23. Lundström M. “We do this because the market demands it”: alternative meat production and the speciesist logic. *Agriculture and Human Values*, 2019, vol. 36, pp. 127–136. <https://doi.org/10.1007/s10460-018-09902-1>
24. Luniak M. Synurbanization – adaptation of animal wildlife to urban development. *The 4th International Symposium On Urban Wildlife Conservation*. Shaw et al., Eds. 2004, pp. 50-55. https://costaricasilvestre.go.cr/wp-content/uploads/2019/04/1f_37_synurbization-adaptation-of-animal-wildlife-to-urban.pdf
25. Mair J., Reischauer G. Capturing the dynamics of the sharing economy: Institutional research on the plural forms and practices of sharing economy organizations. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, vol. 125, pp. 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.023>

26. MaMing R., Lee L., Yang X., Buzzard P. Vultures and sky burials on the Qinghai-Tibet Plateau. *Vulture News*, 2016, vol. 71, pp. 22-35. <https://doi.org/10.4314/vulnew.v71i1.2>
27. Messmer T. A. The emergence of human–wildlife conflict management: turning challenges into opportunities. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2000, vol. 45(3-4), pp. 97-102. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00045-7](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00045-7)
28. de Moraes Farias P. F. Silent Trade: Myth and Historical Evidence. *History in Africa*, 1974, vol. 1, pp. 9-24. <https://doi.org/10.2307/3171758>
29. Morrow O. Sharing food and risk in Berlin’s urban food commons. *Geoforum*, 2019, vol. 99, pp. 202-212, <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.003>
30. Nijman V., Morcatty T., Smith J. H., Atoussi S., Shepherd C. R., Siriawat P., Nekaris A. I. Bergin D. Illegal wildlife trade – surveying open animal markets and online platforms to understand the poaching of wild cats. *Biodiversity*, 2019, vol. 20(1), pp. 58–61. <https://doi.org/10.1080/14888386.2019.1568915>
31. Pyyhtinen O., Lehtonen T.-K. The gift of waste: The diversity of gift practices among dumpster divers. *Anthropological Theory*, 2023, vol. 23(2), pp. 209-231. <https://doi.org/10.1177/14634996221117318>
32. Reese L. A. Community factors and animal shelter outcomes. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2022, vol. 27(1), pp. 105–123. <https://doi.org/10.1080/10888705.2022.2063021>
33. Reinartz W., Wiegand N., Wichmann J. R. K. The Rise of Digital (Retail) Platforms. University of Cologne, Cologne. 2019. https://marketing.uni-koeln.de/sites/marketingarea/Document/Research/2019_IFH_Whitepaper_ENG_Reinartz_Wiegand_Wichmann.pdf (accessed 07.01.2024).
34. Savio G. Organization and Stigma Management: A Comparative Study of Dumpster Divers in New York. *Sociological Perspectives*, 2017, vol. 60(2), pp. 416-430. <https://doi.org/10.1177/0731121416632012>
35. Skrzypek K., Zawojcka E. What characteristics of dogs help them stay shorter in shelters? Evidence from a polish animal shelter. *Journal of Applied Animal Welfare Science*, 2024, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1080/10888705.2024.2308171>
36. Soulsbury C. D., White Piran C. L. Human–wildlife interactions in urban areas: a review of conflicts, benefits and opportunities. *Wildlife Research*, 2016, vol. 42, pp. 541-553. <https://doi.org/10.1071/WR14229>
37. Valença T., Resende B., Savalli C. Human–Wildlife Interactions with Different Species in a Brazilian Park: A Naturalistic Approach. *Anthrozoös*, 2021, vol. 34(5), pp. 615–631. <https://doi.org/10.1080/08927936.2021.1914443>

38. Veisdal J. The dynamics of entry for digital platforms in two-sided markets: a multi-case study. *Electronic Markets*, 2020, vol. 30, pp. 539–556. <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00409-4>
39. Woodburn J. Silent trade with outsiders: Hunter-gatherers' perspectives. *HAU: Journal of Ethnographic Theory*, 2016, vol. 6(2), pp. 475–496. <https://doi.org/10.14318/hau6.2.030>
40. Yablonsky S. A. Multi-sided Platforms: Current State And Future Research. *Russian Management Journal*, 2020, vol. 17(4), pp. 519–546. <https://doi.org/10.21638/spbu18.2019.407>
41. York R., Mancus P. The Invisible Animal: Anthrozoology and Macrosociology. *Sociological Theory*, 2013, vol. 31(1), pp. 75–91. <https://doi.org/10.1177/0735275113477085>
42. Zhao Y., Chen P., Kong X. More than human consumption space: human–animal encounters and relationships in cat cafés in Shanghai. *Social & Cultural Geography*, 2023, vol. 25(6), pp. 872–890. <https://doi.org/10.1080/14649365.2023.2206791>
43. Zvonova E. E. Animal immortality in Russian cosmism: Scientific and religious aspects. *The Russian Peasant Studies*, 2024, vol. 9(3), pp. 92–104. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2024-9-3-92-104>

DATA ABOUT THE AUTHOR

Ivan D. Kotliarov, Cand. Sc. (Economics), Associate Professor, Graduate School of Service and Trade
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
29B, Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
ivan.kotliarov@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0119-9392>
SPIN-code: 6885-0692

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Котляров Иван Дмитриевич, к.э.н., доцент, Высшая школа сервиса и торговли
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
ул. Политехническая, 29Б, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация
ivan.kotliarov@mail.ru

Поступила 05.10.2024

После рецензирования 20.11.2024

Принята 30.11.2024

Received 05.10.2024

Revised 20.11.2024

Accepted 30.11.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

EDN: YELFKB

УДК 663.12



Научная статья

ПОВЕДЕНИЕ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ И ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ВОДНОГО РАСТВОРА

*А.Г. Погорелов, Л.Г. Ипатова, А.И. Панаит,
М.А. Погорелова, А.А. Станкевич, О.А. Суворов*

Аннотация

Обоснование. Актуальной задачей в пищевой промышленности является интенсификация технологических процессов. Применение фракций электрохимически активированного водного раствора (ЭХАР), обладающих высокой физико-химической активностью, позволяет ускорить биохимические реакции.

Цель – показать влияние на рост и функциональную активность дрожжей фракций ЭХАР, на которых были приготовлены опара и пивное сусло.

Методы исследования: общепринятые методики оценки качества опары, сусла, сканирующая электронная микроскопия ультраструктуры поверхности дрожжевых клеток.

Результаты. В образцах на католите отмечали повышение титра клеток (в жидкой опаре на 71%, в густой опаре – в 2,7 раза), максимальную долю почкующихся клеток (~22%) и минимальное количество мертвых клеток (~3,5%), а также увеличение подъемной силы на ~21% по сравнению с контрольным образцом. Применение католита обеспечило более глубокое сбраживание пивного сусла и стимулировало бродильную активность клеток. В сусле на анолите снижалась бродильная активность дрожжей, медленнее росла биомасса и увеличивалась доля мертвых клеток. На поверхности клеток наблюдаются множественные тонкие трещины, свидетельствующие о повреждении клеточной стенки. Выявленные нарушения целостности клетки согласуются с описанными выше данными об угнетении развития дрожжевых клеток в пивном сусле на основе анолита.

Заключение. Введение католита в рецептуру позволяет модифицировать способ приготовления опары в технологии производства хлеба, реактивировать

сухие дрожжи перед их использованием, восстанавливать активность дрожжей после их длительного хранения. Выявленные закономерности действия фракций ЭХАР на подъемную силу дрожжей в опаре и на экстрактивность сусле, могут быть использованы для безреагентного регулирования брожения.

Ключевые слова: анолит; католит; дрожжи; брожение; опара; сусло

Для цитирования. Погорелов А.Г., Ипатова Л.Г., Панайт А.И., Погорелова М.А., Станкевич А.А., Суворов О.А. Поведение хлебопекарных и пивных дрожжей в технологических условиях при использовании электрохимически активированного водного раствора // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 490-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

Original article

BEHAVIOR OF BAKER'S AND BREWER'S YEAST UNDER TECHNOLOGICAL CONDITIONS USING ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED AQUEOUS SOLUTION

*A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, A.I. Panait,
M.A. Pogorelova, A.A. Stankevich, O.A. Suvorov*

Abstract

Background. Intensification of technological processes is an urgent task in the food industry. The use of fractions of electrochemically activated aqueous solution (ECAS), possessing high physical and chemical activity, allows to accelerate biochemical reactions.

Purpose. The aim is to show the effect on the growth and functional activity of yeast of the ECAS fractions on which the sponge and beer wort were prepared.

Methods: common methods for assessing quality of sponge, wort, scanning electron microscopy of yeast cell surface ultrastructure.

Results. In the samples on catholyte, an increase in cell titre (in liquid sponge by 71%, in thick sponge by 2.7 times), a maximum proportion of budding cells (~22%) and a minimum number of dead cells (~3.5%), as well as an increase in lifting force by ~21% compared to the control sample were observed. The application of catholyte provided deeper digestion of beer wort and stimulated fermentative activity of cells. In the wort on anolyte the fermentation activity of yeast decreased, biomass grew slower and the proportion of dead cells increased. Multiple thin cracks were observed on the surface of cells, indicating damage to the cell wall. The detected cell

integrity violations are consistent with the above described data on the inhibition of yeast cell development in anolyte-based beer wort.

Conclusion. The introduction of catholyte into the formulation allows to modify the method of preparation of sponge in bread production technology, to reactivate dry yeast before its use, to restore the activity of yeast after its long-term storage. The revealed regularities of the effect of ECAS fractions on the yeast lifting power in the sponge and on the extractivity of the wort can be used for agent-free regulation of the process.

Keywords: anolyte; catholyte; yeast; fermentation; sponge; wort

For citation. Pogorelov A.G., Ipatova L.G., Panait A.I., Pogorelova M.A., Stankevich A.A., Suvorov O.A. Behavior of baker's and brewer's yeast under technological conditions using electrochemically activated aqueous solution. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 490-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

Введение

Существенным показателем, определяющим технологические свойства воды, является окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), который может быть изменен в широком диапазоне методом диафрагменного электролиза [1-4]. В результате получаем окисленную (анолит) и восстановленную (католит) фракции электрохимически активированного водного раствора (ЭХАР). Эти метастабильные фракции обладают аномальными свойствами [5; 6]. Для анолита значение ОВП увеличивается до +800 мВ притом, что показатель pH сдвигается в кислую сторону, а в растворе снижается содержание водорода [4; 7-11]. Наоборот, католит приобретает щелочную реакцию, а значение ОВП отрицательные значения, при этом в нем снижается концентрация кислорода [5; 12].

В пищевой промышленности роль ЭХАР заключается в безреагентном управлении свойствами пищевых систем, включая экстракцию, обеззараживание, окисление и восстановление, изомеризацию [13-21], а также биокатализ [2; 22-24]. Вода – важный ингредиент теста, который оказывает влияние на свойства целевого продукта. Например, в результате действия ЭХАР изменились склеивающие свойства и термические характеристики, кулинарные и текстурные показатели рисовой лапши [25]. О полимеризации белков, вызванной обработкой слабокислым анолитом, свидетельствовали профили молекулярно-массового распределения белков и изменения морфологии лапши [26]. Меняя окислительно-восстановительные характеристики полуфабрикатов, свойства броидильной микрофлоры, реологиче-

ские характеристики теста и качество изделий, фракции ЭХАР способны играть значимую роль в хлебопечении [20; 27-29]. Производство напитков рассматривают как одну из наиболее перспективных областей применения ЭХАР [30]. Для пивоварения актуальна задача сокращения времени получения сусла, а также повышения бродильной активности дрожжей. Одним из способов её решения может стать применение фракций ЭХАР, в результате чего меняется кинетика биохимических реакций, например, за счет более глубокого гидролиза полисахаридов и белков [31; 32].

Эмпирические наблюдения применения ЭХАР в хлебопечении и пивоварении демонстрируют перспективность этого направления и подтверждают необходимость углубленных исследований эффектов и механизмов действия анолита и католита в пищевых технологиях. Особого внимания требует изучение реакции дрожжей - живых организмов, поведение которых вносит наибольшую неопределенность в конечный результат.

Для сложных многокомпонентных биологических матриц, которыми являются опара или сусло, присутствие в них дрожжевых клеток создает характерные органолептические признаки конечного продукта. Клеточные мишени остаются наиболее чувствительными к действию ЭХАР. В этом смысле дрожжи представляют собой естественный тест-объект, быстро реагирующий на технологические инновации.

Цель исследования

Цель работы состояла в том, чтобы в лабораторных экспериментах оценить реакцию дрожжевых клеток на фракции ЭХАР, для чего изучали хлебопекарные дрожжи в условиях густой и жидкой опары, а также пивные дрожжи в пивном сусле.

Материалы и методы исследования

- Фракции ЭХАР анолит (pH 2.9, ОВП +700 мВ) и католит (pH 11.2, ОВП -400 мВ), получали электролизом питьевой воды из трубопровода (pH 7.2, ОВП +340 мВ), служившей контролем во всех экспериментах, для чего использовали электроактиватор АП-1 исполнение 03М («Акваприбор», Беларусь).
- Опару готовили при брожении 60 мин и температуре 30°C. Влажность (70%) образцов в начале и по завершении брожения не менялась. Для жидкой опары брали дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс Экстра» (ООО «Саф-Нева», Россия). В случае густой опары использовали дрожжи сухие быстродействующие «Саф-Момент» (ООО «Саф-Нева, Россия). Везде применяли муку пшенич-

ную хлебопекарную высшего сорта «Макфа» (АО «Макфа», Россия) и сахар белый кристаллический (ООО «ГК «Русагро», Россия).

- Пивное сусло готовили на основе концентрата (АО «Таткрахмалпатока», Россия), который разводили в соотношении 1:10 водой или фракциями ЭХАР. Для брожения использовали дрожжи пивные универсальные сухие «А-01 ТМ Drinkit» верхового брожения (ООО «ДРИНКИТ», Россия) и дрожжи пивные жидкие «CraftLab Fertech L002» (ООО «Фертек», Россия).

Методы исследования

Кислотность жидкой опары определяли по ГОСТ 5670-96.

Кислотность пива определяли по ГОСТ 12788-87.

Сухие вещества используемых сред ГОСТ 12788-87 определяли путем высушивания до постоянной массы навески в сушильном шкафу при 105°C по ГОСТ 31640-2012.

Объемную долю спирта в пивном сусле определяли по ГОСТ 12787-2021.

Подъемную силу дрожжей измеряли по ГОСТ Р 54731-2011 по времени, которое необходимо для всплытия шарика теста, помещенного на дно стакана с водой.

Концентрацию дрожжевых клеток определяли в соответствии с ОФС.1.7.2.0008.15 методом прямого подсчета в камере Горяева. Под микроскопом «Альтами» (Россия) производили подсчет клеток в 5 горизонтальных и 15 диагональных больших квадратах. Также подсчитывали число почкующихся клеток. Почкой считали клетку, которая по размеру не превосходила 1/2 материнской клетки. Клетку с почкой, размер которой был меньше 1/3 материнской, считали за одну. Для определения доли мертвых клеток к анализируемой пробе на предметном стекле добавляют 2-3 капли метиленовой сини, перемешивают и накрывают покровным стеклом. Далее осуществляют подсчет мертвых клеток методом прямого подсчета в камере Горяева.

Морфологические исследования проводили методом сканирующей электронной микроскопии (SEM). Препарат для SEM готовили следующим способом. Пивное сусло после 8 суток брожения тщательно взбалтывали, из полученной суспензии отбирали 4 мл в пробирку, куда добавляли 400 мкл фиксатора (25% глутаровый альдегид). После фиксации в течение суток при комнатной температуре пробирку с образцом центрифугировали (800 g). Чтобы отмыть фиксатор, супернатант аккуратно отбирали, а к осадку добавляли 4 мл дистиллированной воды. Суспензию повторно

центрифугировали (800 g), затем отбирали воду над осадком, а в пробирку добавляли 2 мл 1% раствора OsO_4 в дистиллированной воде для второй фиксации (24 часа при комнатной температуре). Далее, осаждая на каждом этапе дрожжевые клетки, образец отмывали от фиксатора в воде с последующей дегидратацией в батарее этанола возрастающей концентрации: 50%, 75%, 80%, 90% и 98%. Для удаления спирта образцы переносили в HMDS (гексаметилдисилазан), после чего наносили каплями на поверхность держателя микроскопа и сушили в потоке инертного газа (N_2). По такой же методике готовили препарат хлебопекарных дрожжей в составе жидкой опары. На готовый препарат напыляли пленку (20 нм) платины в установке JFC-1600 (JEOL, Япония). Тонкий рельеф поверхности изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6390A (JEOL, Япония), используя режим вторичных электронов, при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Результаты исследования и обсуждение

Хлебопекарные дрожжи

Исследовали эффект фракций ЭХАР на свойства опары жидкой на основе хлебопекарных дрожжей прессованных и опары густой на основе хлебопекарных дрожжей сухих быстродействующих. В таблице 1 приведены сравнительные данные каждого вида опары, приготовленной с использованием водопроводной воды (контроль), католита и анолита.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика жидкой и густой опары, содержащей прессованные или сухие дрожжи, соответственно, приготовленной на основе воды, католита, анолита

Наименование параметра	Тип опары	Вода (контроль)		Католит		Анолит	
		начало	60 мин	начало	60 мин	начало	60 мин
Кислотность, см ³ 0,1 моль/дм ³ NaOH на 100 г опары	жидкая	0,70±0,07	1,14±0,11	0,66±0,06	0,96±0,09	0,68±0,06	1,18±0,11
	густая	0,72±0,07	1,12±0,11	0,63±0,05	0,89±0,09	0,64±0,06	1,19±0,12
Время до всплытия шарика теста, мин	жидкая	59,0±1,7		47,4±1,4		56,6±1,7	
	густая	55,7±1,7		43,6±1,3		52,1±1,5	

Показатель кислотности свидетельствует о накоплении органических кислот в процессе брожения и характеризует готовность полуфабриката. В начале брожения для контрольных и опытных образцов жидкой опары характерны близкие значения кислотности (Табл. 1). После 60 минут брожения значение кислотности жидкой опары, приготовленной на основе

воды, было выше, чем в образце на католите, и значительно не отличалось от образца на анолите. Такая же тенденция наблюдается для образцов густой опары. Учитывая погрешность измерения, для образцов на воде и анолите по завершении брожения показатели кислотности образцов жидкой и густой опары достоверно не отличались.

