

ISSN 2658-6649 (Print)

Siberian journal
of Life Sciences and Agriculture

SjLSA

www.discover-journal.ru



Volume 16, Number 4
2024

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

**Volume 16, Number 4
2024**

Главный редактор:

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

Заместители главного редактора:

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

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

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

Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

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

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

Том 16, № 4, 2024 / Vol. 16, No 4, 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 Ендон Жамьянович, доктор географических наук, доцент, профессор РАН, член-корреспондент РАН, Байкальский институт природопользования СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

Денисов Сергей Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (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)

Калыгин 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 (Мгтмши, 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. Garmayev, 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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-993

УДК 591.111.05:636.93



Научная статья

**ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ
ТЕСТОСТЕРОНА И ХОЛЕСТЕРИНА У ЛИСИЦ
(VULPES VULPES) РАЗНЫХ ЦВЕТОВЫХ ТИПОВ
В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ**

**Ю.А. Березина, О.Ю. Беспятых, М.А. Перевозчикова,
И.А. Плотников, И.А. Домский, А.С. Сюткина**

Обоснование. В настоящее время накоплен большой объем справочной информации в области физиологии пушных зверей. Детально изучена морфология и биохимия крови, иммунологические показатели. При этом данных об эндокринной системе и ее влиянии на репродукцию существенно меньше, а сведения по динамике холестерина и тестостерона у самцов лисиц разных цветовых типов отсутствуют. Мало публикаций, особенно касающихся онтогенеза, в которых бы анализировалось формирование стероидогенеза. Учитывая, что в литературе данные об эндокринной системе и ее влиянии на репродукцию пушных зверей встречаются в единичных случаях, а сведения по динамике холестерина и тестостерона у самцов лисиц отсутствуют, большой научный и практический интерес представляет выяснение онтогенетической динамики концентрации тестостерона у лисиц разных цветовых типов и его взаимосвязи с холестерином ввиду непосредственного участия последнего в стероидогенезе. Поэтому цель исследования: изучение динамики концентрации тестостерона и холестерина у самцов лисиц разных цветовых типов в постнатальном онтогенезе.

Материалы и методы. В исследовании использовали молодяк domesticированных лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), разводимых в ООО «Зверохо-

зйство «Вятка» (Кировская обл., Россия). Из клинически здоровых самцов лисиц двух цветовых типов: серебристо-черного и красного сформировали 2 группы по 16 голов в каждой. Онтогенетическое развитие наблюдали у животных в возрасте с 45 дней до 10 месяцев. К 9-месячному возрасту звери становятся половозрелыми и участвуют в процессе размножения, который у лисиц бывает 1 раз в году – в январе–феврале. Кровь брали у лисиц в возрасте 45 дней, 4, 6, 9 и 10 месяцев, что по сезонам года соответствовало июлю, сентябрю, ноябрю, февралю и марту. В сыворотке крови определяли концентрацию тестостерона и холестерина. Тестостерон исследовали на автоматическом микроплашетном фотометре Имтипосчет-2100 (High Technology Inc., США). Холестерин в сыворотке крови определяли на полуавтоматическом биохимическом анализаторе «Biochem SA» (США). Результаты обработаны статистическими методами. Для оценки значимости различий применяли критерий Mann-Whitney. Уровень статистической значимости полученных различий между сравниваемыми выборками принимали при $p < 0,05$.

Результаты исследований. Установлена сильная прямая статистическая связь ($r=0,993$) концентрации тестостерона в сыворотке крови между серебристо-черной и красной лисицами в процессе постнатального онтогенеза. При этом концентрация тестостерона у красной лисицы выше, чем у серебристо-черной ($p < 0,05$). Установлена сильная прямая связь ($r=0,880$, $p < 0,05$) концентрации холестерина в крови зверей от цветового окраса. В сыворотке крови самцов содержание тестостерона и холестерина тесно взаимосвязано как у серебристо-черных ($r=0,960$, $p < 0,05$), так и у красных лисиц ($r=0,980$, $p < 0,05$).

Заключение. Данное исследование представляет новые данные о различиях в уровнях холестерина и тестостерона у лисиц разных цветовых типов. Эти результаты могут иметь важное значение для понимания биологических различий между разными видами и типами зверей, а также влияния гормональных изменений на общее здоровье и репродуктивные процессы.

Ключевые слова: тестостерон; холестерин; лисица; постнатальный онтогенез; цветовой тип; кровь

Для цитирования. Березина Ю.А., Беспярых О.Ю., Перевозчикова М.А., Плотников И.А., Домский И.А., Сюткина А.С. Динамика концентрации тестостерона и холестерина у лисиц (*Vulpes vulpes*) разных цветовых типов в постнатальном онтогенезе // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 11-31. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-993

Original article

DYNAMICS OF TESTOSTERONE AND CHOLESTEROL CONCENTRATION IN FOXES (*VULPES VULPES*) OF DIFFERENT COLOR TYPES IN POSTNATAL ONTOGENESIS

*Yu.A. Berezina, O.Yu. Bespyatykh, M.A. Perevozchikova,
I.A. Plotnikov, I.A. Domskiy, A.S. Syutkina*

Background. Currently, a large amount of reference information has been accumulated in the field of physiology of fur-bearing animals. The morphology and biochemistry of blood, immunological parameters were studied in detail. At the same time, there is significantly less data on the endocrine system and its effect on reproduction, and there is no information on the dynamics of cholesterol and testosterone in male foxes of different color types. There are few publications, especially those related to ontogenesis, that would analyze the formation of steroidogenesis. Considering that in the literature data on the endocrine system and its influence on the reproduction of fur-bearing animals are found in isolated cases, and there is no information on the dynamics of cholesterol and testosterone in male foxes, it is of great scientific and practical interest to clarify the ontogenetic dynamics of testosterone concentration in foxes of different color types and its relationship with cholesterol due to the latter's direct participation in steroidogenesis. Therefore, the purpose of the study: to study the dynamics of testosterone and cholesterol concentrations in male foxes of different color types in postnatal ontogenesis.

Materials and methods. The studies were carried out in the veterinary laboratory of the Federal State Budgetary Institution VNIIOZ named after. prof. B.M. Zhitkova (Kirov, Russia). The study used young domesticated foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758), bred at Vyatka Animal Farm LLC (Kirov region, Russia). From clinically healthy male foxes of two color types: silver-black and red, 2 groups of 16 animals each were formed. Ontogenetic development was observed in animals aged from 45 days to 10 months. By the age of 9 months, animals become sexually mature and participate in the breeding process, which for foxes happens once a year - in January-February. Blood was taken from foxes at the age of 45 days, 4, 6, 9 and 10 months, which corresponded to the seasons of the year in July, September, November, February and March. The concentration of testosterone

and cholesterol in the blood serum was determined. Testosterone was studied on an automatic microplate photometer Immunochem-2100 (High Technology Inc., USA) by enzyme-linked immunosorbent assay using a test system produced by Hema-Medica LLC (Russia). Cholesterol in blood serum was determined on a semi-automatic biochemical analyzer "Biochem SA" (USA) using kits from "Ecoservice" (Russia). The results were processed by statistical methods. The Mann-Whitney test was used to assess the significance of differences. The level of statistical significance of the obtained differences between the compared samples was accepted at $p < 0.05$.

Research results. A strong direct statistical relationship ($r=0.993$) was established for the concentration of testosterone in the blood serum between silver-black and red foxes during postnatal ontogenesis. Moreover, the concentration of testosterone in the red fox is higher than in the silver-black one ($p < 0.05$). A strong direct relationship ($r=0.880$, $p < 0.05$) between the concentration of cholesterol in the blood of animals and the color color was established. In the blood serum of males, the content of testosterone and cholesterol is closely related in both silver-black ($r=0.960$, $p < 0.05$) and red foxes ($r=0.980$, $p < 0.05$).

Conclusion. This study provides new data on differences in cholesterol and testosterone levels in foxes of different color types. These results may have important implications for understanding the biological differences between different species and types of animals, as well as the impact of hormonal changes on overall health and reproductive processes.

Keywords: testosterone; cholesterol; fox; postnatal ontogenesis; color type; blood

For citation. Berezina Yu.A., Bespyatykh O.Yu., Perevozchikova M.A., Plotnikov I.A., Donskiy I.A., Syutkina A.S. Dynamics of testosterone and cholesterol concentrations in foxes (*Vulpes vulpes*) of different color types in postnatal ontogenesis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 11-31. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-993

Введение

Важной биологической особенностью лисиц является сезонность размножения. Лисица – это моноэстричное животное, которое даёт потомство один раз в год. Поэтому постнатальный онтогенез молодняка тесно взаимосвязан с сезонами года. Сезонные изменения в организме животных в наибольшей мере регулируются продолжительностью светового дня - самым постоянным из числа внешних раздражителей. Такие внешние; условия как: состав и количество корма, температура и другие также влияют на течение жизненных процессов, но они непостоянны.

Большое влияние на рост и развитие организма животных оказывает гормон тестостерон. Известно, что андрогены оказывают значительное влияние на организм, как в период пренатального, так и постнатального развития организма. В частности, у взрослых животных они поддерживают половую активность, определяют функцию яичек, простаты, семенников, качество спермы, участвуют в работе иммунной системы, поддержании гомеостаза, в регуляции метаболических процессов. Андрогены относятся к группе стероидных гормонов, которые играют важную роль в репродукции. Их биологическая роль связана со способностью стимулировать развитие мужских половых органов, а также осуществлять контроль за сперматогенезом. Биосинтез андрогенов осуществляется в основном в семенниках в интерстициальных клетках Лейдига. В их митохондриях холестерин превращается в прегненолон, из которого под действием ферментов образуется тестостерон [14; 16]. Кроме его важной роли в регуляции репродуктивной функции (обеспечение роста и функции аксессуарных половых органов, развитие вторичных половых признаков, формирование полового поведения), оказывает на организм и анаболическое действие, то есть стимулирует синтез белка, ускоряя рост тканей у молодых животных [9; 27].

В настоящее время накоплен большой объем справочной информации в области физиологии пушных зверей. Детально изучена морфология и биохимия крови [3-5; 18; 30], иммунологические показатели [6]. При этом данных об эндокринной системе и ее влиянии на репродукцию существенно меньше [7; 10; 11], а сведения по динамике холестерина и тестостерона у самцов лисиц отсутствуют. Мало публикаций, особенно касающихся онтогенеза, в которых бы анализировалось формирование стероидогенеза [15; 19].