Время всплывания шарика теста характеризует подъемную силу и, опосредовано, способность дрожжей сбраживать глюкозу, фруктозу, сахарозу. Другими словами, чем эффективнее дрожжевой препарат, тем быстрее всплывает образец. По этому критерию применение католита интенсифицирует активность брожения в рецептуре обоих видов опары (табл.1) и одновременно понижает в них кислотность. Изучение морфологических характеристик проводили на образцах жидкой опары, где консистенция препарата позволяла наблюдать клетки в образце (рис.1).

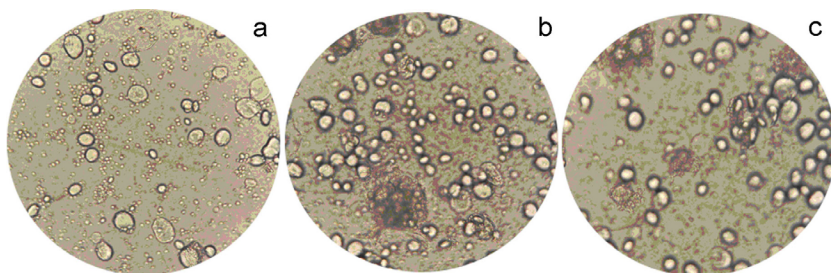


Рис. 1. Обзорный вид (x400) в поле светового микроскопа дрожжевых клеток в жидкой опаре на основе прессованных хлебопекарных дрожжей после 60 минут брожения, где: (а) опара приготовлена на воде, (b) опара приготовлена на католите, (с) опара приготовлена на анолите.

Визуально клетки выглядят крупнее в образцах опары, приготовленной на воде (рис.1а), но количество дрожжей больше в образцах опары на католите (рис.1b) и на анолите (рис.1с), где наблюдается значительное количество почкующихся клеток. Сравнительные количественные данные, полученные методом подсчета в камере Горяева параметров клеточной популяции дрожжей в опаре, приведены на рисунке 2.

Видно (рис.2а), что в обоих видах опары католит оказал стимулирующее действие на рост дрожжевых клеток. Особенно эффект проявляется для густой опары, где через 60 минут брожения прирост дрожжевых клеток в образце на католите в 2,7 раз выше, чем в контроле. Этому факту соответствуют остальные количественные результаты, которые указывают на то, что в опаре на католите присутствует максимальная

доля почкующихся клеток (рис.2b) и минимальное количество мертвых клеток (рис.2c).

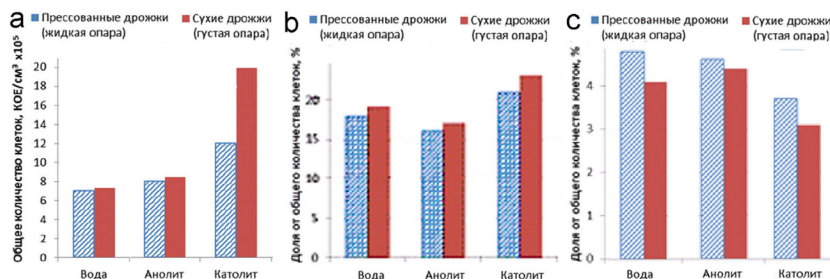


Рис. 2. Параметры клеточной популяции дрожжей жидкой и густой опары после 60 минут брожения. Данные получены подсчетом в камере Горяева, где: (a) – общее количество клеток, (b) – количество почкующихся клеток, (c) – количество мертвых клеток

Если сравнивать жидкую и густую опару, то во втором случае количество почкующихся клеток больше, а количество мертвых клеток ниже. Таким образом, показано стимулирующее действие католита, которое более выражено для сухих быстродействующих дрожжей. Это заключение согласуется с результатами изучения кислотности и времени всплытия (Табл.1). Такой результат, возможно, обусловлен относительно высокой диффузией восстановленной фракции ЭХАР в сухом дрожжевом препарате, что приводит к более быстрой (ре)гидратации дрожжевых клеток и, следовательно, восстановлению их активности. Анолит в составе обоих типов опары не оказывает значимого модифицирующего эффекта. Изучение морфологических признаков и тонкого рельефа поверхности дрожжей в составе жидкой опары проводили методом сканирующей электронной микроскопии (Рис.3).

На микрофотографиях (рис.3) образцов жидкой опары видны клетки дрожжей и крупные зерна крахмала. На обзорном плане при увеличении $\times 800, \times 100$ крат видны частицы теста. Визуально, значимых различий между хлебопекарными дрожжами в составе жидкой опары, приготовленной на воде (контроль) или на фракциях ЭХАР, не обнаружено. Клетки сохраняют круглую или овальную форму, поверхность многих клеток покрыта наночастицами теста, каких-либо механических повреждений не наблюдается.

Суммируя, католит оказывает стимулирующее действие на рост и активность хлебопекарных дрожжей, которые находятся как в прессованном, так и в сухом виде.

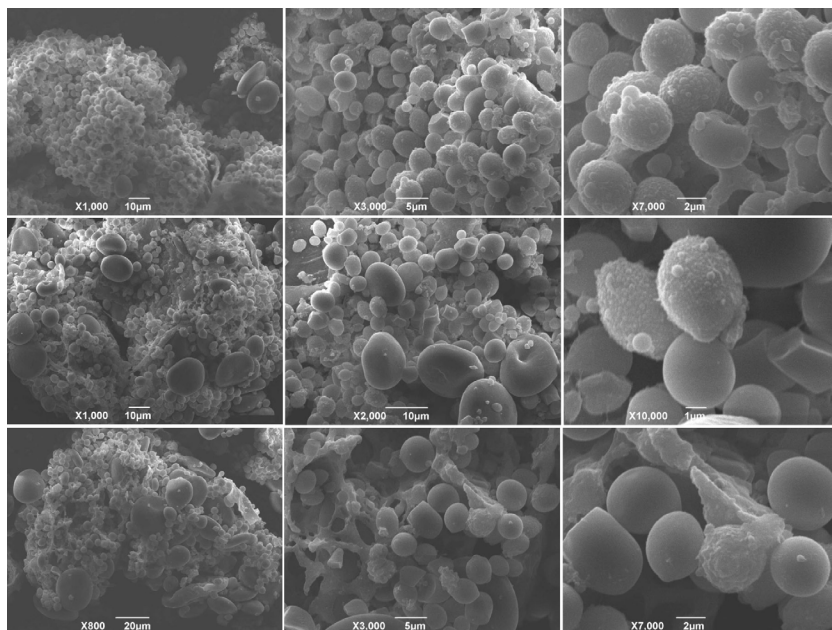


Рис. 3. Микрофотографии образцов жидкой опары. Изображение получено посредством сканирующей электронной микроскопии в режиме вторичных электронов, где: верхний ряд – опара на воде; средний ряд – опара на анолите; нижний ряд – опара на католите.

Для обоих типов опары на католите характерны высокая подъемная сила, увеличение титра клеток, их более высокая жизнеспособность, о чем свидетельствует рост числа почкующихся клеток и сниженное количество мертвых клеток. Выявленный эффект может найти практическое применение в хлебопечении, например, для ускорения приготовления опары за счет активирования дрожжей. Также замена воды на католит в рецептуре приготовления опары будет полезна для восстановления активности дрожжей после их длительного хранения.

Пивные дрожжи

Концентрат пивного сусла разбавляли в отношении 1:10 водопроводной питьевой водой (контроль), анолитом или католитом. Пивные дрожжи универсальные сухие верхового брожения или пивные жидкие дрожжи вносили из расчета 0,6 г/дм³. Брожение сусла проходило при температуре

25°C притом, что ежедневно в течение 7 суток отбирали пробы для измерения кислотности (pH), содержания сухих веществ (СВ) и концентрации наработанного этилового спирта, а также для определения количества дрожжевых клеток и процентного отношения мёртвых клеток. Кривые на рисунке 4 показывают изменение величины pH суслу в течение брожения.

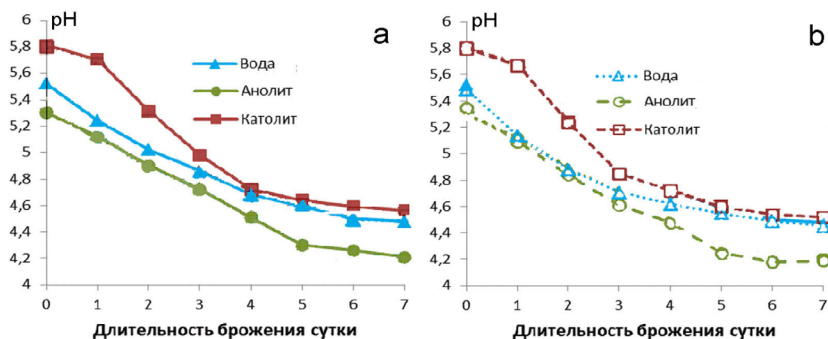


Рис. 4. Изменение кислотности в течение брожения суслу, приготовленного на воде, анолите или католите, где: (а) суло с добавкой сухих дрожжей, (б) суло с добавкой жидких дрожжей

Значение pH суслу в течение брожения уменьшалось для всех образцов (рис.4). Отметим, концентрат суслу ведет себя как буферная смесь, которая при добавлении к воде в начальный момент стабилизировала pH раствора на уровне 5,5 единиц. Для раствора суслу в католите этот показатель был выше на 0,3 единицы, а в случае раствора в анолите на 0,2 единицы ниже, чем для водного раствора суслу. При одинаковом начальном разбавлении суслу, степень его сбраживания при разных условиях можно сравнить по остаточному содержанию СВ (рис.5).

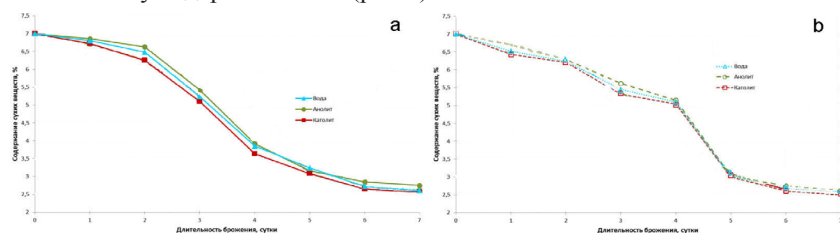


Рис. 5. Изменение во время брожения содержания сухих веществ в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Применение фракций ЭХАР не привело к значимому изменению кинетики или времени сбраживания (рис.5), когда по завершении эксперимента в каждом образце содержание СВ уменьшилось до значения 2,5%. Наблюдается только различие в форме кривых сбраживания для группы с добавкой сухих дрожжей (рис.5a) по сравнению с группой с добавкой жидких дрожжей (рис.5b). Показателем бродительной активности дрожжей является степень сбраживания, характеризующаяся отношением массы сброженного СВ к начальной массе СВ в сусле (выр.1).

$$V(\%) = 100 \cdot (E - e) / E \quad (1)$$

Где: V - степень сбраживания (%), E - масса СВ в пивном сусле в начале сбраживания, e - содержание СВ после сбраживания.

Из выражения 1 следует, что уровень 2,5%, до которого снижается содержание СВ в сусле на седьмые сутки брожения, соответствует величине степени сбраживания ~64%. Притом, что этот показатель остается постоянным для всех исследуемых образцов, содержание этилового спирта в них значимо отличается (рис.6).

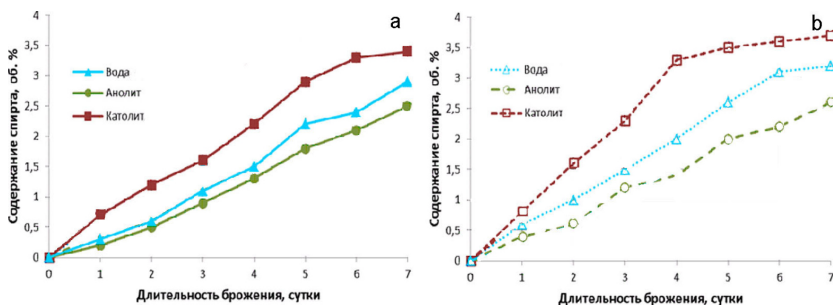


Рис. 6. Изменение во время брожения объемной концентрации (об. %) этилового спирта в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (a) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (b) дрожжи жидкие

Видно (рис.6), что наименьшую активность дрожжевых препаратов регистрируют для пивного сула, приготовленного на анолите. Для обоих типов дрожжей содержание этилового спирта в сусле на воде меньше, чем для образца на католите, где на седьмые сутки брожения объемная концентрация этанола в пивном сусле достигла значения 3,3% при использовании сухих дрожжей (рис.6a) и 3,6% для жидких дрожжей (рис.6b). Таким образом, как и в случае опары, для пивного сула брожение становится

более эффективным, когда водную фазу представляет католит. Другими словами, в образцах на основе католита наблюдается интенсификация процесса брожения пивного сусла. Такой эффект можно объяснить псевдоферментативной способностью восстановленной фракции ЭХАР, которая направлена на расщепление растительных полисахаридов или олигосахаров (Pogorelov et al., 2022). За счет амилолитической активности, католит гидролизует высшие сахара, содержащиеся в сусле, увеличивая концентрацию моносахаров, что способствует наработке больших объемов этанола при постоянной степени сбраживания исследуемых образцов пивного сусла (рис.5). Возможно, на эффективность дрожжевых препаратов также влияет сдвиг pH в щелочную сторону, который регистрируют в сусле, приготовленном на католите (рис.4).

Нельзя исключать влияния различий в количественных параметрах культур дрожжевых клеток (рис.7).

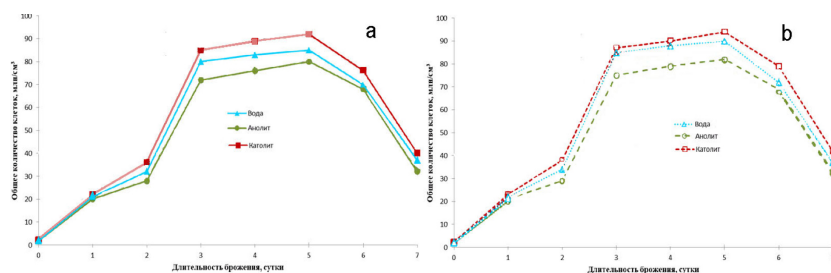


Рис. 7. Изменение во время брожения концентрации дрожжевых клеток в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Анализ результатов (рис.7) показывает то, что для всех рассматриваемых вариантов оптимальная ситуация по критерию количества клеток наблюдается в районе 5 суток брожения, но культуры дрожжевых клеток ведут себя по-разному в зависимости от водной среды, на которой приготовлено пивное сусло. Анолит ингибирует пролиферативную активность, напротив, католит способствует делению дрожжей (рис.7а-б). Такая тенденция соответствует стимулирующему эффекту восстановленной фракции ЭХАР, показанному выше для опары (табл.1, рис.1) и пивного сусла (рис.6). Еще одним параметром жизнеспособности клеточной культуры является содержание мертвых дрожжевых клеток (рис.8).

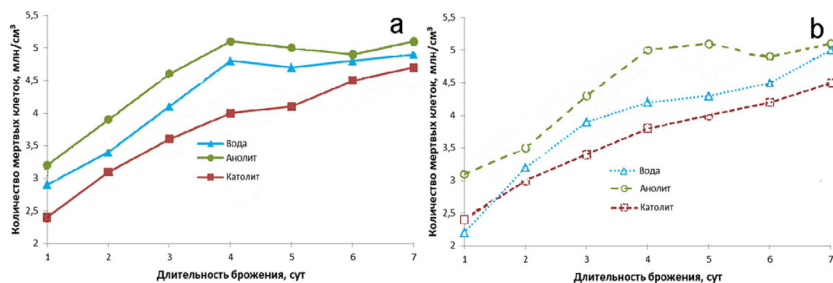


Рис. 8. Кривая накопления во время брожения мертвых дрожжевых клеток в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Сравнительный анализ данных (рис.8) показывает, что в образцах пивного сусла, приготовленного на католите, отмечено наименьшее количество мертвых клеток, чем в сусле на основе воды или анолита. Для обоих типов дрожжей особенно угнетающее действие на популяцию дрожжевых клеток оказывает среда анолита (рис.8а-б). Учитывая то, что активным фактором процесса брожения является отдельная дрожжевая клетка, провели изучение тонкой структуры клеточной поверхности (рис.9).

На микрофотографиях (рис.9) показаны клетки пивных дрожжей, выделенные из образцов сброженного пивного сусла, приготовленного на основе воды, католита и анолита. Видно, что клетки, в основном, сохраняют овальную форму, наблюдаются почкующиеся клетки, на поверхности отдельных клеток заметны почечные рубцы. Клеточная поверхность покрыта наночастицами, возможно, пивного сусла или продуктов автолиза. На поверхности дрожжей, выделенных из сусла на анолите, при высоком увеличении заметны множественные тонкие трещины, свидетельствующие о повреждении клеточной стенки. Данный фактор может быть причиной выхода из клетки ферментов анаэробного гликолиза, которые локализируются в кортикальной зоне цитоплазмы, и, как следствие, замедления броидильной активности. И это согласуется с описанными выше данными об угнетении развития дрожжевых клеток в пивном сусле на основе анолита.

В части сканирующей электронной микроскопии исследования выполнены, используя приборную базу ЦКП «Структурно-функциональные исследования биосистем» при ФГБУН ИТЭБ РАН (г. Пушкино).

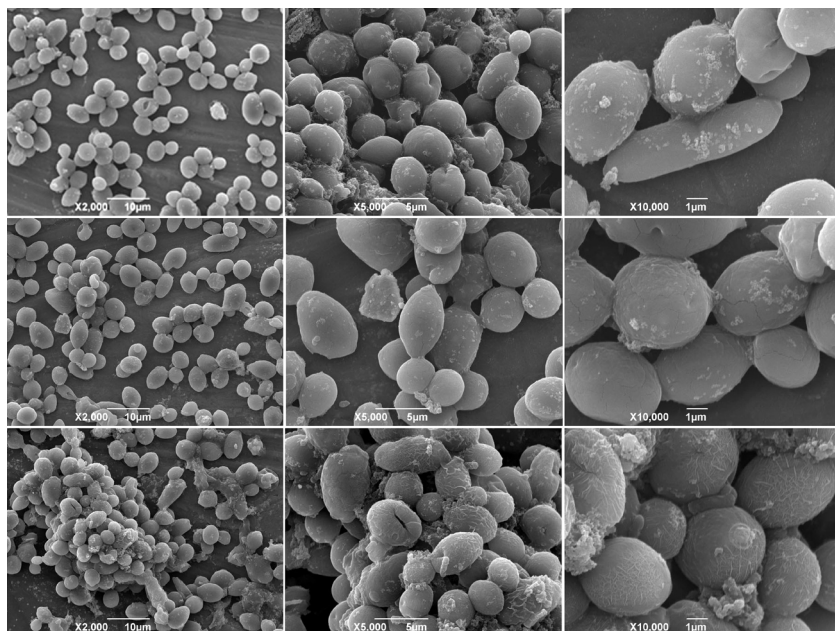


Рис. 9. Микрофотографии пивных дрожжевых клеток, выделенных из суслу после 7 суток брожения. Изображение получены методом сканирующей электронной микроскопии в режиме вторичных электронов, где: верхний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на воде; средний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на анолите; нижний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на католите.

Заключение

Полученные данные указывают на то, что преобразование водной составляющей питательной среды (опара, суслу) посредством использования фракций ЭХАР служит стрессовым фактором для клеток хлебопекарных и пивных дрожжей. При этом наблюдается разнонаправленная реакция дрожжей, вызванная применением католита или анолита. По итогам выполненного исследования на примере хлебопекарных и пивных дрожжей выявлены следующие закономерности:

- Католит, как метастабильная водная среда с повышенной восстановительной активностью, оказывает стимулирующее действие на рост и жизнеспособность хлебопекарных дрожжей. В образцах жидкой и густой опары, приготовленных на католите, общее количество

дрожжевых клеток превышало этот показатель в опаре на воде. При этом жизнеспособность клеток была выше, о чем свидетельствует рост числа почкующихся клеток и сниженное количество мёртвых клеток. Выявленный эффект может найти практическое применение в практике хлебопечения, например, для восстановления активности дрожжей или ускорения этапа приготовления опары. Для пивных дрожжей также характерны описанные эффекты. Показано, что католит представляет собой благоприятную среду, поддерживая более интенсивный процесс брожения пивного сусла. Этот фактор может способствовать сокращению этапа главного брожения в технологии пивоварения.

- Анолит – метастабильная окисленная фракция водного раствора, наоборот, ингибирует процесс брожения, как в составе хлебопекарной опары так и в среде пивного сусла. Замена воды на анолит замедляет рост клеток, снижает интенсивность брожения, ингибирует преобразование сбраживаемых углеводов в спирт пивными дрожжами.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-16-00019, <https://rscf.ru/project/20-16-00019/>

Funding. The research was supported by Russian Science Foundation grant № 20-16-00019, <https://rscf.ru/en/project/20-16-00019/>

Список литературы

1. Bakhir V.M. Universal electrochemical technology for environmental protection / V.M. Bakhir, A.G. Pogorelov // International journal of pharmaceutical research and allied sciences. 2018. Vol. 7(1). P. 41–57.
2. Ding T. Electrolyzed water in food: fundamentals and applications / T. Ding, D. H. Oh, D. Liu. Singapore: Springer, 2019. 274 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
3. Johansson B. Functional water-in promotion of health beneficial effects and prevention of disease // Internal medicine review. 2017. Vol. 3(2). Article 321. <http://dx.doi.org/10.18103/imr.v3i2.321>
4. Ramírez Orejel, J. C. Applications of electrolyzed water as a sanitizer in the food and animal-by products industry / J. C. Ramírez Orejel, J. A. Cano-Buendía // Processes. 2020. Vol. 8(5). Article 534. <https://doi.org/10.3390/pr8050534>

5. Ignatov I. Preparation of electrochemically activated water solutions (catholyte / anolyte) and studying their physical-chemical properties / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, G. Miloshev, N. Ivanov, O. Mosin // *Journal of medicine, physiology and biophysics*. 2015. Vol. 13. P. 1-21.
6. Chen B.-K. Electrolyzed water and its pharmacological activities: a mini-review / B.-K. Chen, C.-K. Wang // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (4). Article 1222. <https://doi.org/10.3390/molecules27041222>
7. Ignatov I. Dynamic nano clusters of water on waters catholyte and anolyte: electrolysis with nano membranes / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, I. Yaneva, N. Valcheva, G. Dinkov et al. // *Physical science international journal*. 2020. Vol. 24(1). P. 46–54. <http://dx.doi.org/10.9734/psij/2020/v24i130173>
8. Ignatov I. Structuring of water clusters depending on the energy of hydrogen bonds in electrochemically activated waters Anolyte and Catholyte / I. Ignatov, G. Gluhchev, N. Neshev, D. Mehandjiev // *Bulgarian chemical communications*. 2021. Vol. 53(2). P. 234-239. <https://doi.org/10.34049/bcc.53.2.5376>
9. Jiménez-Pichardo R. Innovative control of biofilms on stainless steel surfaces using electrolyzed water in the dairy industry / R. Jiménez-Pichardo, I. Hernández-Martínez, C. Regalado-González, J. Santos-Cruz, Y. Meas-Vong, M.d.C. Wachter-Rodarte, J. Carrillo-Reyes, I. Sánchez-Ortega, B.E. García-Almendárez // *Foods*. 2021. Vol. 10(1). Article 103. <https://doi.org/10.3390/foods10010103>
10. Rebezov M. Application of electrolyzed water in the food industry: a review / M. Rebezov, K. Saeed, A. Khaliq, S.J.U. Rahman, N. Sameed, A. Semenova, M. Khayrullin, A. Dydykin, Y. Abramov, M. Thiruvengadam, M.A. Shariati, S.P. Bangar, J.M. Lorenzo // *Applied sciences*. 2022. Vol. 12(13). Article 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>
11. Yan P. Stability and Antibiofilm Efficiency of Slightly Acidic Electrolyzed Water Against Mixed-Species of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* / P. Yan, R. Chelliah, K.-h. Jo, V. Selvakumar, X. Chen, H.-y. Jo, D.H. Oh // *Frontiers in microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 865918. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865918>
12. Vassileva P. Results from the research of water catholyte with nascent (atomic) hydrogen / P. Vassileva, D. Voykova, I. Ignatov, S. Karadzhov, S. Gluhchev, N. Ivanov, D. Mehandjiev // *Journal of medicine, physiology and biophysics*. 2019. Vol. 52. P. 7-11. <https://doi.org/10.7176/JMPB/52-02>.
13. Храпенков С.Н. Применение ЭХА растворов и ферментных препаратов для экстракции хмеля / С.Н. Храпенков, М.В. Гернет, Д.А. Свиридов, К.В. Кобелев, В.М. Бахир // *Пиво и напитки*. 2004. № 2. С. 32–33.
14. Гернет М.В. Влияние физико-химических методов обработки растительного сырья на извлечение фенольных соединений / М.В. Гернет, И.Н.

- Грибкова // Пищевая промышленность. 2020. № 7. С. 44–47. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10075>
15. Gorbacheva M.V. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova // Foods and raw materials. 2021. Vol. 9(1). P. 32–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42>
 16. Kobelev K.V. Study of brewer's spent grain environmentally friendly processing ways / K.V. Kobelev, I.N. Gribkova, L.N. Kharlamova, A.V. Danilyan, M.A. Zakharov, I.V. Lazareva, V.I. Kozlov, O.A. Borisenko // Molecules. 2023. Vol. 28. Article 4553. <https://doi.org/10.3390/molecules28114553>
 17. Cayemitte P. E. Study of the impacts of electro-activated solutions of calcium lactate, calcium ascorbate and their equimolar mixture combined with moderate heat treatments on the spores of *Bacillus cereus* ATCC 14579 under model conditions and in fresh salmon / P. E. Cayemitte, N. Gerliani, P. Raymond, M. Aider // International journal of food microbiology. 2021. Vol. 358. Article 109285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109285>
 18. Qin M. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbiota and flour characteristics / M. Qin, Y. Fu, N. Li, Y. Zhao, B. Yang, L. Wang, S. Ouyang // Foods. 2022. Vol. 11(24). Article 3990. <https://doi.org/10.3390/foods11243990>
 19. Chen Y.-X. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams / Y.-X. Chen, X.-N. Guo, J.-J. Xing, X.-H. Sun, K.-X. Zhu // LWT. 2020. Vol. 118. Article 108790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108790>
 20. Momen M. Impact of alkaline electro-activation treatment on physicochemical and functional properties of sweet whey / M. Momen, F. Farhad Alavi, M. Mohammed Aider // Food chemistry. 2022. Vol. 373(A). Article 131428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131428>
 21. Karim A. Sustainable electroisomerization of lactose into lactulose and comparison with the chemical isomerization at equivalent solution alkalinity / A. Karim, M. Aider // ACS omega. 2020. Vol. 5(5). P. 2318–2333. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03705>
 22. Кругликов Б.В. Применение ЭХА-растворов для экстракции горьких веществ хмеля / Б.В. Кругликов, М.В., Гернет // Пиво и напитки. 2011. № 2. С. 36–38.
 23. Lin H.M. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets / H. M. Lin, Y. C. Hung, S. G. Deng // Food control. 2020. Vol. 112. Article 107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>

24. Pogorelov A. G. Properties of serum albumin in electrolyzed water / A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, M.A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O.A. Suvorov // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10(1). P. 117–126. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-117-126>
25. Liu R. Quality improvement effects of electrolyzed water on rice noodles prepared with semidry-milled rice flours / R. Liu, Z.-L. Yu, Y.-L. Sun, L.-T. Tong, L.-Y. Liu, L.-L. Wang, X.-R. Zhou, S.-M. Zhou // *Food science and biotechnology*. 2021. Vol. 30. P. 823–832. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00923-x>
26. Xing J.-J. Effect of dough mixing with slightly acidic electrolyzed water on the shelf-life and quality characteristics of fresh wet noodles / J.-J. Xing, D.-H. Jiang, X.-N. Guo, Z. Yang, K.-X. Zhu // *Food control*. 2021. Vol. 124. Article 107891. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107891>
27. Nilova L. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis / L. Nilova, N. Naumenko, I. Kalinina // *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15(S2). P. 1386–1398.
28. Орлов Б.Ю. Исследование реологических свойств пищевых материалов, обработанных методами электротехнологии / Б.Ю. Орлов, Е.Г. Степанова, А.С. Зайцев // *Альманах мировой науки*. 2017. Т. 17(2–1). С. 65–66.
29. Bölek S. Effects of different types of electrolyzed waters on rheological characteristics of dough and quality properties of bread / S. Bölek, F. Tosya, Ö. Dinç // *Food science and technology international*. 2023. Vol. 6. <https://doi.org/10.1177/10820132231170288>
30. Бушина И.А. Электрохимически активированная вода в технологии коньяка (бренди) / И.А. Бушина, М.В. Гернет // *Пиво и напитки*. 2004. № 6. С. 50–52.
31. Yu Z.L. Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticales malt during germination / Z.L. Yu, R. Liu // *Journal of food science and technology*. 2019. Vol. 56. P. 1495–1501. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
32. Khabaeva Z. Evaluation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* resistance to plant extracts in planktonic cell and biofilm models / Z.G. Khabaeva, F.A. Agaeva, D.A. Marzoeva, A.A. Burnatseva, V.D. Butkhudze // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Vol. 15(6). P. 11–28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-957>

References

1. Bakhir V.M. Universal electrochemical technology for environmental protection / V.M. Bakhir, A.G. Pogorelov. *International journal of pharmaceutical research and allied sciences*, 2018, vol. 7(1), pp. 41–57.

2. Ding T. *Electrolyzed water in food: fundamentals and applications* / T. Ding, D. H. Oh, D. Liu. Singapore: Springer, 2019, 274 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
3. Johansson B. Functional water-in promotion of health beneficial effects and prevention of disease. *Internal medicine review*, 2017, vol. 3(2), article 321. <http://dx.doi.org/10.18103/imr.v3i2.321>
4. Ramírez Orejel, J. C. Applications of electrolyzed water as a sanitizer in the food and animal-by products industry / J. C. Ramírez Orejel, J. A. Cano-Buendía. *Processes*, 2020, vol. 8(5), article 534. <https://doi.org/10.3390/pr8050534>
5. Ignatov I. Preparation of electrochemically activated water solutions (catholyte / anolyte) and studying their physical-chemical properties / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, G. Miloshev, N. Ivanov, O. Mosin. *Journal of medicine, physiology and biophysics*, 2015, vol. 13, pp. 1-21.
6. Chen B.-K. Electrolyzed water and its pharmacological activities: a mini-review / B.-K. Chen, C.-K. Wang. *Molecules*, 2022, vol. 27 (4), article 1222. <https://doi.org/10.3390/molecules27041222>
7. Ignatov I. Dynamic nano clusters of water on waters catholyte and anolyte: electrolysis with nano membranes / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, I. Yaneva, N. Valcheva, G. Dinkov et al. *Physical science international journal*, 2020, vol. 24(1), pp. 46–54. <http://dx.doi.org/10.9734/psij/2020/v24i130173>
8. Ignatov I. Structuring of water clusters depending on the energy of hydrogen bonds in electrochemically activated waters Anolyte and Catholyte / I. Ignatov, G. Gluhchev, N. Neshev, D. Mehandjiev. *Bulgarian chemical communications*, 2021, vol. 53(2), pp. 234-239. <https://doi.org/10.34049/bcc.53.2.5376>
9. Jiménez-Pichardo R. Innovative control of biofilms on stainless steel surfaces using electrolyzed water in the dairy industry / R. Jiménez-Pichardo, I. Hernández-Martínez, C. Regalado-González, J. Santos-Cruz, Y. Meas-Vong, M.d.C. Wachter-Rodarte, J. Carrillo-Reyes, I. Sánchez-Ortega, B.E. García-Almendárez. *Foods*, 2021, vol. 10(1), article 103. <https://doi.org/10.3390/foods10010103>
10. Rebezov M. Application of electrolyzed water in the food industry: a review / M. Rebezov, K. Saeed, A. Khaliq, S.J.U. Rahman, N. Sameed, A. Semenova, M. Khayrullin, A. Dydykin, Y. Abramov, M. Thiruvengadam, M.A. Shariati, S.P. Bangar, J.M. Lorenzo. *Applied sciences*, 2022, vol. 12(13), article 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>
11. Yan P. Stability and Antibiofilm Efficiency of Slightly Acidic Electrolyzed Water Against Mixed-Species of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* / P. Yan, R. Chelliah, K.-h. Jo, V. Selvakumar, X. Chen, H.-y. Jo, D.H. Oh. *Frontiers in microbiology*, 2022, vol. 13, article 865918. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865918>

12. Vassileva P. Results from the research of water catholyte with nascent (atomic) hydrogen / P. Vassileva, D. Voykova, I. Ignatov, S. Karadzhev, S. Gluhchev, N. Ivanov, D. Mehendjiev. *Journal of medicine, physiology and biophysics*, 2019, vol. 52, pp. 7-11. <https://doi.org/10.7176/JMPB/52-02>.
13. Khrapenkov S.N. Application of ECA solutions and enzyme preparations for hop extraction / S.N. Khrapenkov, M.V. Gernet, D.A. Sviridov, K.V. Kobelev, V.M. Bakhir. *Beer and Drinks*, 2004, no. 2, pp. 32-33.
14. Gernet M.V. Influence of physical and chemical methods of processing plant raw materials on the extraction of phenolic compounds / M.V. Gernet, I.N. Gribkova. *Food Industry*, 2020, no. 7, pp. 44-47. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10075>
15. Gorbacheva M.V. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova. *Foods and raw materials*, 2021, vol. 9(1), pp. 32-42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42>
16. Kobelev K.V. Study of brewer's spent grain environmentally friendly processing ways / K.V. Kobelev, I.N. Gribkova, L.N. Kharlamova, A.V. Danilyan, M.A. Zakharov, I.V. Lazareva, V.I. Kozlov, O.A. Borisenko. *Molecules*, 2023, vol. 28, article 4553. <https://doi.org/10.3390/molecules28114553>
17. Cayemite P. E. Study of the impacts of electro-activated solutions of calcium lactate, calcium ascorbate and their equimolar mixture combined with moderate heat treatments on the spores of *Bacillus cereus* ATCC 14579 under model conditions and in fresh salmon / P. E. Cayemite, N. Gerliani, P. Raymond, M. Aider. *International journal of food microbiology*, 2021, vol. 358, article 109285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109285>
18. Qin M. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbiota and flour characteristics / M. Qin, Y. Fu, N. Li, Y. Zhao, B. Yang, L. Wang, S. Ouyang. *Foods*, 2022, vol. 11(24), article 3990. <https://doi.org/10.3390/foods11243990>
19. Chen Y.-X. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams / Y.-X. Chen, X.-N. Guo, J.-J. Xing, X.-H. Sun, K.-X. Zhu. *LWT*, 2020, vol. 118, article 108790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108790>
20. Momen M. Impact of alkaline electro-activation treatment on physicochemical and functional properties of sweet whey / M. Momen, F. Farhad Alavi, M. Mohammed Aider. *Food chemistry*, 2022, vol. 373(A), article 131428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131428>
21. Karim A. Sustainable electroisomerization of lactose into lactulose and comparison with the chemical isomerization at equivalent solution alkalinity / A. Karim,

- M. Aider. *ACS omega*, 2020, vol. 5(5), pp. 2318-2333. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03705>
22. Kruglikov B.V. Application of ECHA-solutions for extraction of bitter substances of hops / B.V. Kruglikov, M.V., Gernet. *Beer and drinks*, 2011, no. 2, pp. 36-38.
23. Lin H.M. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets / H. M. Lin, Y. C. Hung, S. G. Deng. *Food control*, 2020, vol. 112, article 107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>
24. Pogorelov A. G. Properties of serum albumin in electrolyzed water / A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, M.A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O.A. Suvorov. *Foods and Raw Materials*, 2022, vol. 10(1), pp. 117–126. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-117-126>
25. Liu R. Quality improvement effects of electrolyzed water on rice noodles prepared with semidry-milled rice flours / R. Liu, Z.-L. Yu, Y.-L. Sun, L.-T. Tong, L.-Y. Liu, L.-L. Wang, X.-R. Zhou, S.-M. Zhou. *Food science and biotechnology*, 2021, vol. 30, pp. 823–832. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00923-x>
26. Xing J.-J. Effect of dough mixing with slightly acidic electrolyzed water on the shelf-life and quality characteristics of fresh wet noodles / J.-J. Xing, D.-H. Jiang, X.-N. Guo, Z. Yang, K.-X. Zhu. *Food control*, 2021, vol. 124, article 107891. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107891>
27. Nilova L. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis / L. Nilova, N. Naumenko, I. Kalinina. *Agronomy Research*, 2017, vol. 15(S2), pp. 1386–1398.
28. Orlov B.Yu. Investigation of rheological properties of food materials processed by electrotechnology methods / B.Yu. Orlov, E.G. Stepanova, A.S. Zaitsev. *Almanac of World Science*, 2017, vol. 17(2-1), pp. 65-66.
29. Bölek S. Effects of different types of electrolyzed waters on rheological characteristics of dough and quality properties of bread / S. Bölek, F. Tosya, Ö. Dinç. *Food science and technology international*, 2023, vol. 6. <https://doi.org/10.1177/10820132231170288>
30. Bushina I.A. Electrochemically activated water in the technology of cognac (brandy) / I.A. Bushina, M.V. Gernet. *Beer and drinks*, 2004, no. 6, pp. 50-52.
31. Yu Z.L. Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticale malt during germination / Z.L. Yu, R. Liu. *Journal of food science and technology*, 2019, vol. 56, pp. 1495–1501. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
32. Khabaeva Z. Evaluation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* resistance to plant extracts in planktonic cell and biofilm models / Z.G. Khabaeva, F.A. Agaeva, D.A. Marzoeva, A.A. Burnatseva, V.D. Butkhudze. *Siberian Jour-*

nal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15(6), pp. 11-28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-957>

ВКЛАД АВТОРОВ

Погорелов А.Г.: разработка концепции научной работы, написание рукописи.