Однако, по изучению концентрации тестостерона в крови других животных имеется достаточное количество работ [11; 12; 17; 19-20; 26]. В многочисленных исследованиях показана зависимость динамики уровня метаболитов от сезона года у разных видов животных [15; 26; 22] и у людей [21]. Поэтому уровень половых стероидных гормонов в плазме крови можно рассматривать как показатель активности гонад. Даже незначительное нарушение ритма секреции тестостерона или его малейший дефицит могут привести к торможению сперматогенеза [16; 25; 28; 29].

Учитывая, что в литературе данные об эндокринной системе и ее влиянии на репродукцию пушных зверей встречаются в единичных случаях [7; 10; 11], а сведения по влиянию холестерина на синтез тестостерона

у самцов лисиц отсутствуют, большой научный и практический интерес представляет выяснение онтогенетической динамики концентрации тестостерона у лисиц и его взаимосвязи с холестерином ввиду непосредственного участия последнего в стероидогенезе. Поэтому целью исследования было изложить общий взгляд на концентрацию тестостерона и холестерина у самцов лисиц разных цветовых типов и выявления взаимосвязи между гормональным фоном и липидным обменом в постнатальном онтогенезе.

Материалы и методики исследования

Исследования выполнены в лаборатории ветеринарии ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б.М. Житкова. Взятие биоматериала производили у молодняка domesticированных лисиц (*Vulpes vulpes* L., 1758), разводимых в ООО «Зверохозяйство «Вятка» (Кировская обл.). Работа выполнена с соблюдением международных принципов Хельсинской декларации о гуманном отношении к животным [23], принципов гуманности, изложенных в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского Союза 2010/63/ЕС «О защите животных, использующихся для научных целей» [24]. Животных содержали в одинаковых условиях, кормили 1 раз в сутки кормосмесями, поение осуществлялось вволю из индивидуальных поилок. В зверохозяйстве разводят два основных цветовых типа лисиц: серебристо-черную и красную, которые заметно различаются между собой по экстерьеру, этологии и другим биологическим характеристикам.

Из клинически здоровых самцов лисиц серебристо-черного и красного окрасов сформировали 2 группы по 15 голов в каждой. Онтогенетическое развитие наблюдали у животных в возрасте с 45 дней до 10 месяцев. К 9-месячному возрасту звери становятся половозрелыми и участвуют в процессе размножения, который у лисиц бывает 1 раз в году – в январе–феврале. Кровь брали у лисиц в возрасте 45 дней, 4, 6, 9 и 10 месяцев, что по сезонам года соответствовало июлю, сентябрю, ноябрю, февралю и марту. Отбор проб крови из латеральной подкожной вены голени у зверей осуществляли утром до кормления. Из крови получали сыворотку путем центрифугирования в течение 20 минут при 1500 об/мин.

В сыворотке определяли концентрацию тестостерона и холестерина. Методика исследований тестостерона основывается на иммуноферментном анализе. Серологическую реакцию выполняли в стандартных полистироловых планшетах на автоматическом микропланшетном фотометре Immunochem-2100 (High Technology Inc., США) методом твердофазно-

го иммуноферментного анализа. Для иммуноферментного определения концентрации тестостерона в сыворотке крови использовали набор реагентов «ТЕСТОСТЕРОН-КС-ИФА» (Россия) предназначен для количественного определения концентрации тестостерона в сыворотке (плазме) крови кошек и собак (чувствительность: 0,25 нмоль/л., диапазон измерений: 0,5-100 нмоль/л). Концентрацию холестерина в сыворотке крови определяли на полуавтоматическом биохимическом анализаторе «Biochem SA» (США) с помощью наборов фирмы «Экосервис» (Россия). Результаты обрабатывали с использованием пакета лицензионных прикладных программ MS Excel (Office 2019) «IBM SPSS Statistics 26». Проверка распределения данных осуществлялась с использованием критерия Шапиро-Уилка, рекомендованного при $n < 50$). Показатель степени связи между измерениями учитывали с помощью коэффициента корреляции Пирсона. Учитывая малый объем выборки в каждой группе, при оценке однородности групп и достоверности различий средних между группами использовали непараметрический U-тест Манна-Уитни. Уровень статистической значимости полученных различий между сравниваемыми выборками принимали при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований свидетельствуют об общей тенденции изменения концентрации андрогенов в крови (рис. 1). Следует обратить внимание, что период размножения у диких плотоядных животных происходит только один раз в году. У лисиц спаривание проходит в основном в январе-феврале. В это время наблюдают максимальное морфофизиологическое развитие их половых органов. В другие периоды года у взрослых зверей половые органы уменьшаются в размере и соответствуют органам неполовозрелых животных. В них не образуются половые клетки, поэтому концентрация тестостерона в организме таких зверей находится на минимальном уровне. В наших исследованиях наименьший уровень гормона установлен в 2-месячном возрасте как у серебристо-черной, так у красной лисицы (соответственно, 0,275 и 0,337 нмоль/л). В конце лета с уменьшением светового дня начинается постепенное развитие половых органов, что связано с повышением в крови содержания половых гормонов. Концентрация тестостерона в сыворотке крови возрастала и составляла к 6-месячному возрасту (ноябрь) у серебристо-черной лисицы $4,125 \pm 0,405$, у красной лисицы - $5,862 \pm 0,816$ нмоль/л. У 62,5% серебристо-черных самцов концентрация тестостерона превышала 4,0 нмоль/л и варьировала от

4,0 до 8,8 нмоль/л, у 68,8% красных лисиц уровень этого показателя варьировал от 4,0 до 15,3 нмоль/л. В работе Деминой описана схожая картина изменения концентрации тестостерона в онтогенезе у норок. Но в наших исследованиях у самцов лисиц к 6-месячному возрасту уровень содержания тестостерона в крови выше, чем у норок (529 ± 96 пг/мл) [10].

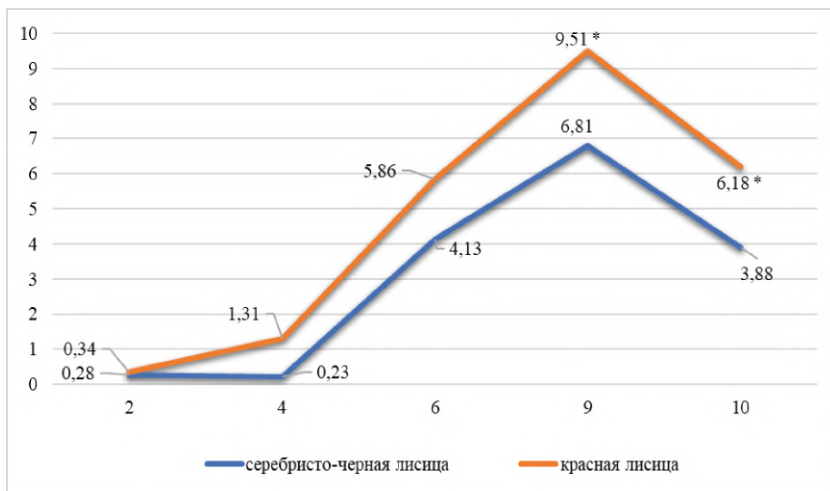


Рис. 1. Концентрация тестостерона в сыворотке крови самцов лисиц разных цветовых окрасов

По оси абсцисс – возраст лисиц в месяцах; по оси ординат – концентрация тестостерона в нмоль/л;

* – различия между лисицами разного окраса статистически значимы, $p < 0,05$

С конца лета происходит увеличение органов размножения, развитие сперматогенеза. К началу периода размножения (январь-февраль) семенники и предстательная железа животных заканчивают свое развитие. Самец становится половозрелым. Повышение уровня половых гормонов в этом возрасте играет важную роль в поддержании репродуктивной функции организма животного. Максимальные значения концентрации тестостерона в сыворотке крови самцов зарегистрировали у зверей в 9-месячном возрасте (февраль), то есть в период размножения. У серебристо-черных лисиц уровень содержания этого показателя достиг $6,806 \pm 0,302$ нмоль/л, у красных лисиц – значительно выше – $9,512 \pm 0,499$ нмоль/л ($p < 0,05$). У 68,8% серебристо-черных лисиц в крови определили концентрацию тестостерона выше 6,0 нмоль/л с колебаниями от 6,0 до

9,3 нмоль/л, у 75% красных лисиц зарегистрировали значения показателя от 8,9 до 12,0 нмоль/л. В сравнении с самцами лисиц, у самцов норок в феврале отмечен более низкий уровень тестостерона в сыворотке крови – 2077 ± 157 пг/мл [10].

После завершения периода размножения половая активность самцов снижается, происходит уменьшение спермопродукции, в сперме могут появляться патологические сперматозоиды. В это время наблюдали уменьшение концентрации полового гормона в крови, причем в значительной степени у серебристо-черных лисиц по сравнению с красными. Выявлено, что в марте концентрация тестостерона в крови серебристо-черных лисиц снижалась до 3,881 нмоль/л, красных лисиц – до 6,181 нмоль/л ($p < 0,05$). Таким образом, концентрация тестостерона в сыворотке крови самцов красной лисицы на всех этапах постнатального онтогенеза выше, чем у серебристо-черной лисицы ($p < 0,05$).

Шульгина (2002) в исследованиях концентрации тестостерона в крови соболей также отмечала возрастные и сезонные изменения половых гормонов. У самцов соболей хорошо видны периоды активизации гонад в период размножения (июнь-июль) с последующим осенним уменьшением уровня гормонов [19]. У песцов описана возрастная динамика уровня половых гормонов в постнатальном онтогенезе, характеризующаяся в начале повышением его концентрации в крови (к 3-у году жизни), а затем уменьшением (к 8-у году жизни). Эти данные согласуются с данными об основном обмене у других животных в раннем возрасте. У всех не зрелорождающихся детенышей млекопитающих уровень основного обмена повышен от момента рождения до определенного возраста с последующим его снижением по мере старения организма [13]. Таким образом, с литературными данными согласуется изменение концентрации половых гормонов у самцов лисиц, имеющее выраженную возрастную динамику.

Изучению изменения концентрации тестостерона у животных разных линий и цветовых окрасов посвящено незначительное количество публикаций. Так, в работе авторов [8] отмечена зависимость уровня тестостерона у быков, принадлежащих разным линиям. Показано, что по всем исследуемым показателям, бычки линии Голубок превосходили животных, полученных от быка линии Персей. Концентрация тестостерона у них увеличивалась в процессе постнатального онтогенеза, достигая максимальных значений в возрасте от 6 до 12 месяцев. Данный факт, вероятно, связан с особенностями полового созревания бычков разных линий. Наши данные согласуются с данными автора, так как разные цветовые типы лисиц в

ходе постнатального онтогенеза имели статистически значимые различия в концентрации тестостерона в сыворотке крови.

Установлена сильная прямая связь ($r=0,993$) в изменениях концентрации тестостерона между серебристо-черной и красной лисицами на разных этапах постнатального онтогенеза. Концентрация тестостерона у красной лисицы в 9-месячном возрасте составляла $9,512 \pm 0,4987$ нмоль/л (период размножения), что существенно выше ($p < 0,05$), чем у серебристо-черной лисицы ($6,806 \pm 0,302$ нмоль/л).

Колебание концентрации тестостерона в сыворотке крови лисиц обусловлены перестройкой организма в критические этапы постнатального онтогенеза и в разные сезоны года, что подтверждается результатами исследования других авторов [1; 2; 11].

В процессе постнатального онтогенеза животных также происходит изменение концентрации холестерина в крови (рис. 2). Его минимальные значения наблюдали у 2-месячных самцов серебристо-черных ($3,32 \pm 0,19$ мкмоль/л) и красных лисиц ($3,37 \pm 0,13$ мкмоль/л). С ростом животного происходило статистически значимое ($p < 0,01$) постепенное повышение уровня данного показателя до максимальных значений у самцов 9-месячного возраста (февраль), что приходилось на период размножения лисиц. У серебристо-черных лисиц регистрировали в сыворотке крови $5,92 \pm 0,38$ мкмоль/л холестерина, у красных лисиц – $6,14 \pm 0,41$ мкмоль/л. После завершения периода размножения уровень содержания холестерина в крови несколько снижался и равнялся у самцов серебристо-черной лисицы $4,8 \pm 0,27$ мкмоль/л, у красной – $5,5 \pm 0,32$ мкмоль/л. Таким образом, концентрация холестерина в сыворотке крови самцов красной лисицы почти на всех этапах постнатального онтогенеза выше, чем у серебристо-черной лисицы. Выявлена сильная прямая связь ($r=0,880$, $p < 0,05$) концентрации холестерина в крови в процессе постнатального онтогенеза от цветового типа лисиц.

На основании результатов проведенных исследований можно заключить, что у самцов лисиц независимо от цветового типа содержание в крови тестостерона и холестерина взаимосвязано. Динамика концентрации холестерина в сыворотке крови соответствует динамике тестостерона. Так, в крови серебристо-черных лисиц уровень содержания холестерина повысился в 1,4 раза, у красных лисиц – в 1,6 раза. Концентрация тестостерона возросла, соответственно, в 14 и 18 раз. Установлена сильная прямая связь между значениями холестерина и тестостерона у самцов лисиц разных цветовых типов: $r=0,960$ ($p < 0,05$) у серебристо-черной и $r=0,981$ ($p < 0,05$) у красной лисицы.

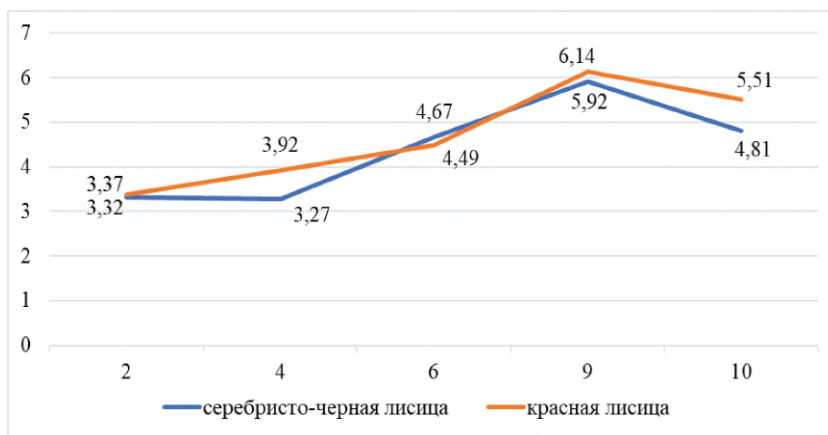


Рис. 2. Концентрация холестерина в сыворотке крови самцов лисиц разных цветовых окрасов
По оси абсцисс – возраст лисиц в месяцах; по оси ординат – концентрация холестерина в ммоль/л

Полученные результаты согласуются с литературными данными. Например, Амерханов (2014) обнаружил взаимосвязь тестостерона и холестерина в сыворотке крови у быков-производителей в зависимости от сезона года и выявил определенные закономерности [2]. В работах автора [7] показана зависимость концентрации холестерина в крови коров от эстральных циклов. Она установила изменения концентрации общего холестерина в крови коров, которые необходимы для создания условий для восстановления полноценных эстральных циклов после родов и дальнейшего оплодотворения. Кроме того, она предложила на основании изменения уровня холестерина в ходе полового цикла определять течку у коров для их успешного осеменения.

Выводы

На основании полученных результатов исследования концентрации тестостерона у различных цветовых типов лисиц – серебристо-черной и красной, можно сделать вывод о различиях в уровнях этого гормона в крови на разных этапах их онтогенеза. Результаты исследования показывают более высокие значения у красных лисиц по сравнению с серебристо-черными. Важно также учитывать, что эти различия могут оказать влияние на поведение и физиологию каждого цветового типа в разные периоды года,

что добавляет новые аспекты в понимание их развития и приспособления к окружающей среде.

Полученные данные подчеркивают значимые различия в биологических особенностях разных цветовых типов лисиц, особенно в контексте репродуктивного периода. Уровень тестостерона у красных лисиц оказывается стабильно выше, что может указывать на более выраженную половую активность или другие адаптивные особенности в сравнении с серебристо-черными лисицами.

Также полученные данные отражают значительные различия в уровне холестерина у различных цветовых типов лисиц – серебристо-черной и красной на разных этапах их онтогенеза. Уровень холестерина у красных лисиц оказывается стабильно выше, начиная с минимальных значений в 2-месячном возрасте и достигая пика в период размножения (9-месячный возраст). Это отличие сохраняется и после завершения периода размножения, где уровень холестерина у красных лисиц остается выше по сравнению с серебристо-черными. Повышенный уровень холестерина у красных лисиц может быть связан с их особыми физиологическими или метаболическими особенностями, что может оказывать влияние на их репродуктивную функцию или общую жизнеспособность в сравнении с серебристо-черными лисицами.

Сильная прямая связь между значениями холестерина и тестостерона у обоих цветовых типов лисиц указывает на возможную взаимосвязь между этими двумя показателями в процессе онтогенеза. Их динамика коррелирует, что может указывать на функциональные и биохимические связи между процессами метаболизма и репродуктивной активностью у лисиц.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания 0766-2014-0006 «Разработка новых и совершенствование существующих средств и методов борьбы с массовыми инфекционными болезнями молодняка животных на основе изучения их этиологической структуры, факторов патогенности возбудителей, закономерностей формирования иммунитета» соответствии с Планом ФНИ.

Список литературы

1. Абилов А.И., Ескин Г.В., Комбарова Н.А. Концентрация эстрадиола в крови быков и его влияние на спермопродукцию и результативность осемене-

- ния // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 830–836. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.830rus>
2. Амерханов Х.А. Содержание тестостерона и холестерина в сыворотке крови у быков-производителей в зависимости от типа продуктивности, возраста и сезона года // Сельскохозяйственная биология. 2014. Т. 49. № 2. С. 59–66. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.2.59rus>
 3. Березина Ю.А., Кокорина А.Е., Плотников И.А., Окулова И.И., Бельтюкова З.Н., Кошурникова М.А., Беспярых О.Ю. Сезонные особенности гематологических показателей крови у взрослого вуалевго песца в условиях Волго-Вятского региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 1 (49). С. 32–37. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-11005>
 4. Березина Ю.А., Кошурникова М.А., Домский И.А., Беспярых О.Ю. Биохимические показатели крови взрослого вуалевго песца в зависимости от пола и сезона // Ветеринария. 2016. № 1. С. 41–43.
 5. Березина Ю.А., Кошурникова М.А., Домский И.А., Беспярых О.Ю. Биохимическая картина крови взрослых песцов разного пола и цветовых окрасов // Пермский аграрный вестник. 2015. № 3 (11). С. 54–58.
 6. Березина Ю.А., Бельтюкова З.Н., Домский И.А. Динамика Т- и В-лимфоцитов у песцов и лисиц в онтогенезе // Кролиководство и звероводство. 2006. № 6. С. 24–25.
 7. Василенко Т.Ф. Метаболическое обеспечение формирования эстральных циклов у животных в период полового созревания // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2011. Выпуск 4(8). С. 48–51.
 8. Вострухина Ю.Ю., Еременко В.И. Динамика биохимических показателей крови у бычков разных линий в онтогенезе // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 2. С. 72–74.
 9. Георгиевский В.И. Физиология сельскохозяйственных животных. М.: Агропромиздат. 1990. 510 с.
 10. Демина Т.М. Отбор племенных самцов норок (*Mustela vison* Schreber, 1777) на основе особенностей индивидуального развития // Информационный вестник ВОГиС. 2007. Т. 11. № 1. С. 205–211.
 11. Каштиго Ж.Л. Половые гормоны собак в связи с сезоном года // Ветеринарная медицина. 2006. № 2–3. С. 32–33.
 12. Кобзева М.В., Джандарова Т.И. Особенности возрастной динамики кортикостероидов, эстрадиола и тестостерона в крови у потомков от крыс-матерей с гипопаратиреозом // Наука. Инновации. Технологии. 2016. № 2. С. 173–178.
 13. Махинко В.И., Никитин В.Н. Обмен веществ и энергии в онтогенезе // В кн.: Возрастная физиология. Л.: Наука. 1975. С. 221–259.