Ипатова Л.Г.: составление черновика рукописи.

Панайт А.И.: статистическая обработка.

Погорелова М.А.: сбор и анализ данных.

Станкевич А.А.: сбор и анализ данных.

Суворов О.А.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander G. Pogorelov: study conception and design, writing of the manuscript.

Larisa G. Ipatova: drafting of the manuscript.

Artem I. Panait: statistical data analysis.

Maria A. Pogorelova: data collection and analysis.

Anna A. Stankevich: data collection and analysis.

Oleg A. Suvorov: data collection and analysis.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Погорелов Александр Григорьевич, доктор биол. наук, профессор, зав. лабораторией функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пущино, 142290, Российская Федерация
agpogorelov@rambler.ru

Ипатова Лариса Григорьевна, доктор техн. наук, доцент, в.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пущино, 142290, Российская Федерация
larissa_ipatova@bk.ru

Панайт Артем Игоревич, м.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук

ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
panaitartem@gmail.com

Погорелова Мария Александровна, кандидат биол. наук, с.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
rogm2007@rambler.ru

Станкевич Анна Александровна, кандидат биол. наук, с.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
repa-ra@yandex.ru

Суворов Олег Александрович, доктор техн. наук, доцент, в.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур; профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук; Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация; Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
SuvorovOA@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander G. Pogorelov, Dr. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory
Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences
3, Institutsckaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation
agpogorelov@rambler.ru
SPIN-code: 4978-3910
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-9496>
ResearcherID: R-1065-2016
Scopus Author ID: 7005975281

Larisa G. Ipatova, Dr. Sc. (Ing.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

larissa_ipatova@bk.ru

SPIN-code: 6872-6702

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-7072>

Scopus Author ID: 57203553434

Artem I. Panait

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

panaitartem@gmail.com

SPIN-code: 5155-6842

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2737-303X>

ResearcherID: P-7347-2015

Scopus Author ID: 54400105000

Maria A. Pogorelova, Candidate of Sciences (Biol.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

pogm2007@rambler.ru

SPIN-code: 5307-8095

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3671-6150>

ResearcherID: F-5729-2017

Scopus Author ID: 23973295300

Anna A. Stankevich, Candidate of Sciences (Biol.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

repa-pa@yandex.ru

SPIN-code: 5307-8095

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4220-8355>

Scopus Author ID: 57202850535

Oleg A. Suvorov, Dr. Sc. (Ing.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences; Russian Biotechnological University

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; 11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation

SuvorovOA@yandex.ru

SPIN-code: 8979-2000

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

ResearcherID W-1014-2017

Scopus Author ID 23482727600

Поступила 28.03.2024

После рецензирования 21.06.2024

Принята 27.06.2024

Received 28.03.2024

Revised 21.06.2024

Accepted 27.06.2024

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1008

EDN: YNAEBU

УДК 57.083.13



Обзорная статья

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИОФИЛИЗАЦИИ
БАКТЕРИЙ: ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ
КУЛЬТИВИРОВАНИЯ И ЛИОФИЛИЗАЦИИ
НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПРОБИОТИКОВ**

*М.С. Ашихмина, В.С. Филозон, М.О. Володарский,
С.А. Уласевич, Е.В. Скорб*

Аннотация

Обоснование. Сохранение бактериальных культур имеет важное значение в научных исследованиях и промышленном производстве, как пищевого, так и медицинского назначения. Исследование влияния процесса лиофилизации на выживаемость бактерий имеет важное значение для разработки эффективных методов применения пробиотиков. На основании анализа более трехсот публикаций отечественных и зарубежных исследовательских групп, выделено около тридцати ключевых факторов, оказывающих влияние на сохранность бактерий в процессе лиофилизации. Однако для уравнения, описывающего выживаемость бактерий при лиофилизации, были учтены семнадцать параметров, которые являются наиболее значимыми для обеспечения успешной лиофилизации бактериальных культур. Стоит отметить, что при детальном рассмотрении, многие факторы в общем уравнении выживаемости невозможно или очень сложно отследить. В связи с этим, в представленной работе были приняты допущения для упрощения уравнения. Выявление функции ценности, отражающей насколько ценно влияние введенного параметра на выживаемость микроорганизмов после криозаморозки позволит создать виртуальную модель процесса для исследования выживаемости бактерий.

Цель. Целью данного обзора является выявление и обобщение параметров, влияющих на выживаемость бактерий в процессе лиофилизации, а также поиск закономерностей между основными параметрами физических процессов и выживаемостью бактерий после лиофилизации и криоконсервации.

Материалы и методы. Поиск литературы был осуществлен с использованием следующих электронных баз данных: GoogleScholar, ScienceDirect, PudMed, КиберЛенинка. Поисковые запросы включали комбинации следующих фраз: «лиофилизация бактерий», «исследование пробиотиков», «криоконсервация», «уравнение выживаемости бактерий при лиофилизации», «функция ценности».

Результаты. Бактериальные культуры являются важным компонентом многих научных и медицинских исследований. Сохранение чистых культур важно для того, чтобы обеспечить их жизнеспособность и полезность для будущих исследований. Существует несколько методов сохранения бактериальных культур: охлаждение, замораживание и лиофилизацию. В работе основной фокус уделяется факторам, влияющим на накопление бактериальной массы при культивировании, а также факторам, влияющим на выживаемость бактерий при лиофилизации. На основе отобранных параметров найдено уравнение, включающее наиболее значимые параметры, влияющие на выживаемость бактерии при криоконсервации и лиофилизации. Однако при детальном рассмотрении уравнения были выявлены параметры, которые в большинстве исследований являются постоянными при работе с молочнокислыми бактериями. В работе представлен обзор параметров и режимов культивирования и лиофилизации, влияющих на выживаемость бактерий. Различные факторы, такие как подготовительные этапы, параметры культивирования и замораживание, оказывают влияние на функцию выживаемости бактерий при лиофилизации. Понимание этих факторов имеет ключевое значение для оптимизации процесса лиофилизации и повышения эффективности сохранения микроорганизмов. Дальнейшие исследования в этой области помогут улучшить качество консервированных пробиотиков и расширить область их применения.

Заключение. В рамках работы было проанализировано более трехсот публикаций отечественных и зарубежных исследовательских групп, из которых было отобран 31 наиболее важный фактор, влияющий на выживаемость бактерий при лиофилизации. Однако, много параметров в общем уравнении выживаемости значительно усложняют расчет, а порой влияют опосредованно. В связи с этим, в представленной работе были проведены исследования для упрощения уравнения. Таким образом, данный обзор позволит в дальнейшем получить функцию ценности для оптимизации процесса и повышения

эффективности сохранения микроорганизмов при криоконсервации и лиофилизации. Такой подход позволит сделать модель более удобной для анализа и применения на практике.

Ключевые слова: бактериальные культуры; функция ценности; жизнеспособность бактерий; эффективность сохранений; уравнение выживаемости

Для цитирования. Ашихмина М.С., Филозоп В.С., Володарский М.О., Уласевич С.А., Скорб Е.В. Оптимизация лиофилизации бактерий: влияние параметров культивирования и лиофилизации на выживаемость пробиотиков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 515-534. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1008

Scientific review

OPTIMIZATION OF BACTERIAL LYOPHILIZATION PROCESS: INFLUENCE OF CULTIVATION AND LYOPHILIZATION PARAMETERS ON PROBIOTIC SURVIVAL RATE

*M.S. Ashikhmina, V.S. Filozop, M.O. Volodarskiy,
S.A. Ulasevich, E.V. Skorb*

Abstract

Background. The preservation of bacterial cultures plays an important role in scientific research and industrial production, both food and medical. The study of the influence of lyophilization process on bacterial survival is important for the development of effective methods of probiotic application. Based on the analysis of more than three hundred publications by domestic and foreign research groups, about thirty key factors influencing the survival of bacteria during the lyophilization process have been identified. However, for the equation describing the survival rate of bacteria during lyophilization, seventeen parameters were taken into account, which are the most significant for ensuring successful lyophilization of bacterial cultures. It is worth noting that when considered in detail, many factors in the overall survival equation are impossible or very difficult to trace. Therefore, in the presented work, conditions have been taken to simplify the equation. Identification of the value function reflecting how valuable the influence of the introduced parameter on the survival of microorganisms after cryofreezing will allow to create a virtual process model for the study of bacterial survival.

Purpose. The purpose of this review is to summarize and discuss the parameters affecting bacterial survival during lyophilization. Obtaining a value function is important for optimizing the process and improving the preservation efficiency of microorganisms. This paper discusses the role of various influencing factors on bacterial survival rate during multistage lyophilization and their impact on the quality of preserved probiotics.

Materials and methods. A literature search was performed using the following electronic databases: Google Scholar, Science Direct, PubMed, and CyberLeninka. Search queries included combinations of the following phrases: “bacterial lyophilization”, “probiotic research”, “cryopreservation”, “bacterial survival equation for lyophilization”, “value function”.

Results. Bacterial cultures are an important component of many scientific and medical studies. Preservation of bacterial cultures is important to ensure their viability and usefulness for future research. There are several methods of preserving bacterial cultures including refrigeration, freezing and lyophilization. This paper presents the factors affecting bacterial mass accumulation during cultivation and the factors affecting bacterial survival rate during lyophilization. Based on the selected parameters, an equation including the most significant parameters affecting bacterial survival rate during cryopreservation and lyophilization is presented. However, a detailed examination of the equation revealed parameters that are constant in most studies when dealing with lactic acid bacteria. This paper presents an overview of the parameters and modes of cultivation and lyophilization that affect the survival rate of bacteria. Various factors such as preparation steps, cultivation parameters and freezing affect the bacterial survival function during lyophilization. Understanding these factors is key to optimize the lyophilization process and improve microbial preservation efficiency. Further research in this area will help to improve the quality of preserved probiotics and broaden the scope of their application.

Conclusion. Thus, with an increase in infectious load or atrophic changes in the mucosa of the stomach does not exclude the exhaustion of reserve capacity of phagocytes, their modification, thus the transformation of precancerous condition in cancer.

Keywords: bacterial cultures; value function; bacterial viability; preservation efficiency; survival equation

For citation. Ashikhmina M.S., Filozop V.S., Volodarskiy M.O., Ulasevich S.A., Skorb E.V. Optimization of Bacterial Lyophilization Process: Influence of Cultivation and Lyophilization Parameters on Probiotic Survival Rate. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 515-534. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1008

Введение

Бактериальные культуры являются важным компонентом многих научных и медицинских исследований. Сохранение бактериальных культур важно для того, чтобы обеспечить их жизнеспособность и полезность для будущих исследований. Существует несколько методов сохранения бактериальных культур, включая охлаждение, замораживание и лиофилизацию.

Выживаемость бактерий при лиофилизации является ключевым аспектом в области сохранения и устойчивости микроорганизмов. Исследование влияния процесса лиофилизации на жизнеспособность бактерий имеет важное значение для разработки эффективных методов консервации и применения пробиотиков в пищевой и фармацевтической промышленности [1]. Стоит учитывать, что на процесс выживания бактерий влияет не только сам процесс лиофилизации, но подготовительные этапы, такие как накопленная биомасса бактерий, параметры культивирования, замораживание и другие.

При криоконсервации и замораживании происходит повреждение клеток [2; 3], которое может быть вызвано как внутриклеточным, так и внеклеточным образованием кристаллов льда, также целостность клеток зависит от скорости охлаждения [4]. Вначале зарождение и образование льда происходят во внешней среде, но плазматическая мембрана предотвращает внутриклеточный рост кристаллов льда, сохраняя внутриклеточную воду незамерзшей и переохлажденной. При росте кристаллов концентрация растворителей увеличивается, образуя гипертонический раствор [2]. Этот дисбаланс компенсируется повышенным оттоком воды, что приводит к усыханию клеток, известному как «сублимационная дегидратация» [5; 6]. Образование внутриклеточного льда и острых кристаллов может привести к разрыву клеточных органелл и мембран, что обычно приводит к гибели клетки [7]. При высокой скорости охлаждения вода не успевает переместиться из более разбавленного внутриклеточного пространства в концентрированную внеклеточную среду, поэтому внутри клеток остается большее количество переохлажденной воды, которая кристаллизуется при дальнейшем охлаждении. Однако растворители легче витрифицируются, и клетки находятся в концентрированном гипертоническом растворе более короткое время [8; 9]. При более медленной скорости охлаждения вода успевает выйти из клеток, что приводит к более выраженному осмотическому стрессу и большей усадке (рис 1).

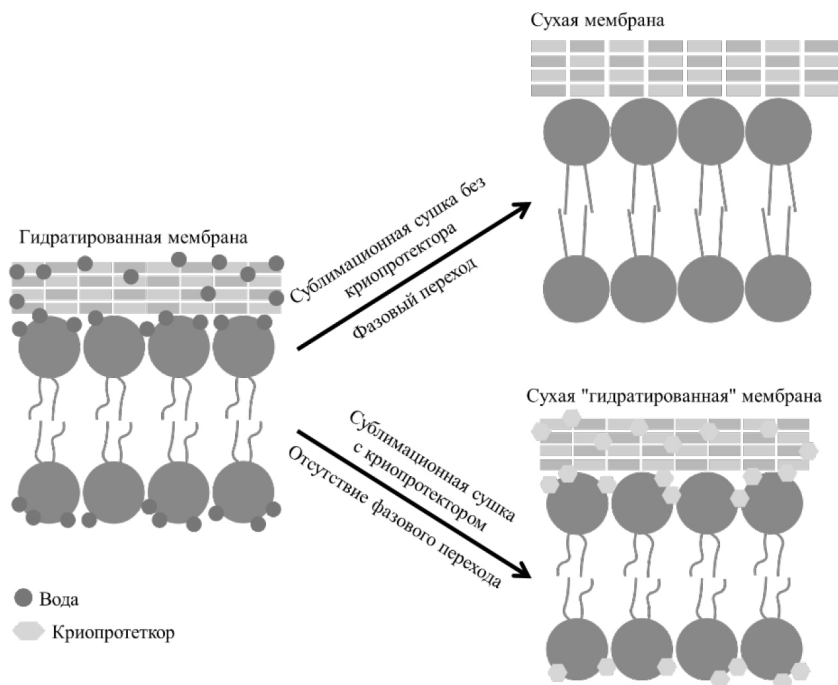


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая влияние дегидратации на фосфолипидный слой бактерий без и с криопротектором

Правильное регулирование параметров лиофилизации, таких как температура, влажность и длительность процесса, играет важную роль в обеспечении оптимального сохранения живых бактерий. Тщательное изучение и контроль этих параметров помогут обеспечить высокое качество бактериальных культур для будущих исследований.

Цель исследования

Целью данного обзора является обобщение и обсуждение параметров, влияющих на выживаемость бактерий в процессе лиофилизации. Получение функции ценности имеет важное значение для оптимизации процесса и повышения эффективности сохранения микроорганизмов. В данной статье рассматривается роль различных факторов, воздействующих на выживаемость бактерий при многоступенчатой лиофилизации и их влияние на качество консервированных пробиотиков.

Материалы и методы

Поиск литературы был осуществлен с использованием следующих электронных баз данных: GoogleScholar, ScienceDirect, PudMed, Кибер-Ленинка. Поискковые запросы включали комбинации следующих фраз: «лиофилизация бактерий», «исследование пробиотиков», «криоконсервация», «уравнение выживаемости бактерий при лиофилизации», «функция ценности». Поиск ограничивался материалами с 2016 по 2024 год, однако присутствуют и более ранние публикации, в которых отражены фундаментальные подходы к исследованию выживаемости бактерий при лиофилизации. В анализ включались статьи, опубликованные на русском и английском языках, содержащие эмпирические данные о культивировании, замораживании и лиофилизации бактерий.

Результаты и обсуждения исследования

Лиофилизация бактерий многоступенчатый этап. На выживаемость бактерий влияют несколько факторов, связанных с культивированием бактерий (рис. 2). Для успешного культивирования бактерий в лаборатории необходимо учитывать ряд факторов. Во-первых, состав питательной среды должен включать в себя необходимые питательные вещества, такие как углеводы, белки, липиды и минералы, а также иметь оптимальное соотношение между ними. Во-вторых, pH среды играет важную роль, поскольку большинство бактерий предпочитает нейтральную или слабощелочную среду. Изменение pH может негативно повлиять на рост и размножение бактерий. Третий фактор – температура культивирования, каждый вид бактерий имеет свой оптимальный диапазон температур для роста и размножения. Четвертый фактор – газовая среда, например кислород. Некоторые бактерии требуют кислорода для роста, а другие – наоборот, не могут размножаться в присутствии кислорода. Продолжительность культивирования также может влиять на количество бактериальной массы. Наличие ингибиторов роста, некоторые компоненты питательной среды могут содержать ингибиторы роста бактерий, что может снизить количество бактериальной массы.

Кроме вышеперечисленных факторов, при культивировании бактерий также необходимо учитывать состав мембраны бактерий, поскольку он может влиять на проницаемость мембраны и способность бактерий к поглощению питательных веществ. Также важен выбор правильного метода пассажа, который позволяет сохранить стабильность генетического материала бактерий при последовательных пересевах. Вид и штамм бактерий также могут влиять на эффективность культивирования, поскольку раз-

личные виды и штаммы могут иметь разные требования к условиям культивирования и чувствительность к антибиотикам и ингибиторам роста.

При культивировании бактерий важную роль играет состав питательной среды (А), вид и штамм бактерий (В), а также другие характеристики, связанные с непосредственно самой клеточной культуры (пассаж, генотип, грамположительные, грамотрицательные, споровые бактерии или иные клетки). Помимо перечисленных факторов, на биомассу бактерий оказывает влияние соотношение объема питательной среды (V_A) к массе бактерий (V_B) от температуры ($T_{\text{рост}}$) и продолжительности культивирования ($\tau_{\text{рост}}$).