14. Осадчук Л.В., Кузнецова Н.Н., Клещев М.А., Осадчук А.В. Исследование показателей сперматогенеза и гормонального статуса у молодых мужчин западной Сибири // Экспериментальная и клиническая урология. 2016. № 4. С. 74–79.
15. Пушкарев Н.Н. Уровень и динамика половых гормонов у коз оренбургской породы с возрастом // Известия Оренбургского государственного университета. 2015. № 2 (52). Ч. 2. С. 185–187.
16. Свердлофф Р., Бхасин Ш. Нарушение половой функции у мужчин // В кн.: Эндокринология. М., 1999. С. 369–403.
17. Силкин И.И. Морфофункциональная характеристика мускусной препуциальной железы самца ондатры в зависимости от половой активности // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. № 10 (146). С. 129–133.
18. Халтурина Л.В. Гормонально-иммунологический профиль быков-производителей в зависимости от их возраста // Аграрный вестник Урала. 2012. № 9(101). С. 20–22.
19. Шульгина Н.К. Сезонно-возрастные изменения уровня половых гормонов в крови соболей (*Mustelera zibellina*, Linnaeus, 1758) // В кн.: Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. Киров. 2002. С. 494–495.
20. Шульгина Н.К. Структура яичников и уровень гормонов у лисиц и песцов различного возраста // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2006. № 6. С. 63–64.
21. Andersson A.M., Carlsen E., Petersen J.H., Skakkebaek N.S. Variation in levels of serum inhibin B, testosterone, estradiol, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, and sex hormone-binding globulin in monthly samples from healthy men during a 17-month period: possible effects of seasons // Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 2003, vol. 88, pp. 932–937. <https://doi.org/10.1210/jc.2002-020838>
22. Chacur M.G.M., Mizusaki K.T., Gabriel Filho L.R.A., Oba E., Ramos A.A. Seasonal effects on semen and testosterone in Zebu and Taurine bulls // Acta Scientiae Veterinariae, 2013, vol. 41, p. 1110.
23. Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013.
24. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, 2010.
25. Heidary F., Kholghi M., Rostam Zade Y. Analysis of the effect of blood testosterone on sex chromosome ratio in Holstein cattle // Reproduction in domestic animals, 2014, vol. 49 (3), p. 71.

26. Javed M.T., Abrar K., Mumtaz A. Influence of season on seminal plasma testosterone and oestrogen in healthy and abnormal bulls and their relationship with other semen parameters // *Veterinary Archive*, 2000, vol. 70 (3), pp. 141–149.
27. Jin K. Modern biological theories of aging // *Aging and disease*, 2010, vol. 1 (2), pp. 72–74.
28. Korhonen H., Niemela P., Siirila P. Temperament and reproductive performanse in farmed sable // *Agricultural and food science in Finland*, 2001, vol. 10, no. 2, pp. 91–98. <https://doi.org/10.23986/afsci.5685>
29. McBride J.A., Carson C.C., Coward R.M. Diagnosis and management of testosterone deficiency // *Asian Journal of Andrology*, 2015, vol. 17 (2), pp. 177–186 <https://doi.org/10.4103/1008-682X.143317>
30. Piotrowska A.I., Szymeczko R., Ozgo M., Bogusławska-Tryk M., Burlikowska K. Morphological and mineral characteristics of peripheral blood in female polar fox in relation to age // *Folia biologica*, 2008, vol. 56 (3–4), pp. 263–267. https://doi.org/10.3409/fb.56_3-4.263-267

References

1. Abilov A.I., Eskin G.V., Kombarova N.A. Koncentraciya e`stradiola v krovi by`kov i ego vliyanie na spermoprodukciju i rezul`tativnost` osemeneniya [Concentration of estradiol in the blood of bulls and its effect on sperm production and insemination efficiency]. *Sel'skokhozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology] 2016, vol. 51, no. 6, pp. 830–836. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.830rus>
2. Amerhanov H.A. Soderzhanie testosterona i xolesterina v sy`vorotke krovi u by`kov-proizvoditelej v zavisimosti ot tipa produktivnosti, vozrasta i sezona goda [Content of testosterone and cholesterol in the blood serum of breeding buoys depending on the type of productivity, age and season of the year]. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2014, vol. 49, no. 2, pp. 59–66. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.2.59rus>
3. Berezina Yu.A., Beltukova Z.N., Domskey I.A. Dinamika T- i V-limfocitov u peshczov i lisicz v ontogeneze [Dynamics of T- and B-lymphocytes in arctic foxes and foxes during ontogenesis]. *Krolkovodstvo i Zverovodstvo* [Rabbit breeding and fur farming], 2006, no. 6, pp. 24–25.
4. Berezina Yu.A., Beltukova Z.N., Domskey I.A., Bespyatykh O.Y. Bioximicheskaya kartina krovi vzrosly`x peshczov raznogo pola i czvetovy`x okrasov [Biochemical picture of the blood of adult Arctic foxes of different sexes and colors]. *Permsky Agrarny Vestnik* [Perm Agrarian Bulletin], 2015, no. 3(11), pp. 54–58.
5. Berezina Yu.A., Kokorina A.E., Plotnikov I.A., Okulova I.I., Beltyukova Z.N., Koshurnikova M.A., Bespyatykh O.Y. Sezonny`e osobennosti gemato-

- logicheskix pokazatelej krovi u vzroslogo vualevogo pescza v usloviyax Volgo-Vyatskogo regiona [Seasonal features of hematological blood parameters in an adult veiled Arctic fox in the Volga-Vyatka region]. *Dalnevostochny Agrarny Vestnik* [Far Eastern Agrarian Bulletin], 2019, no. 1(49), pp. 32-37.
6. Berezina Yu.A., Koshurnikova M.A., Domskey I.A., Bespyatykh O.Y. Bioximicheskie pokazateli krovi vzroslogo vualevogo pescza v zavisimosti ot pola i sezona [Biochemical blood parameters of an adult veiled Arctic fox depending on gender and season]. *Veterinariya* [Veterinary], 2016, no. 1, pp. 41-43.
 7. Vasilenko T.F. Metabolicheskoe obespechenie formirovaniya e'stral'ny'x ciklov u zhivotny'x v period polovogo sozrevaniya [Metabolic support for the formation of estrous cycles in animals during puberty]. *Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN* [News of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2011, no. 4(8), pp. 48-51.
 8. Vostruhina Yu. Yu. Dinamika bioximicheskix pokazatelej krovi u by'chkov razny'x linij v ontogeneze [Dynamics of biochemical blood parameters in whippers of different lines in ontogenesis]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2011, no. 2, pp. 72-74.
 9. Georgievskiy V.I. *Fiziologiya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh* [Physiology of farm animals]. Moscow: Agropromizdat, 1990, 510 p.
 10. Demina T.M. Otbor plemennykh samtsov norok (*Mustela vison* Schreber, 1777) na osnove osobennostey individual'nogo razvitiya [Selection of breeding male minks (*Mustela vison* Schreber, 1777) based on individual developmental characteristics]. *Informatsionnyy vestnik VOGiS* [VOGiS Information Bulletin], 2007, no. 11(1), pp. 205-211.
 11. Kashtigo Z.L. Polovye gormony sobak v svyazi s sezonom goda [Sex hormones of dogs in connection with the season of the year]. *Veterinarnaya meditsina* [Veterinary medicine], 2006, no. 2-3, pp. 32-33.
 12. Kobyzeva M.V., Dzhandarova T.I. Osobennosti vozrastnoj dinamiki kortikosteroidov, e'stradiola i testosterona v krovi u potomkov ot kry's-materej s gipoparatirozom Osobennosti vozrastnoj dinamiki kortikosteroidov, e'stradiola i testosterona v krovi u potomkov ot kry's-materej s gipoparatirozom [Features of age-related dynamics of corticosteroids, estradiol and testosterone in the blood in offspring from rat mothers with hypoparathyroidism]. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii* [The science. Innovation. Technologies], 2016, no. 2, pp. 173-178.
 13. Mahinko V.I., Nikitin V.N. Obmen veshhestv i e'nergii v ontogeneze [Metabolism and its energies in ontogenesis]. *Vozrastnaya fiziologiya* [Age physiology]. L.: Nauka, 1975, pp. 221-259.

14. Osadchuk L.V., Kuznecova N.N., Kleshchev M.A., Osadchuk A.V. Issledovanie pokazatelej spermatogeneza i gormonal'nogo statusa u molody'x muzhchin zapadnoj Sibiri [Study of spermatogenesis and hormonal status in young men of Western Siberia]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya urologiya* [Experimental and clinical urology], 2016, no. 4, pp. 74–79.
15. Pushkarev N.N. Uroven' i dinamika polovy'x gormonov u koz orenburgskoj porodny' s vozrastom [Levels and dynamics of sex hormones in Orenburg goats with age]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [News of Orenburg State University], 2015, no. 2 (52), part 2, pp. 185–187.
16. Sverdloff R., Bhasin Sh. *Endokrinologiya* [Endocrinology]. M., 1999, pp. 369–403.
17. Silkin I.I. Morfofunktsional'naya kharakteristika muskusnoy preputsal'noy zhelezy samtsa ondatry v zavisimosti ot polovoy aktivnosti [Morphofunctional characteristics of the musk preputial gland of a male muskrat depending on sexual activity]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State University], 2012, no. 10 (146), pp. 129–133.
18. Khalturnina L.V. Gormonal'no-immunologicheskii profil' bykov-proizvoditeley v zavisimosti ot ikh vozrasta [Hormonal-immunological profile of breeding buoys depending on their age]. *Agrarnyy Vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2012, no. 9(101), pp. 20–22.
19. Shul'gina N.K. Sezonno-vozzrastnye izmeneniya urovnya polovykh gormonov v krovi sobolej (*Mustela zibellina*, Linnaeus, 1758) [Seasonal and age-related changes in the level of sex hormones in the blood of sables (*Mustela cibellina*, Linnaeus, 1758)]. *Sovremennye problemy prirodopol'zovaniya, ohotovedeniya i zverovodstva* [Modern problems of environmental management, hunting and fur farming]. Kirov, 2002, pp. 494–495.
20. Shul'gina N.K. Struktura yaichnikov i uroven' gormonov u lisits i pestsov razlichnogo vozrasta [Structure of the ovaries and hormone levels in foxes and arctic foxes of different ages]. *Vestnik Rossijskoj akademii sel'skhoz'yajstvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 2006, no. 6, pp. 63–64.
21. Andersson A.M., Carlsen E., Petersen J.H., Skakkebaek N.S. Variation in levels of serum inhibin B, testosterone, estradiol, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, and sex hormone-binding globulin in monthly samples from healthy men during a 17-month period: possible effects of seasons. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2003, vol. 88, pp. 932–937. <https://doi.org/10.1210/jc.2002-020838>
22. Chacur M.G.M., Mizusaki K.T., Gabriel Filho L.R.A., Oba E., Ramos A.A. Seasonal effects on semen and testosterone in Zebu and Taurine bulls. *Acta Scientiae Veterinariae*, 2013, vol. 41, p. 1110.

23. Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013.
24. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes, 2010.
25. Heidary F., Kholghi M., Rostam Zade Y. Analysis of the effect of blood testosterone on sex chromosome ratio in Holstein cattle. *Reproduction in domestic animals*, 2014, vol. 49 (3), p. 71.
26. Javed M.T., Abrar K., Mumtaz A. Influence of season on seminal plasma testosterone and oestrogen in healthy and abnormal bulls and their relationship with other semen parameters. *Veterinary Archive*, 2000, vol. 70 (3), pp. 141–149.
27. Jin K. Modern biological theories of aging. *Aging and disease*, 2010, vol. 1 (2), pp. 72–74.
28. Korhonen H., Niemela P., Siirila P. Temperament and reproductive performance in farmed sable. *Agricultural and food science in Finland*, 2001, vol. 10, no. 2, pp. 91–98. <https://doi.org/10.23986/afsci.5685>
29. McBride J.A., Carson C.C., Coward R.M. Diagnosis and management of testosterone deficiency. *Asian Journal of Andrology*, 2015, vol. 17 (2), pp. 177–186. <https://doi.org/10.4103/1008-682X.143317>
30. Piotrowska A.I., Szymeczko R., Ozgo M., Bogusławska-Tryk M., Burlikowska K. Morphological and mineral characteristics of peripheral blood in female polar fox in relation to age. *Folia biologica*, 2008, vol. 56 (3–4), pp. 263–267. https://doi.org/10.3409/fb.56_3-4.263-267

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Березина Юлия Анатольевна, канд. вет. наук, с.н.с. лаборатории ветеринарии
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова»
ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
uliyal80775@bk.ru

Беспятых Олег Юрьевич, д-р биол. наук, доцент, доцент кафедры медико-биологических дисциплин
ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»
ул. Орловская, 12, г. Киров, 610002, Российская Федерация
oleg-bp@mail.ru

Перевозчикова Мария Александровна, канд. вет. наук, с.н.с. лаборатории ветеринарии
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова»
ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
bio.vniioz@mail.ru

Плотников Игорь Аркадьевич, д-р биол. наук, заведующий лабораторией разведения пушных зверей
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова»
ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
bio.vniioz@mail.ru

Домский Игорь Александрович, д-р вет. наук, проф., член-корр. РАН, директор
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова»
ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
bio.vniioz@mail.ru

Сюткина Анна Сергеевна, канд. вет. наук, с.н.с. лаборатории ветеринарии
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б.М. Житкова»
ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
bio.vniioz@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yuliya A. Berezina, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher
Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) named after prof. B.M. Zhitkov
79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

uliyal80775@bk.ru

SPIN-code: 3840-8946

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5082-716X>

Oleg Yu. Bespyatykh, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines

Vyatka State University

12, Orlovskaya Str., Kirov, 610002, Russian Federation

oleg-bp@mail.ru

SPIN-code: 7225-9199

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4539-7385>

Scopus Author ID: 57202912681

Researcher ID: AAP-1307-2020

Maria A. Perevozchikova, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) named after prof. B.M. Zhitkov

79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

bio.vniioz@mail.ru

SPIN-code: 3931-2574

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3638-3712>

Igor A. Plotnikov, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading researcher Head of the Laboratory for Breeding Fur Animals

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) named after prof. B.M. Zhitkov

79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

bio.vniioz@mail.ru

SPIN-code: 2799-5286

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0458-5029>

Researcher ID: AEC -7133-2022

Igor A. Domsy, Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director

Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) named after prof. B.M. Zhitkov

79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation

bio.vniioz@mail.ru

SPIN-code: 8337-8592

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1633-1341>

Scopus Author ID: 36113058200,

Researcher ID: AAB-6829-2020

Anna S. Syutkina, Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher
*Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming
(VNIIOZ) named after prof. B.M. Zhitkov
79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation
bio.vniioz@mail.ru
SPIN-code: 2458-5268*

Поступила 25.03.2024

После рецензирования 11.04.2024

Принята 20.04.2024

Received 25.03.2024

Revised 11.04.2024

Accepted 20.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

УДК 591.111.1



Научная статья

ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО БИОИНСЕКТИЦИДА НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СТАТУС ГЕМОЦИТОВ *BLAPTICA DUBIA*

Е.А. Гребцова, А.А. Присный

Цель исследования. Проанализировать изменения клеточного состава гемолимфы и показателей фагоцитарной активности у *Blaptica dubia* при обработке инсектицидом на основе *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Материалы и методы. Проведены количественные исследования нативных гемоцитов имаго *Blaptica dubia* с применением световой микроскопии. Для оценки эффективности поглощения инородных объектов определены фагоцитарный индекс и фагоцитарное число в условиях бактериальной нагрузки. В качестве инсектицида выбран препарат «Битоксикациллин», содержащий *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Результаты. Проанализировано влияние бактериального инсектицида на популяционную структуру гемоцитов имаго *Blaptica dubia*. В работе исследована гемолимфа десяти особей. У имаго идентифицированы 7 гемоцитарных типов: прогемоциты, плазмоциты, гранулоциты, вермициты, сферулоциты, коагулоциты и серповидные клетки. На третьи сутки после обработки препаратом отмечен рост молодых форм плазматоцитов и резкое сокращение числа прогемоцитов и сферулоцитов. В данной контрольной точке у всех особей отсутствовали вермициты. Фагоцитарный индекс равен 53,2%, а среднее количество поглощенных бактерий одним фагоцитом составило 14,6 у.е. К десятому дню зафиксировано дальнейшее снижение числа прогемоцитов и достижение плазматоцитами размеров, свойственных зрелым клеткам. Значения фагоцитарного индекса и фагоцитарного числа достоверно снизились до 41% и 8 у.е. соответственно.

Ключевые слова: гемоциты насекомых; инсектициды; гемолимфа; фагоцитарный индекс; фагоцитарное число

Для цитирования. Гребцова Е.А., Присный А.А. Влияние бактериального биоинсектицида на морфо-функциональный статус гемоцитов *Blaptica dubia*

// Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. T. 16, №4. C. 32-43.
DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

Original article

THE EFFECT OF BACTERIAL BIOINSECTICIDE ON THE MORPHOFUNCTIONAL STATUS OF HEMOCYTES *BLAPTICA DUBIA*

E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi

The purpose of the research is to analyze changes in the total hemocyte count and structure of their population, to assess the indicators of phagocytic activity in *Blaptica dubia* treated with an insecticide based on *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Materials and methods. Quantitative studies of native hemocytes of adult *Blaptica dubia* using light microscopy were carried out. We determined phagocytic index and phagocytic number under conditions of bacterial load to evaluate the efficiency of foreign object absorption. The preparation Bitoxibacillin containing *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis* was selected as an insecticide.

Results. We analyzed the effect of bacterial insecticide on the population structure of adult *Blaptica dubia* hemocytes. The hemolymph of ten insect specimens was studied. Seven hemocytic types were identified in adults: prohemocytes, plasmatocytes, granulocytes, vermicytes, spherulocytes, coagulocytes and crescent cells. On the third day after treatment with the insecticide, an increase in young forms of plasmatocytes and a sharp decrease in the number of prohemocytes and spherulocytes were noted. In this day, vermicytes were absent in all specimens. The phagocytic index reached 53,2%, and the average number of bacteria absorbed by one phagocyte was 14,6 s.u. By the tenth day, a further decrease in the number of prohemocytes were recorded and plasmatocytes reached the size typical of mature cells. The values of phagocytic index and phagocytic number significantly decreased to 41% and 8 s.u., respectively.

Keywords: insect hemocytes; insecticides; hemolymph; phagocytic index; phagocytic number

For citation. Grebtsova E.A., Prisnyi A.A. The Effect of Bacterial Bioinsecticide on the Morphofunctional Status of Hemocytes *Blaptica dubia*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 32-43. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-975

Введение

Биоинсектициды на основе *B. thuringiensis* являются наиболее широко используемыми – на их долю приходится 80% биоинсектицидов, продаваемых во всем мире [4]. Белки этих бактерий Cry и Vip активны в отношении широкого спектра насекомых отрядов Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Homoptera, Neuroptera, Orthoptera и Mallophaga, а также в отношении других беспозвоночных, таких как нематоды, клещи и простейшие [12]. Действие белков Cry и Cyt начинается с приема внутрь кристаллов, которые растворятся в средней кишке [3; 5; 7]. Для достижения правильного растворения кристалла должны быть соблюдены особые химические условия, которые зависят от типа белка, состава кристалла, состава содержимого кишечника и его pH [9; 10].

Количество проведенных на сегодняшний день исследований, связанных с восприимчивостью тараканов к *Bacillus thuringiensis*, очень мало. Также существует несоответствие в результатах, многие из них противоречивы, а с другой стороны, в некоторых работах не указана информация об используемых штаммах и условиях обработки и содержания насекомых [16]. По данным исследования Zukowski (1993) обработка представителей вида *Blattella germanica* препаратом Дипель (титр *B. thuringiensis* 25 млрд спор/г, концентрация 1%) привела к гибели 76,4% особей в течение 9 дней. При использовании более низких концентраций (0,5%; 0,25%; 0,125%) время гибели удлинялось и составило 22 дня для самой низкой концентрации [14; 15].

Ни один из белков в работе Galán Rodellar (2021), ни в качестве протоксина, ни в качестве токсина не оказывал летального действия на *Blaptica dubia* и *B. germanica* даже в сверхвысоких концентрациях [4].

В статье Pan и Zhang (2020) утверждается, что на сегодняшний день не обнаружено ни одного бактериального белка, который вызывал бы гибель *B. germanica*. В качестве возможных причин рассматривают 1) кислую среду в кишечнике с pH около 5,7, что препятствует растворению белка или 2) отсутствие специфических рецепторов в столбчатых клетках кишечника [13].