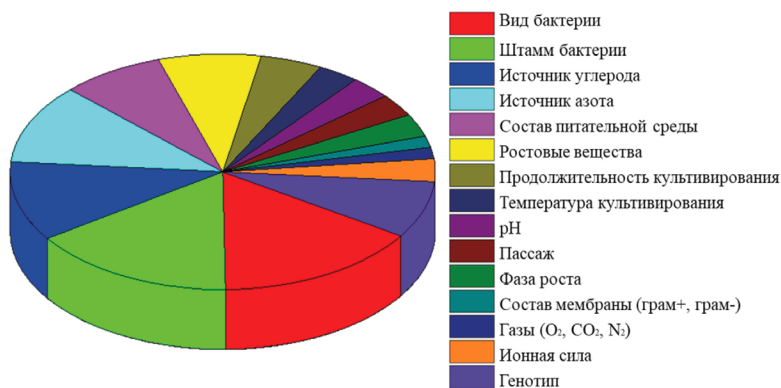


Рис. 2. Факторы, влияющие на накопление бактериальной массы при культивировании

С целью сохранения видового состава, стабилизации бактериальных клеток, уменьшения энергозатрат при хранении проводят лиофильную сушку. Леофильная сушка является наиболее распространенным методом сохранения биологических объектов, в том числе молочнокислых бактерий, что облегчает их хранение и транспортировку без трудоемкой и дорогостоящей холодильной цепи. На процесс лиофилизации влияет множество факторов: скорость заморозки, тип криопротектора, изначальная концентрация микроорганизмов и другие, представленные на рисунке 3.

Важным аспектом является отделение бактериальной массы (V_B) от питательной среды. При использовании центрифуги важно учитывать скорость (g) и продолжительность ($\tau_{\text{центр}}$), а также температуру ($T_{\text{центр}}$) центрифугирования.

После завершения процесса центрифугирования и отделения бактериальной массы от питательной среды, следующий этап включает заморозку

бактерий для последующей лиофилизации. Заморозка бактерий проводится с криопротектором (К), в соотношенит (объем) (V_K). Необходимо учитывать продолжительность ($\tau_{зам}$) и температура ($T_{зам}$) заморозки, а также далее параметры лиофилизации, которые важно учитывать давление ($p_{суш}$), температура ($T_{суш}$), и продолжительность сушки ($\tau_{суш}$).



Рис. 3. Факторы, влияющие на выживаемость бактерий при лиофилизации

В данном разделе описаны наиболее важные переменные, влияющие на выживаемость бактерий при лиофилизации.

Таким образом, получаем параметры, которые в большей степени влияют на выживаемость бактерий (xx):

$$x = (A, B, V_A, V_B, T_{\text{рост}}, \tau_{\text{рост}}, V'_B, K, V_K, T_{\text{зам}}, \tau_{\text{зам}}, P_{\text{суш}}, T_{\text{суш}}, \tau_{\text{суш}}, \tau_{\text{центр}}, g, T_{\text{центр}})$$

Допущение 1

$$\tau_{\text{рост}}(B) = \text{const}$$

$$T_{\text{рост}} = 37 \pm 1^\circ\text{C} = \text{const}$$

Продолжительность и температура культивирования молочнокислых бактерий выбирается в зависимости от вида и штамма бактерий. Важно отметить, для большинства молочнокислых бактерий идеальные условия

для роста и размножения обычно устанавливаются в пределах от 30 до 42°C. Некоторые из наиболее распространенных молочнокислых бактерий (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* и другие) хорошо развиваются при температуре около 37°C [10–21].

Продолжительность культивирования может варьироваться от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от цели культивирования. Важно, чтобы криоконсервация микроорганизмов была произведена в поздней экспоненциальной фазе/ранней стационарной: именно в этой фазе клеточная структура имеет максимальный объем, а, значит, обезвоживание будет происходить с заметно более низкой скоростью (рис. 4). Тогда при определенных оптимальных условиях, продолжительность культивации составляет от 15 до 19 часов, но может доходить до 24 ч.

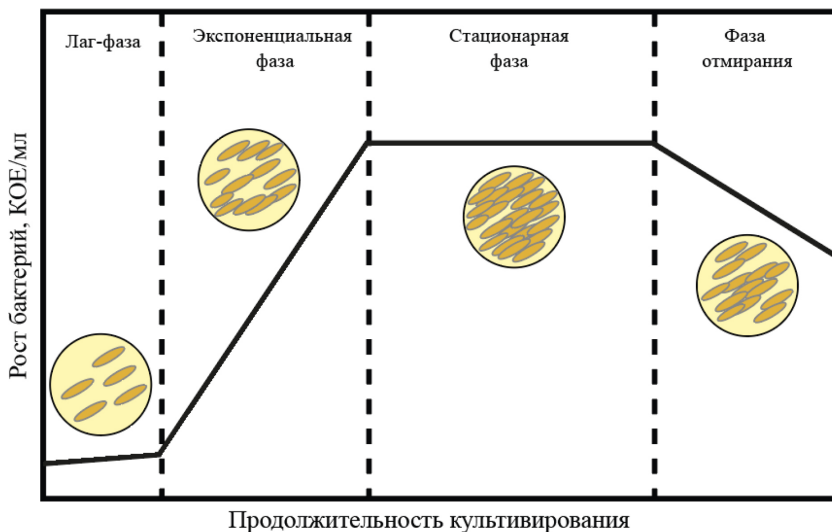


Рис. 4. Общая динамика развития и роста бактерий

Допущение 2

$$\tau_{\text{центр}} = \text{const}$$

$$g = \text{const}$$

$$T_{\text{центр}} = \text{const}$$

При отделении биомассы бактерий от питательной среды важно подобрать оптимальные параметры центрифугирования. Одним из наиболее

простых и быстрых методов отделения биомассы в лабораторных условиях является центрифугирование. Для минимизирования повреждения и изменения структуры клеточных мембран при осаждении биомассы важно учитывать тип клеток и их чувствительность.

В целом, при извлечении биомассы из культуральной среды центробежное ускорение используется для разделения жидкой и твердой фаз биомассы. Чем больше ускорение, тем быстрее происходит разделение фаз, однако страдает жизнеспособность клеток. Применение более низких скоростей и более коротких времен центрифугирования может помочь в сохранении целостности клеток.

Температура также играет важную роль при отделении биомассы. Высокая температура может ускорить процесс разделения фаз, но может также повредить клетки и уменьшить выход биомассы. Низкая температура опасна при центрифугировании для клеток, так как вода может начать кристаллизоваться, и повреждать клеточные структуры или изменять функциональность клеток.

Продолжительность процесса извлечения биомассы зависит от штамма культуры. Некоторые культуры могут быть быстро отделены от среды, в то время как другие требуют длительного процесса разделения фаз.

На основании литературных данных и экспериментов определены средняя скорость центрифугирования равная 3000–5000 об/мин и оптимальное время –7 минут при температуре 20–25°C [22–26].

Допущение 3

$$T_{\text{зам}} = \text{const}$$

$$t_{\text{зам}} = \text{const}$$

Известно, что заморозка приостанавливает биологические процессы, в том числе предотвращающие разрушение клеток. При замораживании бактерий можно выделить несколько этапов: подготовка, включающая в себя добавление криопротектора; замораживание, где образцы помещаются в морозильник с температурой –80°C и меньше или замораживаются с помощью жидкого азота до –196°C; лиофилизация или хранение в замороженном виде, без существенной потери жизнеспособности.

Обычно замораживание проводят, снижая температуру от –80°C до –196°C быстро (в течение нескольких минут) или медленно (до нескольких часов). Продолжительность замораживания может быть увеличена для более крупных объемов культуры или для более чувствительных к замораживанию бактерий, требующих плавного снижения температуры среды.

По мере снижения температуры, снижается и кинетическая энергия внутри клетки. Быстрые скорости охлаждения не дают достаточно времени, чтобы оптимальное количество воды вышло из переплазматического пространства, отсюда увеличивается вероятность кристаллизации, что, как было описано ранее, приведет к большей вероятности клеточной гибели. Оптимальной температурой и временем заморозания было выбрано -80°C и 15 часов [27–34].

Допущение 4

$$P_{\text{суш}} = \text{const}$$

$$T_{\text{суш}} = \text{const}$$

$$\tau_{\text{суш}} = \text{const}$$

В процессе лиофилизации в камере создается вакуум, чтобы снизить давление вокруг образца и способствовать сублимации льда. Далее необходимо подобрать правильные параметры: длительность, интервал температур и давления, для уменьшения возможных повреждений клеточных структур, так как давление, температура и продолжительность лиофилизации могут существенно влиять на выживаемость бактерий.

Давление. Высокое давление может повредить клеточные мембраны и снизить выживаемость. Используя низкое давление можно уменьшить время лиофилизации и существенно улучшить сохранение бактерий. Установлено, что оптимальное давление для сушки находится в интервале от 0,08 Па до 70 Па.

Температура. Высокая температура может привести к денатурации белков и других молекул, что может снизить выживаемость бактерий. Однако низкая температура может замедлить процесс лиофилизации и увеличить время, необходимое для сохранения бактерий. Изучив условия лиофилизации в публикациях, можно определить оптимальную температуру в начале процесса и скорость повышения температуры в следующих стадиях. Выявлено, что первичную сушку предпочтительно осуществлять при температуре $-40^{\circ}\pm 5^{\circ}$ с повышением температуры $2,5\text{--}5^{\circ}\text{C}/\text{ч}$.

Продолжительность лиофилизации. Длительная лиофилизация может привести к повреждению клеточных структур и снижению выживаемости бактерий. Однако слишком короткое время лиофилизации может не обеспечить полное удаление воды из образца, что также может привести к снижению выживаемости. Продолжительность варьируется от 19 до 30 часов и зависит от других параметров лиофильного высушивания.

Таким образом, оптимальные условия лиофилизации должны быть определены для каждого типа бактерий в зависимости от их особенностей и требований к хранению [35].

Допущение 5

$$V_A = \text{const}$$

$$V_B = \text{const}$$

Соотношение объема питательной среды и биомассы зависит от многих факторов, таких как вид микроорганизма, условия окружающей среды, наличие питательных веществ и т.д. В общем случае, чем больше объем питательной среды, тем больше биомассы может быть выращено. Однако, если среда будет слишком питательной, то это может привести к перерастанию микроорганизмов и неправильному формированию клеток. С другой стороны, если среда будет недостаточно питательной, то это может замедлить рост и развитие микроорганизмов. Поэтому оптимальное соотношение объема питательной среды и биомассы должно быть подобрано индивидуально для каждого конкретного случая. В большинстве работ начальный объем питательной среды составляет 100 мл, инокулируют суспензией микроорганизмов, объемом 1 мл 0,1 OD₆₀₀, такая стартовая культура позволяет наращивать достаточное количество клеток для исследования их криозащиты и не затрачивать большое количество ресурсов.

Принимая во внимание все указанные допущения, получаем функцию:

$$x = (A, B, V'_B, K, V_K)$$

На основании предыдущих исследований (рис. 5) и литературного обзора найдено, что объем криопротектора по отношению к биомассе составляет 3:1 или 4:1 [36]. Такое соотношение позволяет достичь оптимальной защиты клеток от повреждений при замораживании и последующей сушки. Увеличение массы (объема) криопротектора приведет к увеличению продолжительности замораживания и лиофилизации из-за высокой теплоемкости воды. Отношение криопротектора к биомассе обусловлено тем, что при такой концентрации криопротекторы эффективно снижают температуру фазового перехода воды, меняя при этом кристаллическую структуру льда, предотвращают гидратацию и образование эвтектики.

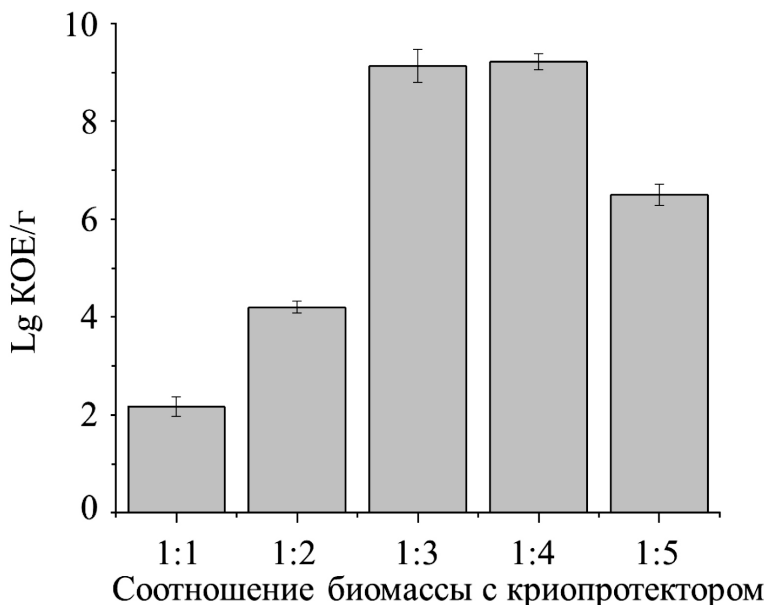


Рис. 5. Сравнительная характеристика соотношения биомассы и криопротектора при замораживании

Следовательно, функция принимает вид:

$$V_K = 3V'_B$$

$$x = (A, B, V'_B, K, 3V'_B)$$

Масса бактерий после центрифугирования зависит от начальных параметров культивирования (состава питательной среды, вида бактерий, соотношения бактерий и объема среды, температуры и продолжительности культивирования и других параметров):

$$V'_B = (A, B, V_A, V_B, T_{\text{рост}}, \tau_{\text{рост}})$$

Так образом, получаем следующие параметры, которые позволяют оценивать и регулировать количество живых бактерий в процессе лиофилизации:

$$x = (A, B, V'_B, K, V_K)$$

$$V'_B = (A, B, V_A, V_B, T_{\text{рост}}, \tau_{\text{рост}})$$

$$V_K = 3V'_B$$

Заключение

Бактериальные культуры играют ключевую роль в научных и медицинских исследованиях. Методы сохранения бактериальных культур, включая лиофилизацию, имеют важное значение для обеспечения стабильности и устойчивости микроорганизмов. Исследование влияния процесса лиофилизации на выживаемость бактерий может найти свое применение для разработки эффективных методов консервации и применения пробиотиков в пищевой и фармацевтической промышленности. Различные факторы, такие как подготовительные этапы, параметры культивирования и замораживание, оказывают влияние на функцию выживаемости бактерий при лиофилизации. Дальнейшие исследования в этой области помогут улучшить качество консервированных пробиотиков и расширить область их применения.

В рамках работы было проанализировано более трехсот публикаций отечественных и зарубежных исследовательских групп, из которых было отобран 31 наиболее важный фактор, влияющий на выживаемость бактерий при лиофилизации. Однако, многие факторы в общем уравнении выживаемости невозможно или очень сложно отследить. В связи с этим, в представленной работе были приняты допущения для упрощения уравнения. Таким образом, данный обзор позволит в дальнейшем получить функцию ценности для оптимизации процесса и повышения эффективности сохранения микроорганизмов при криоконсервации и лиофилизации. Такой подход позволит сделать модель более удобной для анализа и применения на практике.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке РФФ № 23-16-00224

Список литературы / References

1. Грачева И.В., Осин А.В. Механизмы повреждений бактерий при лиофилизации и протективное действие защитных сред // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. № 3. С. 5–12. (Gracheva I.V., Osin A.V. Mechanisms of bacterial damage during lyophilization and protective effect of protective media. *Problems of especially dangerous infections*, 2016, no. 3, pp. 5-12). <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2016-3-5-12>
2. Merivaara A. et al. Preservation of biomaterials and cells by freeze-drying: Change of paradigm. *Journal of Controlled Release*, 2021, vol. 336, pp. 480–498. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2021.06.042>

3. Murray K.A., Gibson M.I. Chemical approaches to cryopreservation. *Nat Rev Chem.*, 2022, vol. 6, no. 8, pp. 579–593. <https://doi.org/10.1038/s41570-022-00407-4>
4. Wolkers W.F., Oldenhof H. *Principles Underlying Cryopreservation and Freeze-Drying of Cells and Tissues*. 2021, pp. 3–25. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0783-1_1
5. Bellali S. et al. A new protectant medium preserving bacterial viability after freeze drying. *Microbiol Res.*, 2020, vol. 236, 126454. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126454>
6. Peiren J., Hellemans A., De Vos P. Impact of the freeze-drying process on product appearance, residual moisture content, viability, and batch uniformity of freeze-dried bacterial cultures safeguarded at culture collections. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2016, vol. 100, no. 14, pp. 6239–6249. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7359-1>
7. Hauptmann A., Hoelzl G., Loerting T. Optical cryomicroscopy and differential scanning calorimetry of buffer solutions containing cryoprotectants. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2021, vol. 163, pp. 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2021.03.015>
8. Broeckx G. et al. Drying techniques of probiotic bacteria as an important step towards the development of novel pharmabiotics. *Int J Pharm.*, 2016, vol. 505, no. 1–2, pp. 303–318. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.04.002>
9. Santivarangkna C., Higl B., Foerst P. Protection mechanisms of sugars during different stages of preparation process of dried lactic acid starter cultures. *Food Microbiol.*, 2008, vol. 25, no. 3, pp. 429–441. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.12.004>
10. Briggs M. et al. The Preservation of Lactobacilli by Freeze-drying. *J Gen Microbiol.*, 1955, vol. 12, no. 3, pp. 503–512. <https://doi.org/10.1099/00221287-12-3-503>
11. Meng F.-B. et al. Effect of Lactobacillus plantarum and Lactobacillus acidophilus fermentation on antioxidant activity and metabolomic profiles of loquat juice. *LWT*, 2022, vol. 171, 114104. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114104>
12. Anh Ngoc Le T., Jie Lin Lee J., Ning Chen W. Stimulation of lactic acid production and Lactobacillus plantarum growth in the coculture with Bacillus subtilis using jackfruit seed starch. *J Funct Foods*, 2023, vol. 104, 105535. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105535>
13. Wang T. et al. Food-grade expression system of Lactobacillus plantarum using β -galactosidase small subunit as selection marker and lactose as screening condition. *LWT*, 2023, vol. 182, 114922. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114922>

14. Tian J., Yin G., Zhang J. Combined metabolomic and proteomic analyses reveal the aerobic and respirative life-style of *Lactobacillus plantarum* SXC48. *LWT*, 2023, vol. 185, 115216. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115216>
15. Zong C. et al. Klebsiella as an α -tocopherol source facilitating *Lactobacillus plantarum* fermentation in rice straw silage1. *J Integr Agric.*, 2024, vol. 23, no. 12, pp. 4186-4202. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.11.036>
16. Anh Ngoc Le T., Jie Lin Lee J., Ning Chen W. Stimulation of lactic acid production and *Lactobacillus plantarum* growth in the coculture with *Bacillus subtilis* using jackfruit seed starch. *J Funct Foods*, 2023, vol. 104, 105535. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105535>
17. Renschler M.A. et al. Using nitrous acid-modified de Man, Rogosa, and Sharpe medium to selectively isolate and culture lactic acid bacteria from dairy foods. *J Dairy Sci.*, 2020, vol. 103, no. 2, pp. 1215–1222. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17041>
18. Thomas R.M. et al. Nutritional and sensory quality of Ofada rice sourdough bread made with selected lactic acid bacteria strains. *Heliyon*, 2023, vol. 9, no. 10, e20828. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20828>
19. Spacova I. et al. Development of a live biotherapeutic throat spray with lactobacilli targeting respiratory viral infections. *Microbial Biotechnology*, 2023, vol. 16, no. 1, pp. 99–115. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14189>
20. Li D. et al. Quercetin-enriched *Lactobacillus aviarius* alleviates hyperuricemia by hydrolase-mediated degradation of purine nucleosides. *Pharmacol Res.*, 2023, vol. 196, 106928. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2023.106928>
21. Phengnoi P. et al. Characterization of levansucrase produced by novel *Bacillus siamensis* and optimization of culture condition for levan biosynthesis. *Heliyon.*, 2022, vol. 8, no. 12, e12137. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12137>
22. Duong T. et al. Characterization of the *tre* Locus and Analysis of Trehalose Cryo-protection in *Lactobacillus acidophilus* NCFM. *Appl Environ Microbiol.*, 2006, vol. 72, no. 2, pp. 1218–1225. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.2.1218-1225.2006>
23. Teng D. et al. Stabilization of freeze-dried *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* JCM 8130T with the addition of disaccharides, polymers, and their mixtures. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2017, vol. 81, no. 4, pp. 768–773. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1279852>
24. Coghetto C.C. et al. *Lactobacillus plantarum* BL011 cultivation in industrial isolated soybean protein acid residue. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2016, vol. 47, no. 4, pp. 941–948. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.003>
25. Fossi B.T. et al. Probiotic lactic acid bacteria isolated from traditional cameroonian palm wine and corn beer exhibiting cholesterol lowering activity. *Heliyon.*, 2022, vol. 8, no. 11, e11708. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11708>

26. Lacerda Massa N.M. et al. Effects of digested jaboticaba (*Myrciariajaboticaba* (Vell.) Berg) by-product on growth and metabolism of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* indicate prebiotic properties. *LWT*, 2020, vol. 131, 109766. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109766>
27. Papadopoulou E. et al. Adaptive laboratory evolution to hypersaline conditions of lactic acid bacteria isolated from seaweed. *N Biotechnol.*, 2023, vol. 75, pp. 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2023.03.001>
28. Jiang Y. et al. The therapeutic effects of fermented milk with lactic acid bacteria from traditional Daqu on hypertensive mice. *J Dairy Sci.*, 2024, vol. 107, no. 2, pp. 742–758. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23858>
29. Illikoud N. et al. Development of innovative fermented products by exploiting the diversity of immunomodulatory properties and fermentative activity of lactic and propionic acid bacteria. *Food Research International*, 2023, vol. 166, 112557. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112557>
30. Tatsaporn T., Kornkanok K. Using Potential Lactic Acid Bacteria Biofilms and their Compounds to Control Biofilms of Foodborne Pathogens. *Biotechnology Reports*, 2020, vol. 26, e00477. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00477>
31. Rocha-Mendoza D. et al. Growth of lactic acid bacteria in milk phospholipids enhances their adhesion to Caco-2 cells. *J Dairy Sci.*, 2020, vol. 103, no. 9, pp. 7707–7718. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18271>
32. Ahmed W.I. et al. Biocontrol of *Bacillus cereus* by *Lactobacillus plantarum* in Kareish cheese and yogurt. *LWT*, 2023, vol. 183, 114946. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114946>
33. Wang G.-Q. et al. Influence of freezing temperature before freeze-drying on the viability of various *Lactobacillus plantarum* strains. *J Dairy Sci.*, 2020, vol. 103, no. 4, pp. 3066–3075. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17685>
34. Stefanello R.F. et al. Survival and stability of *Lactobacillus fermentum* and *Wickerhamomycesanomalus* strains upon lyophilisation with different cryoprotectant agents. *Food Research International*, 2019, vol. 115, pp. 90–94. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.044>
35. Bodzen A. et al. Design of a new lyoprotectant increasing freeze-dried *Lactobacillus* strain survival to long-term storage. *BMC Biotechnol.*, 2021, vol. 21, no. 1, p. 66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.044>
36. Giulio B. De et al. Use of alginate and cryo-protective sugars to improve the viability of lactic acid bacteria after freezing and freeze-drying. *World J Microbiol Biotechnol.*, 2005, vol. 21, no. 5, pp. 739–746. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-4735-2>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Ашихмина Мария Сергеевна, аспирант

Университет ИТМО

Кронверкский пр., 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

msashikhmina@itmo.ru

Филозоф Владислав Сергеевич, бакалавр

Университет ИТМО

Кронверкский пр., 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

fllozor@yandex.com

Володарский Михаил Олегович, бакалавр

Университет ИТМО

Кронверкский пр., 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

michael.volodarsky@yandex.ru

Уласевич Светлана Александровна, к.х.н., доцент

Университет ИТМО

Кронверкский пр., 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

saulasevich@itmo.ru

Скорб Екатерина Владимировна, д.х.н., профессор

Университет ИТМО

Кронверкский пр., 49А, г. Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

skorb@itmo.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Mariia S. Ashikhmina, Postgraduate Student

ITMO University

*49A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation
msashikhmina@itmo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8545-1051>*

Vladislav S. Filozop, Undergraduate Student

*ITMO University
49A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation
fllozop@yandex.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5880-2440>*

Mikhail O. Volodarskiy, Undergraduate Student

*ITMO University
49A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation
michael.volodarsky@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5869-7704>*

Sviatlana A. Ulasevich, Cand. Chemistry, Associate Professor

*ITMO University
49A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation
saulasevich@itmo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1753-911X>*

Ekaterina V. Skorb, Dr. of Chemical Sciences, Professor

*ITMO University
49A, Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation
skorb@itmo.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0888-1693>*

Поступила 29.03.2024

После рецензирования 03.06.2024

Принята 01.07.2024

Received 29.03.2024

Revised 03.06.2024

Accepted 01.07.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1348

EDN: ZHQAKT

УДК 616-031.22



Обзорная статья

МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПОДОШВЕННОГО ФАСЦИИ ИЛИ БОЛЕЗНИ “ПЯТОЧНОЙ ШПОРЫ”

А.М.Я. Мурадова

Аннотация

Обоснование. Подошвенный фасциит (ПФ) – распространенное заболевание, вызывающее боль в стопе и пятке. Дискомфорт в пятке встречается в разных возрастах, и обусловлен развитием патологического процесса как у активных, так и у малоподвижных пожилых людей. Заболеванию подвержены люди, страдающие ожирением, а также люди, которые большую часть времени проводят на ногах. Большинство вмешательств, используемых для лечения подошвенного фасциита, изучены не достаточно.

Цель работы: сопоставление наиболее распространенных методов лечения, оказывающих наилучший эффект у пациентов с подошвенным фасциитом.

Методы. Для поиска информации использовались базы данных PubMed, Scopus, Embase, Ovid (Medline) и PEDro. В этом обзоре были изложены методы лечения подошвенного фасциита, или «пяточной шпоры», новейшие формы лечения резистентных к терапии типов подошвенного фасциита. Анализ публикаций проводился за период с 2005 года по 2023 год. Методы лечения плантарного фасциита или «пяточной боли» имеют важное научное и практическое значение.

Результаты. В результате анализа литературы и исследовательских научных работ были систематизированы методы лечения подошвенного фасциита, которые уменьшают боль, повышают функциональный уровень, производительность мышц, диапазон движений суставов и качество жизни.

Заключение. В лечении ПФ могут быть полезны ношение ортопедических стелек, упражнения на растяжение голенисто-пальных мышц и сухожилий, инъекции стероидов и использование специально разработанных ночных стабилизаторов. Отдельное внимание уделяется исследованию экстракорпоральной ударно-волновой терапии как наиболее щадящий и эффективный консервативный метод лечения как для спортсменов с хронической болью в пятках, так и для других пациентов.

Ключевые слова: подошвенный фасциит; боль; экстракорпоральная ударно-волновая терапия; ультразвуковая терапия; лечебная физическая культура; хирургическое лечение

Для цитирования. Мурадова А.М.Я. Методы лечения подошвенного фасциита или болезни “пяточной шпоры” // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 535-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1348

Scientific review

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY

A.M.Y. Muradova

Abstract

Background. Plantar fasciitis (PF) is a common disease that causes pain in the foot and heel. Heel discomfort is associated with the development of plantar fasciitis in both active and sedentary older adults. People who are obese and people who spend most of their time on their feet are more susceptible to the disease. Most interventions used to treat plantar fasciitis are poorly studied.

Purpose. The purpose of this study is to compare the most common treatment methods that have the best effect in patients with plantar fasciitis.

Methods. PubMed, Scopus, Embase, Ovid (Medline) and PEDro databases were used to search for information. This study outlined treatments for plantar fasciitis, or “heel spurs,” the latest forms of treatment for treatment-resistant types of plantar fasciitis. Treatments for planar fasciitis, or “heel pain,” have important scientific and practical implications.

Results. As a result of the analysis of the literature and research studies, treatment methods for plantar fasciitis have been systematized that reduce pain, increase functional level, muscle performance, joint range of motion and quality of life.

Conclusion. Treatment for PF may include wearing orthotics, stretching exercises for the ankle muscles and tendons, steroid injections, and the use of specially designed night stabilizers. Special attention is paid to the study of extracorporeal shock wave therapy as the most gentle and effective conservative treatment method for both athletes with chronic heel pain and other patients.

Keywords: plantar fasciitis; pain; ESWT; ultrasound therapy; physical exercises; surgical treatment

For citation. Muradova A.M.Y. Assessment of the Level of Pain in the Treatment of Plantar Fasciitis by Extracorporeal Shock Wave Therapy. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 535-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1348

Введение

Боль в медиальной подошвенной части пяточной кости негативно влияет на жизнь миллионов людей во всем мире [30].

Больные обычно жалуются на боли в передне-медиальной части пятки. Боль усиливается при пассивном тыльном сгибании пальцев стопы. Симптомы могут присутствовать в течение недель или месяцев. Боль усиливается после отдыха, особенно после сна [32].

Подошвенная фасция играет важную роль в нормальной биомеханике стопы и состоит из трех сегментов. Сама фасция важна для обеспечения поддержки подошвенного свода [1]. Несмотря на диагноз, содержащий словесный сегмент «-itis», данное состояние характеризуется отсутствием воспалительных клеток [16].

Поскольку этиология подошвенного фасциита неясна, диагноз обычно основывается на следующих клинических признаках: боли, которая уменьшается при начальной активности, но усиливается при ежедневной деятельности [6; 9].

Подошвенный фасциит - многофакторное заболевание, но в большинстве случаев его причиной является чрезмерный стресс, испытываемый опорно-двигательным аппаратом. Подошвенный фасциит лечить нелегко, и большинство методов лечения сопровождаются неудовлетворительными результатами.

Подошвенный фасциит - это повторяющаяся травма, вызванная чрезмерным стрессом, которая часто вызывает микроразрывы подошвенной фасции, но также может возникать в результате травмы или других многофакторных причин [13]. Некоторыми предрасполагающими факторами являются плоская или полая стопа, ограниченное тыльное сгибание голеностопного сустава и чрезмерная пронация или супинация. Плоская стопа может вызвать повышенное напряжение подошвенной фасции [21]. У пациентов с этим заболеванием также наблюдаются напряжения икроножных, камбаловидных мышц и/или других мышц нижних конечностей. Нарушения в этих мышцах также могут изменить нормальную биомеханику. Хотя данная патология часто встречается у бегунов и атлетов, к другим факторам риска относятся ожирение, атрофия подушечек

чек голеностопного сустава, старение, работа, требующая длительной нагрузки на стопу.

Около 80% пациентов с болью в пятке страдают подошвенным фасциитом, но существует и ряд других диагнозов, которые могут вызывать боль. Эти симптомы могут вызывать так же анкилозирующий спондилит, синдром Рейтера и остеоартрит, ревматоидный артрит, сахарный диабет, неоплазии, инфекции и т.д. Ревматоидный артрит чаще встречается у женщин и в этом случае симптомы обнаруживаются на обоих стопах. У мужчин следует предполагать наличие анкилозирующего спондилита или синдрома Рейтера. Абсцесс мягких тканей чаще встречается у больных сахарным диабетом. Конституциональные симптомы, такие как потеря веса, ночные боли и лихорадка, являются признаком неоплазии или инфекции, особенно у пациентов с нейропатией. Первичные неоплазии стопы встречаются крайне редко. К другим дифференциальным диагнозам относятся вовлечение в процесс первой ветви латерального подошвенного или медиального подошвенного нерва [18].

Для поиска информации при создании обзора использовались базы данных PubMed, Scopus, Embase, Ovid (Medline) и PEDro. Анализ публикаций проводился за период с 2005 года по 2023 год.

Результаты

Прежде всего, диагноз подошвенного фасциита ставится клинически. Исследования должны основываться на клинических наблюдениях. Плановое рентгенологическое исследование - наиболее востребованный метод диагностики. Приблизительно у половины пациентов, обращенных по причине боли под стопой при рентгенологическом исследовании выявляется отек пятки. Подошвенные пяточные шпоры считаются случайной находкой в 13% при рентгенологическом исследовании лодыжек, снятых по поводу других заболеваний, не связанных с подошвенным фасциитом [8].

Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата является очень полезным и надежным инструментом в диагностике подошвенного фасциита, поскольку это широко распространенный неинвазивный метод визуализации без ионизирующего излучения. По измеренным нормативным значениям толщина подошвенной фасции у здоровых составляет от $3,3 \pm 0,3$ мм до $3,9 \pm 0,5$ мм; толщина более 4,0 мм считается патологией [17; 26].

Болезненная ПФ отрицательно влияет на функциональный уровень человека [16]. В большинстве случаев у 80% пациентов боль исчезает в

течение года. Только 5% пациентов нуждаются в хирургическом вмешательстве [21]. У 90-95% пациентов, получающих консервативное лечение, наблюдается улучшение. Но это может занять от 6 месяцев до 1 года. Оперативное вмешательство проводят пациентам, у которых консервативное лечение оказалось неэффективным. Однако вероятность успеха операции составляет от 50% до 85% [17; 26; 27].

Лечение, как правило, симптоматическое, и для уменьшения боли, которая является наиболее выраженным симптомом, используются различные методы и подходы к лечению.

Подход к лечению обычно включает консервативные методы, такие как инъекции стероидов, нестероидные противовоспалительные препараты, ультразвуковую терапию, фонофорез, лазеротерапию, экстракорпоральную ударно-волновую терапию (ЭУВТ), лечение ортопедическими средствами и лечебная физическая культура.

Врач должен выбрать приоритетный и правильный тип лечения на основе стоимости и эффективности [18]. Лечение следует начинать с консервативных методов, таких как упражнения на растяжение подошвенной фасции и использование подпяточных стелек.

С самого начала важно информировать пациента об ожиданиях, продолжительности лечения и необходимости внесения корректив в образ жизни и активность. Необходимо избегать резких движений, таких как длительное нахождение на ногах, бег на большие расстояния и прыжки. Ожирение также является важным фактором развития ПФ. Пациентам следует способствовать снижению избыточного веса. Работники, работающие полный рабочий день, должны периодически вставать, ходить по комнате и снова садиться [4; 6; 9; 14].

При необходимости лечение поддерживают применением нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП) и ортопедических средств. Можно использовать ночные стабилизаторы, но они удобны не всем пациентам. Если после этих вариантов симптомы не улучшатся, можно рассмотреть возможность инъекций. Если симптомы сохраняются в течение 6 месяцев и более, можно использовать ЭУВТ. Хирургическое вмешательство является последним средством в случаях ПФ [9].

Согласно практическим рекомендациям 2010 года Американского Колледжа Хирургов Стопы и Голенистопоного сустава консервативные методы должны быть предпочтительными в качестве основного лечения ПФ и болей в подошвенной пятке. В этом руководстве рекомендуется разъяснять пациентам, что симптомы исчезнут в течение 6–12 месяцев [11].

Инъекции кортикостероидов обычно эффективны в краткосрочном времени. Однако зачастую они приносят лишь временное облегчение [18]. После инъекций могут развиваться такие осложнения, как боль и повреждение нервных окончаний. Если инъекцию проводить в верхнюю часть подошвенной фасции, по медиальному краю пятки, риск разрыва снижается [4; 14].

Лечебная физическая культура – это простой в применении вариант лечения. При лечении ПФ рекомендуются упражнения на растяжение ахиллова сухожилия, растяжение икроножных мышц и подошвенной фасции. Физиотерапевты-реабилитологи подбирают подходящие упражнения и рекомендуют их пациенту, определяя домашнюю программу, и наблюдают за динамикой процесса. Растяжение двуглавой мышцы бедра и внутренних мышц ног также является успешным методом лечения, поскольку это воздействует на подошвенную фасцию [14].

Рекомендуется растягивать икроножные мышцы и свод стопы полотенцем. Держа полотенце рядом с кроватью надо растягиваться в течение 30 секунд перед сном и перед тем, как сделать первый шаг по утрам. Также рекомендуется использовать стеклянный валик под подошвенную фасцию стопы. Рекомендуется держать бутылку рядом с кроватью и прокатывать ее 3 раза по 1 минуте отдыхая между приемами 30 секунд каждый вечер перед сном.

Наиболее статистически значимые долгосрочные результаты были обнаружены при исследовании упражнения на растяжение подошвенной фасции (рис. 1) [24]. Было показано, что влияние напряжения на уменьшение боли наблюдается в период от первых 2 недель до 4 месяцев [3].



Рис. 1. Растяжение подошвенной фасции [24]

Для таких пациентов также важны силовые упражнения. Чтобы укрепить внутренние мышцы ног, можно выполнять упражнения на сгибание рук с помощью полотенца или упражнения на опускание пятки (рис. 2). Рекомендуется выполнять эти упражнения каждый день, 3 раза по 15 повторений в день [5; 15]. За счет эксцентрического сокращения во время упражнений с опусканием пятки икроножная мышца одновременно растягивается и укрепляется [9].