Другое исследование показало, что серотипы colmeri, yunnanensis, huazhangensis, roskildiensis и sooncheon вызывают смертность до 30% через 7 дней при концентрации 1×10^{10} клеток/мл [6].

Существует как минимум три механизма возникновения устойчивости насекомых к токсическим бактериальным белкам: 1) нарушение протеолитического воздействия на протоксины из-за отсутствия специфических протеаз у конкретного вида насекомого, что приводит к плохой активации

белков; 2) мутации в специфических сайтах связывания, выражающийся в снижении сродства между токсином и сайтом связывания вплоть до полного отсутствия взаимодействия; 3) быстрая регенерация пораженных столбчатых клеток до того, как повреждение станет необратимым.

Для оценки чувствительности насекомых к патогену необходимо не только оценить количество погибших особей, но и зафиксировать возможные изменения в иммунной системе. В связи с этим цель данного исследования проанализировать изменения клеточного состава гемолимфы и показателей фагоцитарной активности у *Blaptica dubia* при обработке инсектицидом на основе *Bacillus thuringiensis*, var. *thuringiensis*.

Материалы и методы

Исследована динамика популяционной структуры форменных элементов гемолимфы и их фагоцитарная активность у вида *Blaptica dubia*. В эксперименте использовали 10 имаго. Насекомые подвергались действию «Битоксибациллина» с титром 20 млрд спор/г в концентрации 1%, согласно инструкции к препарату. Эксперимент проведен по следующей схеме:

- 1) Анализ клеточного состава гемолимфы насекомых до обработки препаратом.
- 2) Однократное предоставление насекомым корма и питьевой воды, которые содержали указанную концентрацию инсектицида.
- 3) Анализ клеточного состава гемолимфы и определение показателей фагоцитарной активности на третьи и десятые сутки после обработки насекомых.

Наблюдения проводили с помощью инвертированного микроскопа Nikon Digital Eclipse Ti-E. Фиксировали изменение численности каждого гемоцитарного типа, а также определяли показатели фагоцитарной активности. Рассчитывали: фагоцитарный индекс (ФИ) – процент фагоцитов, поглотивших инородные объекты, из числа сосчитанных фагоцитов; фагоцитарное число (ФЧ) – среднее число бактерий, поглощенное одним активным фагоцитом. Подсчет общего числа гемоцитов осуществляли на автоматическом счетчике клеток Countess III FL.

Выявление различий количественных результатов исследования по отношению к их исходному уровню проведены путем вычисления показателя достоверности различий (p) с использованием теста Вилкоксона для двух зависимых выборок (непараметрическое распределение). Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения.

Результаты

Популяция форменных элементов гемолимфы имаго *B. dubia* представлена семью типами клеток: прогемоциты (Pr), плазматоциты (Pl), гранулоциты (Gr), сферулоциты (Sph), вермициты (Ver), коагулоциты (Co), серповидные клетки (Cr) [1;2;8]. Гемоцитарная формула представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Соотношение гемоцитарных типов в гемолимфе до начала эксперимента

Типы клеток	Pr	Pl	Gr	Sph	Ver	Co	Cr
Доля гемоцитов, %	9,3±2,9	23,0±3,7	26,8±4,9	19,0±4,4	5,5±2,4	6,5±2,6	9,8±3,9

При наблюдении нативных клеток в изотоническом растворе зафиксировано, что адгезия к подложке и распластывание плазматоцитов и гранулоцитов завершалось к 12-ой и 25-й минуте соответственно. Общее число гемоцитов находилось в пределах $5,03 \pm 0,29 \times 10^6/\text{мл}$.

После обработки насекомых энтомопатогенным препаратом повторный анализ гемолимфы проводили на третьи сутки. Отмечена тенденция к увеличению общего числа клеток до $5,30 \pm 0,28 \times 10^6/\text{мл}$, преимущественно за счет фагоцитов. Зафиксировано достоверное снижение доли прогемоцитов на 30%, сферулоцитов на 58,6%, коагулоцитов на 90%, серповидных клеток на 62,2% (рис. 1). Снижение числа прогемоцитов, вероятно, связано с их активной дифференцировкой в иммунные клетки.

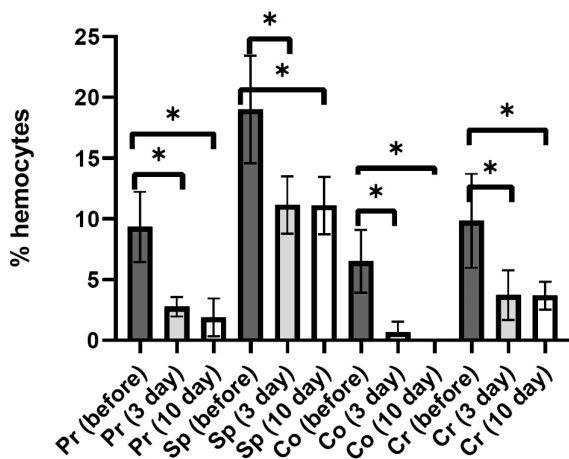


Рис. 1. Динамика численности нефагоцитирующих гемоцитов.

* – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Противоположная ситуация характерна для гемоцитов, выполняющих фагоцитарную функцию: количество плазматоцитов возросло вдвое. Большую часть составляли молодые мелкие клетки ($D \approx 5,2$ мкм), в которые дифференцировались прогемоциты. Статистически значимого изменения числа гранулоцитов отмечено не было ни у одной особи. Содержание вермицитов упало до нуля (рис. 2).

Зрелые плазматоциты и гранулоциты активно участвовали в поглощении бактериальных клеток. Распластывание данных форменных элементов по подложке завершалось уже к пятой минуте инкубации в изотоническом растворе.

Повторный отбор гемолимфы проводили на десятые сутки. Статистически значимого увеличения общего числа гемоцитов зафиксировано не было. Как и в предыдущей контрольной точке, доля прогемоцитов редко превышала 2%. Содержание сферулоцитов, коагулоцитов и серповидных клеток также не изменилось.

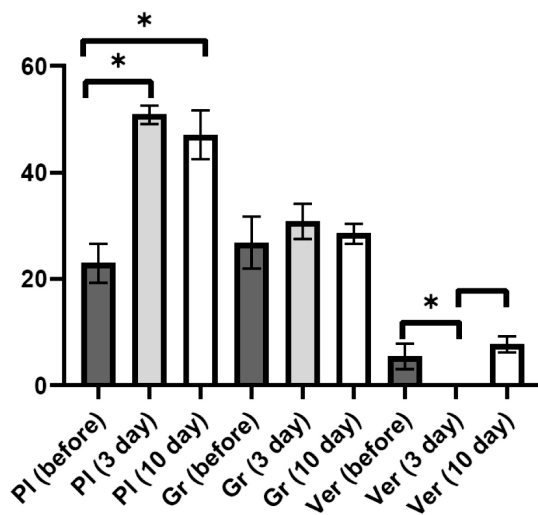


Рис. 2. Динамика численности фагоцитирующих гемоцитов.

* – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Доля плазматоцитов сохранилась прежней, однако клетки уже успели достичь своих обычных размеров ($D=15$ мкм). Скорость оседания и адгезии оставалась по-прежнему высокой. Единичных клеток практически не было, в основном они формировали конгломераты и распластывались как единое целое.

При определении показателей фагоцитарной активности учитывали три типа клеток, способных захватывать инородные объекты: гранулоциты, плазматоциты и вермициты. На третий сутки ФИ составил 53,2%, причем основная роль в поглощении бактерий принадлежала молодым плазматоцитам. Несмотря на достаточно низкие значения ФИ, эффективность работы плазматоцитов высока: фагоцитарное число в единичных случаях доходило до 28 бактериальных клеток. На десятые сутки величина ФИ достоверно снизилась до 41%, однако это связано с увеличением числа вермицитов, которые не проявили в эксперименте фагоцитарной активности. В предыдущей контрольной точке вермициты отсутствовали и не вносили вклад в общее число фагоцитов. Уменьшение параметра ФЧ практически вдвое также носит статистически значимый характер (рис. 3).

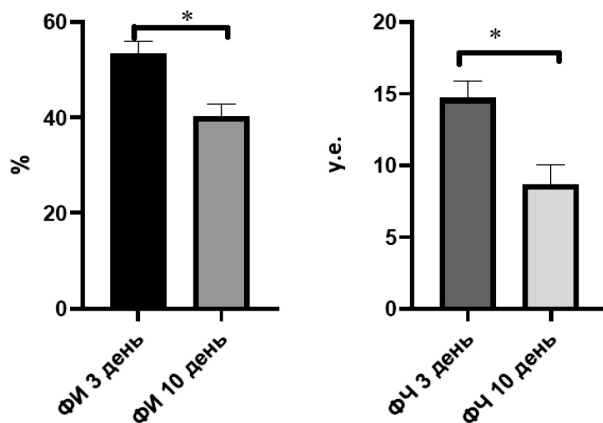


Рис. 3. Показатели фагоцитарной активности на третий и десятый день после обработки. * – статистическая надежность различий $p < 0,05$

Дальнейшее наблюдение за насекомыми проводили еще в течение двух недель – за весь срок эксперимента ни одна особь не погибла. Это говорит об устойчивости данного вида к *B. thuringiensis* в концентрации, которая, согласно инструкции к препарату, является летальной.

Поскольку бактериальные клетки были обнаружены в гемолимфе насекомых, то связывание белков с мембранными рецепторами столбчатых клеток кишечника произошло, что привело к формированию пор в микроворсинках и споры бактерий проникли в гемоцель. Однако ни одна особь не погибла. Этот факт исключает первый механизм возникновения резистентности. Кроме того, тараканы способны длительное время обходить-

ся без еды и воды, и в этот срок пораженные зоны кишечника способны регенерировать, а активная работа иммунных клеток способствует борьбе с бактериальной инфекцией.