Рис. 2. Упражнения на опускание пятки и упражнение по сбору полотенца стопой [5]

При лечении ПФ применяют самые разнообразные корсеты фабричного или ручного изготовления. Можно также использовать подпяточные стельки, а также стельки и корсеты, поднимающие пятку и поддерживающие свод стопы [10; 20]. Ночные корсеты предотвращают контрактуру подошвенной фасции во время сна, облегчая симптомы удерживая стопу в нейтральном положении. Использование корсетов повышают гибкость подошвенных и икроножных мышц в утренние часы и уменьшают напряжение подошвенной фасции. Пластиковые и силиконовые подпяточники и супинаторы можно считать недорогими ортопедическими изделиями. Сообщается также, что эти методы, используемые для лечения ПФ, эффективно лечат основные биомеханические причины, такие как пронация стопы, плоскостопие и высокий свод стопы [2; 25].

Экстракорпоральная ударно-волновая терапия (ЭУВТ) – это метод лечения, при котором на тело воздействуют волны давления высокой интенсивности. Ударные волны впервые были использованы в терапевтических целях в 1970-х и 1980-х годах для разрушения камней в почках. Когда во время раздробления камней нижних отделов мочеточника были обнару-

жены изменения в подвздошной кости, были начаты исследования костной ткани, и в конце 1980-х годов были опубликованы исследования ее эффективности в замедлении сращения костей. В результате этих исследований было установлено, что анальгезия возникает в тех областях, где к пациентам, получающим лечение, применяются ударные волны низкой энергии. В 1990-х годах впервые началось использование ударных волн при энтезопатиях [28]. Механизм действия ударно-волновой терапии до конца не известен. Сегодня он используется при многих патологиях, таких как тендинопатия надколенника, тендинопатия ахиллова сухожилия, тендинит плеча, подошвенный фасциит, остеоартрит и латеральный эпикондилит. Эффекты применения ударных волн в различных областях продолжают изучаться.

Ультразвуковая терапия является одним из физиотерапевтических методов лечения подошвенного фасциита. Этот вид лечения использует механические вибрации с частотой выше 20 кГц. Ультразвук является эффективным средством лечения для уменьшения боли и спазма тканей. Этот высокочастотный ток, предпочтительный из-за его термического и механического воздействия на глубокие ткани, а также часто используемый и простой в применении как метод электротерапии в физиотерапии. Ультразвук повышает уровень клеточной активности. Он усиливает кровообращение, вызванное повышением температуры в тканях, улучшает воспалительный процесс и создает обезболивающий эффект. Аппараты ультразвуковой терапии состоят из генератора переменного тока высокой частоты и головки, преобразующей этот ток в звуковые волны. Внутри этой головки находится пьезоэлектрический кристалл, преобразующий электрическую энергию в механическую [31].

Ультразвуковые волны не могут распространяться в вакууме, но могут распространяться в среде. Во время этого распространения некоторые ультразвуковые волны отражаются, некоторые преломляются, некоторые рассеиваются, а некоторые поглощаются. При таком поглощении энергия ультразвуковых волн вызывает повышение температуры.

В области применения, углубляясь, доза снижается за счет поглощения и распространения ультразвуковой терапии тканями.

Метод электростимуляции используется для уменьшения боли и ускорения заживления тканей. Однако существуют исследования с электрической стимуляцией добавленные к основному протоколу лечения, состоящему из упражнений на растяжение подошвенной фасции и использования корсетов, которые не оказали влияния на эффективность лечения [22].

Тейпирование является одним из методов, который может быть применен для лечения ПФ. Кинезиотейп — это тонкая эластичная лента, изобретенная Кензо Касе в 1970-х годах. Его обычно используют для лечения травм у спортсменов. Сообщалось, что кинезио тейпирование стимулирует или подавляет мышечную активность. Улучшает функцию мышц и уменьшает аномальное мышечное напряжение. В последние годы кинезиотейп применяется при лечении многих заболеваний опорно-двигательного аппарата. Однако количество исследований, изучающих эффективность кинезиотейпирования при лечении ПФ, ограничено [24].

Исследование, проведенное в 2010 году, показало, что кинезиотейпирование может быть более эффективно при ПФ, чем традиционные методы лечения. При ПФ тейп улучшает функцию мышц за счет их укрепления, улучшает крово- и лимфообращение, тем самым уменьшая отеки за счет удаления тканевой жидкости, уменьшая боль за счет неврологического подавления, помогая вправить подвывих суставов, уменьшая аномальное мышечное напряжение, способствуя коррекции функций [25].

Сухое иглоукалывание — относительно новый метод лечения в области реабилитации. Это менее инвазивный метод, чем иглоукалывание, воздействующее на миофасциальные триггерные точки. Помимо пяточных болей, его также применяют при лечении многих заболеваний опорно-двигательного аппарата. Он изменяет биохимическую среду и снижает спонтанную электрическую активность скелетных мышц [9; 18].

PRP-терапия (Platelet Rich Plasma, аутоплазмотерапия, плазмолифтинг) - неоперативное лечение плоскостопия, пяточной шпоры, деформации Халлунда, переломов костей стопы и деформирующего артроза суставов стоп. PRP-терапия (ПРП, PRP) инновационный и активно развивающийся метод лечения различных деформаций и травм стопы и нижних конечностей. Основой метода является лечение собственной плазмой, получаемой из крови пациента. Название ПРП - PRP терапии произошло от сокращения английских слов Platelet Rich Plasma, т.е плазма, обогащенная собственными тромбоцитами. ПРП-терапия это современная методика, заключающаяся во введении в патологический очаг боли и воспаления собственной плазмы (жидкой части) крови пациента, обогащенной тромбоцитами. В результате происходит местное повышение содержания различных биологически активных веществ, в том числе факторов роста, вызывающих снижение воспаления, устранение спазмов и боли, улучшение питания и главное - восстановление поврежденных тканей суставов, костей, мышц и сухожилий стопы.

ПРП терапия надежно и надолго снимает болевой синдром при различных заболеваниях и травмах стопы, способствует регенерации хрящей суставов при деформирующем артрозе, ускоряет заживление переломов костей и устраняет воспаление при пяточной шпоре и болезни Хаглунда. ПРП терапия востребована спортсменами - этот метод исключает применение гормонов и других запрещенных или ограниченных к применению в спорте лекарственных средств. ПРП терапия не вызывает аллергических и побочных реакций, т.к. использует собственную кровь пациента [23].

Хирургическое вмешательство рекомендуется пациентам с ПФ, которые не отвечают на консервативное лечение в течение года и более. Открытая частичная фасциотомия является наиболее традиционным методом. Время восстановления после этого хирургического метода может занять до 3 месяцев. Другие варианты хирургического вмешательства при ПФ: сюда входит полное или частичное расслабление подошвенной фасции и расслабление икроножных мышц (рис. 3). Эти операции могут выполняться открытым или эндоскопическим способом. До сих пор продолжаются споры о том, какая процедура лучше подходит для хирургического подхода к ПФ.

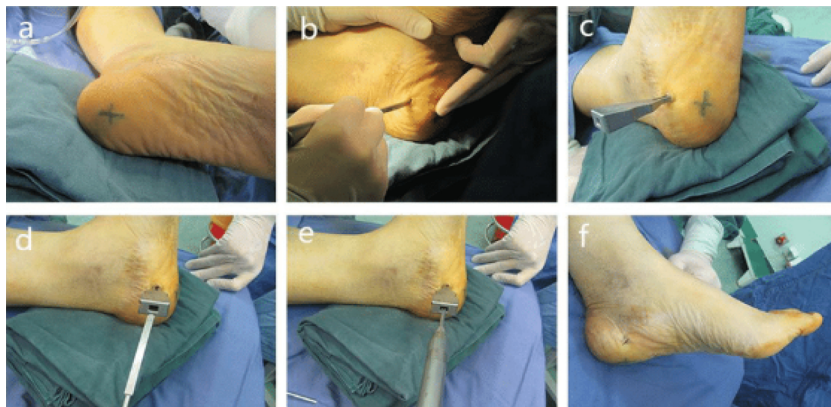


Рис. 3. Процедура открытого освобождения подошвенной фасции [25]

Обсуждение

В исследовании, проведенном Кесикбуром С. и др., сравнивалась эффективность ПРП терапии под ультразвуковым контролем и лечения ЭУВТ при лечении ПФ. Средний возраст в группах лечения составил 51,2 и 57,4 года. Число женщин-участниц исследований было статистически значимо больше. Средний ИМТ участников превышал 25 кг/м². Со-

общалось, что значимой разницы между группами по демографическим характеристикам не было [9, 18]. ПРП, посредством высвобождения различных факторов роста, стимулирует заживление сухожилий. Это лечение должно оптимизировать заживление поврежденных сухожилий человека. На данный момент, даже если ПРП кажется безопасным и эффективным средством лечения хронических тендинопатий, не поддающихся классическому консервативному лечению, дальнейшие доказательства должны позволить стандартизировать этот многообещающий метод и оптимизировать клинические результаты.

В исследовании Салехи А. и др. эффективность упражнений на растяжение в сочетании с терапией с сухими иглами у пациентов с ПФ сравнивалась с группой лечения, где выполнялись только растяжения. Средний возраст групп составлял 40,2 и 41 год соответственно. В группах было больше пациентов женского пола. Средние значения ИМТ составили 25,36 и 24,76 кг/м² соответственно. Они сообщили, что не было существенной разницы между демографическими данными групп [6]. Между двумя группами были значительные различия, и в экспериментальной группе наблюдалось существенное улучшение первичных результатов по сравнению с контрольной группой. Что касается вторичных результатов, толщина подошвенной фасции при введении значительно уменьшилась, а экзогенность в двух областях статистически значимо увеличилась в экспериментальной группе по сравнению с контрольной группой. Эти результаты позволяют предположить, что сочетание сухих игл и упражнений на растяжку может быть эффективным консервативным лечением пациентов с подошвенным фасциитом.

Грекко Т. и др., в проведенном исследовании в 2013 г., наблюдали за эффектами радиальной (лучевой) экстракорпоральной ударно-волновой терапии и традиционных методов физиотерапии (ультразвуковая терапия, кинезитейп и упражнения на растяжение в домашних условиях) в течение 1 года у 40 пациентов с подошвенным фасциитом. Исследователи сообщили об уменьшении боли и увеличении функциональности в обеих группах лечения за 1 год [12].

Диджованни А. и др. в исследовании 2006 года изучали результаты значения упражнений, направленных на растяжение подошвенной фасции среди 82 пациентов с подошвенным фасциитом в одной группе, в сравнении с другой группой, где давали упражнения на растяжение ахиллова сухожилия. Через 8 недель наблюдения состояние пациентов в группе растяжения подошвенной фасции уступало группе с растяжением ахиллова сухожилия в которой контрольные показатели статистически значимо значительно улучшились [7].

По данным собственных исследований проводимых в 2020-2023 годах по причине плантарного фасциита ударно-волновая терапия в комплексе с упражнениями для растяжения икроножных мышц показала наиболее положительный результат по сравнению с монотерапией упражнениями для растяжения икроножных мышц и монотерапией ударно-волновой терапией [19].

В исследовании, опубликованном Ву Т. и др. в 2013 году, 30 пациентов с подошвенным фасциитом были разделены на три группы: первая группа получала фонофорез и физические упражнения, вторая группа получала ультразвуковую терапию и физические упражнения, а третья группа получала только лечебную физкультуру. В результате трехмесячного наблюдения, хотя во всех трех группах было отмечено уменьшение боли и повышение функциональных возможностей, было показано, что эффективность лечения ультразвуковой терапии и фонофореза, применяемого наряду с физическими упражнениями, была выше [29].

Заключение

В результате проведенного обзора влияния консервативных типов лечения на уменьшение боли при ПФ было установлено, что растяжение икроножных мышц и ахиллового сухожилия, ношение ночных стабилизаторов (корсетов), использование подпяточных стелек, фонофорез, ультразвуковая терапия, экстра-корпоральная терапия, различные упражнения для улучшения биомеханики стопы с использованием средств могут значительно влиять на уменьшение боли при плантарном фасциите.

Лечение плантарного фасциита физиотерапевтическими методами, а так же с использованием лечебной физкультуры в последние годы находят свое место среди консервативных методов лечения этого заболевания.

Среди описанных методов лечения наиболее предпочтительным методом лечения плантарной боли, а так же подпяточной шпоры, в результате фасциита является экстракорпоральная ударно-волновая терапия и упражнения на растяжения икроножных мышц.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Список литературы / References

1. Attar S.M. Plantar Fasciitis. *Saudi Journal of Internal Medicine*, 2012, no. 1, pp. 13-17. <https://doi.org/10.32790/sjim.2.1.3>

2. Bek N. *Ayak bileği ve ayak problemleri (Birinci Baskı)*. Ankara: Hipokrat Kitabevi, 2018, p. 44.
3. Bek N. *Ayak bileği ve ayak problemleri (Birinci Baskı)*. Ankara: Hipokrat Kitabevi, 2018, p. 142.
4. Choudhary R., Kunal K. Modifiable Risk Factors of Plantar Fasciitis in Non-Athletic Patients and Proposal of a New Objective Assessment System RKISP. *Revista Brasileira de Ortopedia*, 2021, vol. 56, no. 3, pp. 368-371. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1716762>
5. Cornwall M. W., McPoil T. G. Plantar fasciitis: etiology and treatment. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 1999, vol. 29, no. 12, pp. 756-760. <https://doi.org/10.2519/jospt.1999.29.12.756>
6. Cutts S., Obi N., Pasapula C., Chan W. Plantar fasciitis. *The Annals of The Royal College of Surgeons of England*, 2012, vol. 94, no. 8, pp. 539-542. <https://doi.org/10.1308/003588412X13171221592456>
7. Digiovanni B.F., Nawoczenski D.A. Plantar fascia-specific stretching exercise improves outcomes in patients with chronic plantar fasciitis. A prospective clinical trial with two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am.*, 2006, vol. 88, no. 8, pp. 1775-1781. <https://doi.org/10.2106/00004623-200608000-00013>
8. Eun S.S., Chachan S., Lee S.H. Effectiveness of a double air-cushioned shoe compared with physiotherapy in the treatment of plantar fasciitis. *BioMed Research International*, 2020, no. 1, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1155/2020/9468302>
9. Gaurav W., Kumar G.B., Subhashis B., Suresh G. Plantar fasciitis: Evidence-based review of current treatment modalities. *International Journal of Orthopaedics*, 2020, vol. 6, no. 2, pp. 510-512. <https://doi.org/10.22271/ortho.2020.v6.i2h.2092>
10. Giordani F., Bernini A., Müller-Ehrenberg H., Stecco C., Masiero S. A global approach for plantar fasciitis with extracorporeal shockwaves treatment. *European Journal of Translational Myology*, 2019, vol. 29, no. 3, pp. 171-177. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2019.8372>
11. Goyal M. K. A comparative study between manual therapy and conventional therapy in case of plantar fasciitis. *Our Beloved Founder*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 81-86.
12. Greco M., Guida G., Perlino E., Marra E., Quagliariello E. Increase in RNA and protein synthesis by mitochondria irradiated with helium-neon laser. *Biochem Biophys Res Commun.*, 1989, vol. 163, pp. 1428-1434. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(89\)91138-8](https://doi.org/10.1016/0006-291X(89)91138-8)
13. Hasegawa M., Urits I., Orhurhu V., Orhurhu M. S., Brinkman J., Giacomazzi S., Viswanath O. Current concepts of minimally invasive treatment options for plantar fasciitis: A comprehensive review. *Current Pain and Headache Reports*, 2020, vol. 24, no. 9, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11916-020-00883-7>

14. Juchli L. Effectiveness of Massage Including Proximal Trigger Point Release for Plantar Fasciitis: a Case Report. *International Journal of Therapeutic Massage and Bodywork*, 2021, vol. 14, no. 2, pp. 22-29. <https://doi.org/10.3822/ijtm.v14i2.635>
15. Harty J., Soffe K., O'Toole G., Stephens M.M. The Role of Hamstring Tightness in Plantar Fasciitis. *Foot & Ankle International*, 2005, vol. 26(12), pp. 1089-1092. <https://doi.org/10.1177/107110070502601215>
16. Johnson R.E., Haas K., Lindow K., Shields R. Plantar fasciitis: what is the diagnosis and treatment? *Orthopaedic Nursing*, 2014, vol. 33, no. 4, pp. 198-200. <https://doi.org/10.1097/NOR.0000000000000063>
17. Karaduman A.A., ve Yılmaz Ö.T. (Editörler). Fizyoterapi rehabilitasyon 2, Ankara: Hipokrat Kitabevi, 2016, no. 220, pp. 5-10.
18. Luffy, L., Grosel, J., Thomas, R., So, E. Plantar fasciitis: a review of treatments. *Journal of the American Academy of Physician Assistants*, 2018, vol. 31, no. 1, pp. 20-24. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000527695.76041.99>
19. Muradova A.M. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy and calf stretching excersises in the shortterm treatment of plantar fasciitis. *Tıbbi ve Elm journalı*. 2023, vol. 33, no. 3, pp. 68-70.
20. Ofluğlu, D. Ayak ve Ayak Bileği Ağrılı Problemlerinde Egzersiz ve Rehabilitasyon Prensipleri. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 65-70.
21. Pearce C.J., Seow D., Lau B.P. Correlation Between Gastrocnemius Tightness and Heel Pain Severity in Plantar Fasciitis. *Foot Ankle International*, 2021, vol.42, no. 1, pp. 76-82. <https://doi.org/10.1177/1071100720955144>
22. Razzano C., Carbone S., Mangone M., et al. Treatment of chronic plantar fasciitis with noninvasive interactive neurostimulation: a prospective randomized controlled study. *J Foot Ankle Surg.*, 2017, vol. 56, pp. 768–772. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.02.015>
23. Kalia R.B., Singh V., Chowdhury N. et al. Role of Platelet Rich Plasma in Chronic Plantar Fasciitis: A Prospective Study. *JOIO*, 2021, vol. 55 (Suppl 1), pp. 142–148. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.02.015>
24. Schwartz E.N., Su J. Plantar fasciitis: a concise review. *The Permanente Journal*, 2014, vol. 18, no. 1, pp. 105-107. <https://doi.org/10.7812/TPP/13-113>
25. Tezel N., Umay E., Bulut M., Cakci A. Short-term efficacy of kinesiotaping versus extracorporeal shockwave therapy for plantar fasciitis: A randomized study. *Saudi Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2020, vol. 83, pp. 181-187. https://doi.org/10.4103/sjmms.sjmms_624_19
26. Thing J., Maruthappu M., Rogers J. Diagnosis and management of plantar fasciitis in primary care. *British Journal of General Practice*, 2012, vol. 62, no. 601, pp. 443-444. <https://doi.org/10.3399/bjgp12X653769>

27. Trojjan T., Tucker A.K. Plantar fasciitis. *American Family Physician*, 2019, vol. 99, no. 12, pp. 744-750.
28. Uğurlar M., Sönmez M.M., Uğurlar Ö.Y., Adıyeke L., Yıldırım H., Eren O.T. Effectiveness of four different treatment modalities in the treatment of chronic plantar fasciitis during a 36-month follow-up period: a randomized controlled trial. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 2018, vol. 57, no. 5, pp. 913-918. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.03.017>
29. Vu Nyugen. Plantar fasciopathy. *Sports Med Arthrosc.*, 2022, vol. 17, pp. 100–104. <https://doi.org/10.1097/JSA.0b013e3181a3d60e>
30. Wheeler P. C., Tattersall C. Extracorporeal shockwave therapy plus rehabilitation for patients with chronic plantar fasciitis might reduce pain and improve function but still not lead to increased activity: a case-series study with multiple outcome measures. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, 2018, vol. 57, no. 2, pp. 339-345. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2017.07.001>
31. Yelverton C., Rama S., Zipfel B. Manual therapy interventions in the treatment of plantar fasciitis: A comparison of three approaches. *Health SA Gesondheid*, 2019, vol. 24, no. 1, pp. 1-9. <https://doi.org/10.4102/hsag.v24i0.1244>
32. Young J.R., Sternbach S., Willinger M., Hutchinson I.D., Rosenbaum A.J. The etiology, evaluation, and management of plantar fibromatosis. *Orthopedic Research and Reviews*, 2019, vol. 11, pp.1-7. <https://doi.org/10.2147/ORR.S154289>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Мурадова Аху Мюжгян Явуз, докторант, врач-физиотерапевт
Азербайджанская Государственная Академия Физической культуры и Спорта
ул. М.Ф.Хойского, 34, г. Баку, AZ1110, Азербайджан
ahu.mujgan1990@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHOR

Akhu Myuzhgyan Yavuz Muradova, PhD student, physiotherapist
Azerbaijan State Academy of Physical Education and Sport
34, M.F.Khoisky Str., Baku, AZ1110, Azerbaijan
ahu.mujgan1990@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1107-4112>
ResearcherID: HOI-0280-2023

Поступила 07.05.2024

После рецензирования 20.05.2024

Принята 27.05.2024

Received 07.05.2024

Revised 20.05.2024

Accepted 27.05.2024

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научно-практический рецензируемый журнал **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture** издается с целью пропаганды фундаментальных и фундаментально-прикладных региональных достижений в области медицины, биологии, сельского хозяйства и смежных дисциплин на территории Российской Федерации и за рубежом.