Заключение

Согласно результатам исследования идентифицировано 7 гемоцитарных типов *B. dubia*, соотношение которых менялось в течение десяти суток после обработки энтомопатогенным бактериальным препаратом. На третьи сутки отмечена тенденция к увеличению общего количества гемоцитов, что связано с ростом числа молодых плазматоцитов. Снижение уровня прогемоцитов вызвано их усиленной дифференцировкой в иммунные клетки. Вермициты к этому времени полностью исчезают, однако их число восстанавливается в заключительной контрольной точке. Основная роль в фагоцитозе бактерий принадлежит плазматоцитам. Несмотря на небольшое значение фагоцитарного индекса, эффективность поглощения *B. thuringiensis* высока и достигает до 28 клеток. Бактериальный препарат «Битоксибациллин» не оказывает инсектицидного эффекта в отношении *B. dubia* при применении в дозировке, указанной в инструкции. Ни одна особь за период эксперимента не погибла, в течение последующих четырнадцати дней летальных исходов также не зафиксировано.

Список литературы

1. Гребцова Е. А. Морфофункциональная характеристика и осморегуляторные реакции гемоцитов представителей отряда Dictyoptera: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.03.01 / Гребцова Елена Александровна; [Место защиты: Белгород. гос. аграр. ун-т им. В.Я. Горина]. Белгород, 2017. 184 с.
2. Присный А.А. Сравнительный анализ морфофункционального статуса клеточных элементов циркулирующих жидкостей беспозвоночных животных: дис. ... докт. биол. наук: 03.03.01 / Присный Андрей Андреевич. Белгород, 2016. 403 с.
3. Crickmore N., Zeigler D. R., Feitelson J., Schnepf E., Van Rie J., Lereclus D., Baum J., Dean D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 1998. Vol. 62(3). P. 807–813. <https://doi.org/10.1128/mmbr.62.3.807-813.1998>
4. Galán Rodellar, Juan José. Susceptibilidad De *Blattella Germanica* (L.) (Dictyoptera, Blattellidae) Y *Blaptica Dubia* (Blattodea, Blaberidae) a Proteínas De *Bacillus Thuringiensis* (Berliner) // Trabajos Fin de Máster ETSIA - NIGMET Master Amaierako Lanak, 2021. <https://hdl.handle.net/2454/39392>

5. Ferré J., Van Rie J., Macintosh S. C. Insecticidal genetically modified crops and insect resistance management (IRM) // In *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*, 2008. P. 41–85. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8373-0_3
6. Fiuza L. M., Berlitz D. L., de Oliveira J. V., Knaak N. *Bacillus thuringiensis*: different targets and interactions // In *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus: Characterization and use in the field of biocontrol*. 2017. P. 111–126. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_9
7. Jaquet F., Hütter R., Lüthy P. Specificity of *Bacillus thuringiensis* deltaEndotoxin // *Applied and Environmental Microbiology*. 1987. Vol. 53(3). P. 500–504. <https://doi.org/10.1128/AEM.53.3.500-504.1987>
8. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes // *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe. 1975. P. 119-129.
9. Lee M. K., Miles P., Chen J. S. Brush border membrane binding properties of *Bacillus thuringiensis* Vip3A toxin to *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* midguts // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2006. Vol. 339(4). P. 1043-1047. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.11.112>
10. Li Y., Schal C., Pan X., Huang Y., Zhang F. Effects of antibiotics on the dynamic balance of bacteria and fungi in the gut of the German Cockroach // *Journal of Economic Entomology*. 2020. Vol. 113(6). P. 2666–2678. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa205>
11. Pan X. Y., Zhang F. Advances in biological control of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). // *Biological Control*. 2020. Vol. 142. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104104>
12. van Frankenhuyzen K. Cross-order and cross-phylum activity of *Bacillus thuringiensis* pesticidal proteins // *Journal of Invertebrate Pathology*. 2013. Vol. 114, Issue 1. P. 76–85. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.05.010>
13. Vinokurov K., Taranushenko Y., Krishnan N., Sehnal F. Proteinase, amylase, and proteinase-inhibitor activities in the gut of six cockroach species // *Journal of Insect Physiology*. 2007. Vol. 53. P. 794–802. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.02.019>
14. Zukowski K. Badania laboratoryjne przydatności biopreparatu Dipel w redukcji prusaków (*Blattella germanica* L.) // *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*. 1993. Vol. 44(2-3). P. 227–230. <https://europepmc.org/article/med/8016546>
15. Zukowski K. Badania efektywności wybranych biopreparatów owadobójczych w redukcji liczebności prusaków (*Blattella germanica* L.) [Testing effectiveness of selected bio-insecticides for reducing the population of cockroaches (*Blattella germanica* L.)] // *Rocz Panstw Zakl Hig*. 1994. Vol. 45(1-2). P. 139-144.

16. Zulfiana D., Rini M. S., Wikantyo B., Krishanti N. P. R. A. Efficacy test on some entomopathogenic bacterial isolates of the *Periplaneta americana* and *Blattella germanica* Cockroaches (Orthoptera) at Laboratory scale. *Biosaintifika // Journal of Biology & Biology Education*. 2018. Vol. 10(2). P. 306–312. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i2.12934>

References

1. Grebtsova E. A. *Morphofunctional characterization and osmoregulatory reactions of hemocytes of representatives of the order Dictyoptera* [Place of Defense: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin]. Belgorod, 2017, 184 p.
2. Prisny A.A. *Comparative analysis of the morphofunctional status of cellular elements of circulating fluids of invertebrate animals*. Belgorod, 2016, 403 p.
3. Crickmore N., Zeigler D. R., Feitelson J., Schnepf E., Van Rie J., Lereclus D., Baum J., Dean D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 1998, vol. 62(3), pp. 807–813. <https://doi.org/10.1128/membr.62.3.807-813.1998>
4. Galán Rodellar, Juan José. Susceptibilidad De *Blattella Germanica* (L.) (Dictyoptera, Blattellidae) Y *Blaptica Dubia* (Blattodea, Blaberidae) a Proteínas De *Bacillus Thuringiensis* (Berliner). Trabajos Fin de Máster ETSIA - NIGMET Master Amaierako Lanak, 2021. <https://hdl.handle.net/2454/39392>
5. Ferré J., Van Rie J., Macintosh S. C. Insecticidal genetically modified crops and insect resistance management (IRM). *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*, 2008, pp. 41–85. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8373-0_3
6. Fiuza L. M., Berlitz D. L., de Oliveira J. V., Knaak N. *Bacillus thuringiensis*: different targets and interactions. *Bacillus thuringiensis and Lysinibacillus sphaericus: Characterization and use in the field of biocontrol*. 2017, pp. 111–126. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56678-8_9
7. Jaquet F., Hütter R., Lüthy P. Specificity of *Bacillus thuringiensis* deltaEndotoxin. *Applied and Environmental Microbiology*, 1987, vol. 53(3), pp. 500–504. <https://doi.org/10.1128/AEM.53.3.500-504.1987>
8. Jones J. C. Forms and functions of insect hemocytes. *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R. E. Shoppe, 1975, pp. 119–129.
9. Lee M. K., Miles P., Chen J. S. Brush border membrane binding properties of *Bacillus thuringiensis* Vip3A toxin to *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* midguts. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2006, vol. 339(4), pp. 1043–1047. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2005.11.112>

10. Li Y., Schal C., Pan X., Huang Y., Zhang F. Effects of antibiotics on the dynamic balance of bacteria and fungi in the gut of the German Cockroach. *Journal of Economic Entomology*, 2020, vol. 113(6), pp. 2666–2678. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa205>
11. Pan X. Y., Zhang F. Advances in biological control of the German cockroach, *Blattella germanica* (L.). *Biological Control*, 2020, vol. 142. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104104>
12. van Frankenhuyzen K. Cross-order and cross-phylum activity of *Bacillus thuringiensis* pesticidal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2013, vol. 114, issue 1, pp. 76–85. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2013.05.010>
13. Vinokurov K., Taranushenko Y., Krishnan N., Sehna F. Proteinase, amylase, and proteinase-inhibitor activities in the gut of six cockroach species. *Journal of Insect Physiology*, 2007, vol. 53, pp. 794–802. <https://doi.org/10.1016/j.jinphys.2007.02.019>
14. Zukowski K. Badania laboratoryjne przydatności biopreparatu Dipel w redukcji prusaków (*Blattella germanica* L.). *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*, 1993, vol. 44(2-3), pp. 227–230. <https://europepmc.org/article/med/8016546>
15. Zukowski K. Badania efektywnosci wybranych biopreparatów owadobójczych w redukcji liczebności prusaków (*Blattella germanica* L.) [Testing effectiveness of selected bio-insecticides for reducing the population of cockroaches (*Blattella germanica* L.)]. *Rocz Panstw Zakl Hig.*, 1994, vol. 45(1-2), pp. 139-144.
16. Zulfiana D., Rini M. S., Wikantyo B., Krishanti N. P. R. A. Efficacy test on some entomopathogenic bacterial isolates of the *Periplaneta americana* and *Blattella germanica* Cockroaches (Orthoptera) at Laboratory scale. Biosaintifika. *Journal of Biology & Biology Education*, 2018, vol. 10(2), pp. 306–312. <https://doi.org/10.15294/biosaintifika.v10i2.12934>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гребцова Елена Александровна, кандидат биологических наук, ст. преподаватель кафедры биологии
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

*ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
Grebtsova_e@bsu.edu.ru*

Присный Андрей Андреевич, доктор биологических наук, директор Института фармации, химии и биологии
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация
prisnyy@bsu.edu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Elena A. Grebtsova, PhD in Biology, Senior Lecturer of Biological Department
*Belgorod State National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
Grebtsova_e@bsu.edu.ru*

Andrew A. Prisnyi, PhD in Biology, Head of the Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology
*Belgorod State National Research University
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation
prisnyy@bsu.edu.ru*

Поступила 27.02.2024

После рецензирования 28.03.2024

Принята 01.04.2024

Received 27.02.2024

Revised 28.03.2024

Accepted 01.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1235

УДК 636.939:591.169.1



Научная статья

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА СТИМУЛЯЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СКОРОСТЬ РОСТА ВОЛОС У БЕЛЫХ КРЫС

О.Б. Жданова, И.И. Окулова, Е.Б. Дунаева, О.В. Часовских

Обоснование. Изучение процесса активации стволовых клеток волосяного сосочка при введении препаратов стимуляторов регенерации для улучшения структуры волоса и скорости его роста является актуальным как для разработки препаратов для пушиного звероводства, так и схем лечения алопеции. В настоящем исследовании была предпринята попытка стимуляции стволовых клеток в волосяном сосочке и улучшение качества волос.