Требования к оформлению статей

Объем рукописи	7-24 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-10.
Поля	все поля – по 20 мм
Шрифт основного текста	Times New Roman
Размер шрифта основного текста	14 пт
Межстрочный интервал	полуторный
Отступ первой строки абзаца	1,25 см
Выравнивание текста	по ширине
Автоматическая расстановка переносов	включена
Нумерация страниц	не ведется
Формулы	в редакторе формул MS Equation 3.0
Рисунки	по тексту
Ссылки на формулу	(1)
Ссылки на литературу	[2, с.5], цитируемая литература приводится общим списком в конце статьи в порядке упоминания

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ ИСПОЛЬЗОВАТЬ
ССЫЛКИ-СНОСКИ ДЛЯ УКАЗА-
НИЯ ИСТОЧНИКОВ**

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой
(на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.

2. Цель работы.

3. Материалы и методы исследования.

4. Результаты исследования и их обсуждение.

5. Заключение.

6. Информация о конфликте интересов.

7. Информация о спонсорстве.

8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

AUTHOR GUIDELINES

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture is a multi-field dedicated peer reviewed scientific journal designed to promote both fundamental and applied regional achievements in the field of medicine, biology, agriculture and related sciences on the territory of the Russian Federation and abroad.

Requirements for the articles to be published

Volume of the manuscript	7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7–10.
Margins	all margins – 20 mm each
Main text font	Times New Roman
Main text size	14 pt
Line spacing	1.5 interval
First line indent	1,25 cm
Text align	justify
Automatic hyphenation	turned on
Page numbering	turned off
Formulas	in formula processor MS Equation 3.0
Figures	in the text
References to a formula	(1)
References to the sources	[2, p.5], references are given in a single list at the end of the manuscript in the order in which they appear in the text

DO NOT USE FOOTNOTES
AS REFERENCES

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ЭРГОАЛКАЛОИДОВ
В ПРАКТИКЕ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ
(ОБЗОР КЛИНИЧЕСКИХ СЛУЧАЕВ)

А.А. Волнин, Н.С. Цыбулько, Р.В. Янко, А.И. Бохан 11

ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ
ПРИ КЕТОЗЕ КОРОВ

В.С. Скрипкин, Н.В. Федота, М.Е. Пономарева, А.Н. Шулунова 36

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВАНИЛИНА И КВЕРЦЕТИНА
НА СТЕПЕНЬ ПЕРЕВАРИМОСТИ КОРМА И МИКРОБИОМ
РУБЦА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Л.В. Власенко, К.Н. Аглан্দерова, Г.К. Дускаев 52

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СТРЕССА
НА ГОМЕОСТАЗ И ПЛОДОВИТОСТЬ ПЕРЕПЕЛОК-НЕСУШЕК

А.А. Тагиев, А.Я. Мамедова 66

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

К ВОПРОСУ ОБ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ БИОЛОГИЧЕСКИ
ЦЕННЫХ ЛЕСОВ НА ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

**А.А. Гайворонская, М.В. Долганова, В.Т. Демихов,
О.Н. Чиграй, Д.И. Чучин 78**

ТРАНСГРАНИЧНАЯ РЕКА ИРТЫШ КАК ИСТОЧНИК
ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

О.П. Баженова, В.В. Костерова, А.М. Адам 103

ПРОБЛЕМА ДЕФЛЯЦИИ ПОЧВЫ В АГРОЛАНДШАФТАХ
АРИДНОЙ ЗОНЫ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.В. Назарова, А.М. Беляков 127

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
В СЕМЕНАХ И ПРОРОСТКАХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР
ПОДСЕМЕЙСТВА PAPILIONOIDEAE

Т.А. Адамович, А.С. Олькова 145

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЦИТОМЕТРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЧИСЛЕННОСТИ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ПРОКАРИОТ ТОРФА ВЕРХОВЫХ БОЛОТ

Д.А. Шпанов, И.Н. Зубов 156

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

УЛЬТРАСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ МАТРИКСА
БИОПЛЕНКИ *BACILLUS SUBTILIS* В СТАЦИОНАРНОЙ ФАЗЕ

**С.А. Петров, В.А. Мальчевский, А.М. Субботин,
А.С. Бажин, М.В. Нарушко** 179

ОСОБЕННОСТИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ВИРУСА ЛЕЙКОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА: ПЕРВЫЕ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

**М.В. Петропавловский, И.М. Донник, Н.А. Безбородова,
В.А. Макутина, А.Г. Исаева, А.В. Лысов, А.С. Романова** 202

ОЦЕНКА МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РОДА
GLEDITSIA В УСЛОВИЯХ АРИДНОГО КЛИМАТА

Е.В. Калмыкова, П.А. Кузьмин, П.А. Крылов, К.А. Мельник 228

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

СРОКИ И НОРМЫ ВЫСЕВА СОРГО ЗЕРНОВОГО
В НИЖНЕВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ

А.В. Солонкин, Е.П. Сухарева, А.В. Беликина 247

УРОЖАЙНОСТЬ И ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ КУКУРУЗЫ
РЕМОНТАНТНОГО ТИПА (STAY GREEN) И СОРГО САХАРНОГО
В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

**А.В. Дронов, С.А. Бельченко, В.В. Дьяченко,
С.М. Сычев, Г.П. Малявко** 263

ГРИБЫ КОМПЛЕКСА ВИДОВ *Fusarium solani* В МИКОБИОТЕ
КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ: ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ,
ПАТОГЕННОСТЬ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ФУНГИЦИДАМ

А.С. Орина, О.П. Гаврилова, И.И. Трубин, Т.Ю. Гагкаева286

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

**И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев, Е.К. Туруспеков,
А.И. Моргунов, А.С. Чурсин, А.М. Ковальчук,
Т.В. Савин, В.П. Шаманин313**

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ИСХОДНОГО
МАТЕРИАЛА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ
ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

П.Н. Николаев, О.А. Юсова, М.С. Чекусов339

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

АССОЦИАТИВНАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ В РИЗОСФЕРЕ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БАКТЕРИЯМИ
ARTHROBACTER MYSORENS 7 И *FLAVOBACTERIUM* SP.

**Н.Н. Шулико, А.А. Киселёва, Е.В. Тукмачева,
И.А. Корчагина, Е.В. Кубасова, А.Ю. Тимохин, О.А. Юсова361**

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ БОЛЬНЫМ С ПСИХИЧЕСКИМИ
РАССТРОЙСТВАМИ В КОНТЕКСТЕ МЕЖДУНАРОДНОГО
ГУМАНИТАРНОГО ПРАВА

М.С. Белоусова, И.В. Холиков, Л.В. Фролова385

АНАЛИЗ ОКАЗАНИЯ ЭКСТРЕННОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ
В РСО-АЛАНИИ ЗА 2021-2023 ГГ.

**З.В. Тотиков, В.З. Тотиков, З.Р. Аликова, И.Т. Тотикова,
Р.А. Хубецова, Р.А. Халлаев, Т.Т. Казиев405**

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИНВАЛИДНОСТИ
ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ ПО ПРИЧИНЕ САХАРНОГО ДИАБЕТА
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ-АЛАНИЯ)**

З.Р. Аликова, А.А. Цаликова, Т.Т. Аликова 423

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

**СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ТРАНСКРАНИАЛЬНОГО
ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИЯ НА РЕПАРАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ**

Д.В. Дашко, М.А. Урядников 435

**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ
ДЛЯ МУЧНЫХ КУЛИНАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

А.Т. Васюкова, И.У. Кусова, Р.Х. Кандроков 455

**ПЛАТФОРМЫ ЗА ПРЕДЕЛАМИ
ЧЕЛОВЕКОЦЕНТРИЧНОГО ПОДХОДА: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМ
ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЮДЕЙ С ДРУГИМИ ВИДАМИ**

И.Д. Котляров 476

**ПОВЕДЕНИЕ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ И ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ВОДНОГО РАСТВОРА**

**А.Г. Погорелов, Л.Г. Ипатова, А.И. Панаит,
М.А. Погорелова, А.А. Станкевич, О.А. Суворов 490**

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИОФИЛИЗАЦИИ БАКТЕРИЙ: ВЛИЯНИЕ
ПАРАМЕТРОВ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ И ЛИОФИЛИЗАЦИИ НА
ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПРОБИОТИКОВ**

**М.С. Ашихмина, В.С. Филозоп, М.О. Володарский,
С.А. Уласевич, Е.В. Скорб 515**

**МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПОДОШВЕННОГО ФАСЦИИТА ИЛИ БОЛЕЗНИ
“ПЯТОЧНОЙ ШПОРЫ”**

А.М.Я. Мурадова 535

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 550

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

ERGOALKALOIDS-DERIVED MEDICAMENTS IN THE PRACTICE OF VETERINARY MEDICINE (CASE REPORTS REVIEW)

A.A. Volnin, N.S. Tsybulko, R.V. Yanko, A.I. Bokhan 11

THERAPEUTIC AND PREVENTIVE MEASURES FOR KETOSIS OF COWS

V.S. Skripkin, N.V. Fedota, M.E. Ponomareva, A.N. Shulunova 36

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VANILLIN AND QUERCETIN ON THE DEGREE OF FEED DIGESTABILITY AND THE RUMEN MICROBIOME OF CATTLE

L.V. Vlasenko, K.N. Atlanderova, G.K. Duskaev 52

INVESTIGATING THE EFFECT OF STRESS FACTOR ON HOMEOSTASIS AND FERTILITY OF FERTILE QUAILS

A.A. Taghiyev, A.Ya. Mammadova 66

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

TO THE ISSUE OF INDICATORS OF BIOLOGICALLY VALUABLE FORESTS IN PROTECTED AREAS

A.A. Gaivoronskaya, M.V. Dolganova, V.T. Demikhov, O.N. Chigray, D.I. Chuchin 78

TRANSBOUNDARY IRTYSH RIVER AS A SOURCE OF ECOSYSTEM SERVICES

O.P. Bazhenova, V.V. Kosterova, A.M. Adam 103

THE PROBLEM OF SOIL DEFLATION IN THE AGROLANDSCAPES OF VOLGOGRAD REGION ARID ZONE

M.V. Nazarova, A.M. Belyakov 127

THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN SEEDS
AND SPROUTS OF BEANS OF THE PAPILIONOIDEAE SUBFAMILY

T.A. Adamovich, A.S. Olkova 145

APPLICATION OF FLOW CYTOMETRY
TO ASSESS THE ABUNDANCE AND PHYSIOLOGICAL STATE
BACTERIA OF HIGH BOG PEAT

D.A. Shpanov, I.N. Zubov 156

**BIOCHEMISTRY, GENETICS
AND MOLECULAR BIOLOGY**

ULTRASTRUCTURAL ORGANIZATION OF THE *BACILLUS SUBTILIS*
BIOFILM MATRIX IN THE STATIONARY PHASE

**S.A. Petrov, V.A. Malchevskiy, A.M. Subbotin, A.S. Bazhin,
M.V. Narushko** 179

NEWLY IDENTIFIED NUCLEOTIDE SUBSTITUTIONS
IN BOVINE LEUKEMIA VIRUS ISOLATES FROM THE REPUBLIC
OF BASHKORTOSTAN

**M.V. Petropavlovskiy, I.M. Donnik, N.A. Bezborodova,
V.A. Makutina, A.G. Isaeva, A.V. Lysov, A.S. Romanova** 202

ASSESSMENT OF MORPHOGENETIC PARAMETERS
OF THE GENUS *GLEDITSIA* IN ARID CLIMATE

E.V. Kalmykova, P.A. Kuzmin, P.A. Krylov, K.A. Melnik 228

**SOIL FERTILITY
AND PLANT PROTECTION**

TIMES AND NORMS OF SEEDING GRAIN SORGHUM
IN THE LOWER VOLGA REGION

A.V. Solonkin, E.P. Sukhareva, A.V. Belikina 247

YIELD AND NUTRITIONAL VALUE OF CORN REMONTANT
TYPE (STAY GREEN) AND SUGAR SORGHUM IN CONDITIONS
OF CENTRAL RUSSIA

**A.V. Dronov, S.A. Belchenko, V.V. Dyachenko,
S.M. Sychev, G.P. Mal'yavko** 263

DIVERSITY OF FUNGI WITHIN *Fusarium solani* SPECIES
COMPLEX OCCURRING ON POTATOES, THEIR PATHOGENICITY
AND SENSITIVITY TO FUNGICIDES

A.S. Orina, O.P. Gavrilova, I.I. Trubin, T.Yu. Gagkaeva286

**PLANT BREEDING
AND SEED PRODUCTION**

BREEDING AND GENETIC EVALUATION
OF INTERNATIONAL WINTER WHEAT COLLECTION
UNDER CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

**I.V. Pototskaya, S.S. Shepelev, Y.K. Turuspekov, A.I. Morgounov,
A.S. Chursin, A.M. Kovalchuk, T.V. Savin, V.P. Shamanin313**

ASSESSMENT OF THE GENETIC DIVERSITY OF SPRING
BARLEY SOURCE MATERIAL FOR BREEDING IN THE CONDITIONS
OF THE SOUTHERN FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

P.N. Nikolaev, O.A. Yusova, M.S. Chekusov339

**AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE**

ASSOCIATIVE NITROGEN FIXATION IN THE RHIZOSPHERE
OF CEREALS DURING SEED INOCULATION BY BACTERIA
ARTHROBACTER MYSORENS 7 AND *FLAVOBACTERIUM* SP.

**N.N. Shuliko, A.A. Kiselyova, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina,
E.V. Kubasova, A.Yu. Timokhin, O.A. Yusova361**

**PUBLIC HEALTH
AND PREVENTIVE MEDICINE**

MEDICAL ASSISTANCE TO SICK WITH MENTAL DISORDERS
IN THE CONTEXT INTERNATIONAL HUMANITARIAN LAW

M.S. Belousova, I.V. Kholikov, L.V. Frolova385

ANALYSIS OF THE PROVISION OF EMERGENCY SURGICAL CARE
IN THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA FOR 2021-2023

**Z.V. Totikov, V.Z. Totikov, Z.R. Alikova, I.T. Totikova,
R.A. Khubetsova, R.A. Hallaev, T.T. Kaziev405**

REGIONAL PECULIARITIES OF DISABILITY OF THE ADULT POPULATION DUE TO DIABETES MELLITUS (ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA-ALANIA) Z.R. Alikova, A.A. Tsalikova, T.T. Alikova	423
---	-----

INTERDISCIPLINARY RESEARCH

STIMULATING EFFECT OF TRANSCRANIAL ELECTRICAL EXPOSURE ON REPARATIVE PROCESSES IN AN EXPERIMENT D.V. Dashko, M.A. Uryadnikov	435
---	-----

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MIXTURES FOR FLOUR CULINARY PRODUCTS A.T. Vasyukova, I.U. Kusova, R.Kh. Kandrov	455
--	-----

TAKING PLATFORMS BEYOND HUMAN-CENTRIC APPROACH: PLATFORMS FOR HUMAN-NON-HUMAN INTERACTIONS I.D. Kotliarov	476
--	-----

BEHAVIOR OF BAKER'S AND BREWER'S YEAST UNDER TECHNOLOGICAL CONDITIONS USING ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED AQUEOUS SOLUTION A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, A.I. Panait, M.A. Pogorelova, A.A. Stankevich, O.A. Suvorov	490
--	-----

SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

OPTIMIZATION OF BACTERIAL LYOPHILIZATION PROCESS: INFLUENCE OF CULTIVATION AND LYOPHILIZATION PARAMETERS ON PROBIOTIC SURVIVAL RATE M.S. Ashikhmina, V.S. Filozop, M.O. Volodarskiy, S.A. Ulasevich, E.V. Skorb	515
---	-----

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY A.M.Y. Muradova	535
--	-----

RULES FOR AUTHORS	550
--------------------------------	-----

Подписано в печать 30.12.2024. Дата выхода в свет 30.12.2024. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 40,18. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA166/024. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская» (ИП Давгуненко А.А. ИНН 344210747590). Адрес типографии: ул. Проезд Добролюбова 3 стр. 2, г. Москва, 127254, Россия.