Целью исследования явилось сравнительное изучение влияния пероральных и перкутанных форм мелатонина (C.O.R.P. Linia Sagini, Италия) и лиотритона (Россия) на изменение скорости роста и структуры волоса у белых лабораторных крыс.

Материалы и методы. Сравнительные исследования препаратов стимуляции регенерации и мелатонина проведены в динамике. Для проведения эксперимента были сформированы опытные группы: у животных удаляли шерсть и осуществляли пероральное введение и покрытие выбритого участка стимуляторами регенерации; следующая группа получала синтетический мелатонин (аналогично предыдущей; контрольная группа получала дистиллированную воду. Наблюдение вели в течение месяца, затем животных выводили из эксперимента в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Для гистологических исследований использовали фрагменты ткани из участка с удаленной шерстью и волосы из нескольких областей тела животного. Изготавливали парафиновые гистологические срезы толщиной 5-7 мкм и окрашивали гематоксилином и эозином. Объекты исследования микроскопировались при увеличении x20 и x80, с изготовлением фотографий (Vision Bio,

2014г.). Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных пакетов программ MS Excel и Statgraphics.

Результаты исследований. В первый день после удаления волосяного покрова отмечено покраснение данных участков, однако кровотечения отсутствовали. Промеры волос, осуществленные в динамике, показали, что в опытных группах рост волос ускорен, также лучше выражен слой эпидермиса. При исследовании волос в контрольной группе установили, что у животных не получавших препараты рост замедлен, кроме того качество волос хуже, чем в опытных группах.

Заключение. В ходе проведенных исследований установили, что выпаивание лабораторным животным мелатонина и ПСР с перкутаным нанесением, ежедневно в течение 21 дней улучшает структуру волоса, его качество и ускоряет рост. Установили, что при выпаивании ПСР время восстановления шерстного покрова достоверно уменьшается по сравнению с контрольной группой.

Ключевые слова: кожа; структура; волосы; регенерация; лабораторные животные

Для цитирования. Жданова О.Б., Окулова И.И., Дунаева Е.Б., Часовских О.В. Сравнительное изучение влияния препарата стимуляции регенерации на структуру и скорость роста волос у белых крыс // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 44-62. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1235

Original article

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF REGENERATION STIMULATION DRUG ON THE STRUCTURE AND RATE OF HAIR GROWTH IN WHITE RATS

O.B. Zhdanova, I.I. Okulova, E.B. Dunaeva, O.V. Chasovskikh

Background. The study of the activation process of hair papilla stem cells when using regeneration stimulators to improve the structure of the hair and its growth rate is relevant both for the development of drugs for fur farming and alopecia treatment regimens. In this study, an attempt was made to stimulate stem cells in the hair papilla and improve the quality of hair.

The aim of the study was a comparative study of the effect of oral and percutaneous forms of melatonin and lyotritone on changes in the growth rate and structure of hair in white laboratory rats.

Materials and methods. Comparative studies of regeneration stimulation and melatonin preparations were carried out in dynamics. Experimental groups were formed to conduct the experiment: wool was removed from the animals and oral administration and coating of the shaved area of the PSR was carried out; the next group received synthetic melatonin with electromagnetic treatment similar to the previous one; the control group received distilled water. The observation was carried out for a month, then the animals were removed from the experiment in accordance with the "Rules for carrying out work using experimental animals" and in accordance with the principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). For histological studies, tissue fragments from the area with the hair removed and hair from several areas of the animal's body were used. Paraffin histological sections 5-7 microns thick were made and stained with hematoxylin and eosin. The objects of the study were microscopized at magnification x20 and x80, with the production of photographs (Vision Bio, 2014). The data obtained were processed using standard MS Excel and Statgraphics software packages.

Research results. On the first day after hair removal, redness of these areas was noted, but there was no bleeding. Hair measurements carried out in dynamics showed that in the experimental groups hair growth was accelerated, and the epidermis layer was also better expressed. In the study of hair in the control group, it was found that growth was slowed down in animals that did not receive drugs, in addition, the quality of hair is worse than in the experimental groups.

Conclusion. In the course of the conducted studies, it was found that the drinking of melatonin and RS by laboratory animals with percutaneous application, daily for 21 days improves the structure of the hair, its quality and accelerates growth. It was found that when the RS is soldered, the recovery time of the coat significantly decreases by a factor compared to the control group.

Keywords: skin; structure; hair; regeneration; laboratory animals

For citation. Zhdanova O.B., Okulova I.I., Dunaeva E.B., Chasovskikh O.V. Comparative Study of the Effect of Regeneration Stimulation Drug on the Structure and Rate of Hair Growth in White Rats. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 44-62. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1235

Введение

Поиск новых высокоэффективных препаратов, способных воздействовать сразу на ряд систем гомеостаза человека и животного крайне актуален в настоящее время, как правило, такими препаратами являются

ся стимуляторы регенерации. Учитывая вышесказанное, представляется интересным исследование влияния таких препаратов на кожу с волосом, каковой является кожа головы, которая выполняет ряд важнейших функций. В первую очередь это защита от механических повреждений и биологических агентов. Терморегулирующая функция помимо волосяного покрова обеспечивается изменением микроциркуляции крови в сосудах кожи, а потовые и сальные железы осуществляют выведение из организма растворённых продуктов обмена веществ, воды, кожного сала и пр. А иммунную функцию обуславливают макрофаги и Т-лимфоциты, которые участвуют в антигенпрезентации и передаче информации клетками Лангерганса, которые транспортируются в лимфатические узлы, и другие лимфоидные образования где нейтрализуются. Не менее важной является и рецепторная функция, при этом кожа способна не только воспринимать температурные и тактильные раздражители, но и распознавать, преобразовывать и участвовать в передаче их в нервную систему [5]. Условно волос делится на две части – корень и стержень (видимая часть). В стержне выделяют внутреннюю часть стержня, состоящей из неороговетших клеток и кортекса – коркового слоя, представленного клетками вытянутой формы, составляет 90% от массы волоса, и кутикулу – наружный слой. Кутикула, основная функция которой - защитная, образована чешуйками, причем каждая последующая из них обычно совпадает по площади с предыдущей. В пушковых волосах имеется корковое вещество и кутикула, мозгового вещества нет. Корень - располагается в дермальном слое кожи в волосяном мешке, стенка которого состоит из внутреннего и наружного эпителиальных (корневых) влагалищ: в длинных и щетинковых волосах в его состав входят корковое вещество, мозговое вещество, кутикула. Фолликулы являются весьма динамичными органами, млекопитающего, они состоят из 20 типов клеток с разнообразными функциями. Волосяной фолликул регулирует рост волос при помощи взаимодействия между гормонами, нейропептидами и иммунными клетками, именно он отвечает за деление и рост клеток. Именно состояние стволовых клеток волосяных фолликулов обуславливает характеристики волоса, которые крайне важны в косметологии, дерматологии и пушном звероводстве [2-4; 10; 16].

Помимо вышесказанного огромное значение для человека имеет эстетическое восприятие кожи и волос. В настоящее время имеется тенденция к увеличению числа пациентов с жалобами на избыточное выпадение и медленный рост волос, в т.ч. постковидного характера, а также изменение их структуры в виде ломкости и потери блеска. При этом значимую долю

составляют больные с диффузной алопецией. Согласно результатам имеющихся эпидемиологических исследований, данная патология регистрируется не только у мужчин, но и у женщин и с возрастом риск потери волос увеличивается [2; 15-18; 20]. Известно, что помимо влияния андрогенов, которое наиболее часто способствует алопеции у человека, причинами выпадения волос также может являться фолликулярное микровоспаление. Волосяные фолликулы при хроническом воспалении подвергаются фиброзу при этом выпадение волос сопровождается лимфогистиоцитарной воспалительной инфильтрацией выраженной в различной степени в области окружающей волосяную луковицу [19-21; 26; 27]. Немаловажное значение имеет также окислительный стресс, имеющийся в процессе старения, а также при длительном воздействии интенсивного ультрафиолетового излучения. У человека и домашних животных помимо вышеперечисленных факторов, загрязненная окружающая среда способствует генерации свободных радикалов. В итоге развивается окислительный стресс, повреждающий волосяные фолликулы [18]. Кроме того, с возрастом возрастает потеря белка внеклеточного матрикса, что в волосяном ложе приводит к прогрессирующему уменьшению размера волосяных фолликулов и дальнейшей потере волосяных сосочков [19-24]. Часто причиной ухудшения качества волосяного покрова становятся паразиты [4-7; 10-13; 25; 30]. Для человека вопрос разработки новых методов терапии алопеции крайне важен, что усугубляется психологическими аспектами данной проблемы для пациентов, страдающих от потери волос. Также вопросы улучшения качества волос актуальны для ветеринарии, особенно для пушного звероводства. Для ускорения созревания зимнего волосяного покрова и повышения его качества у пушных зверей, применяются различные формы «Мелапола», «Мелакрила» в основу которых входит мелатонин, стимулирующий линьку волосяного покрова, и позволяет сократить сроки линьки пушных зверей без потери качества пушнины [5; 13; 14; 29].

Несмотря на то, что в современной трихологии, косметологии и дерматологии имеется огромный спектр методов и средств лечения, интерес к методикам восстановления волос и улучшения качества шерсти постоянно возрастает, что обусловлено несовершенством существующих подходов [8; 9; 18; 19; 29]. В данном исследовании была предпринята попытка изучения эффективности препаратов, влияющих на скорость роста и качество волос: препарат линии C.O.R.P. Linia Sagini (синтетический мелатонин, производства Италия) и препарат стимулятор регенерации (ПСР из ткани тритона) (любезно предоставленный ООО АгроПромСельхозСнаб,

Калужская область). Предварительные исследования показали, что данные препараты являются антиоксидантами, к тому же мелатонин активно применяется в пушном звероводстве в настоящее время [14; 15; 29]. Следует отметить, что также мелатонин играет неспецифическую роль в борьбе со стрессом на всех уровнях, и влияет на кальциевый обмен, в т.ч. на реминерализацию эмали, костей, и в целом улучшает структуру волос и кожи. Также препарат является адаптогеном, что особенно важно в случае длительной стрессовой ситуации, так как известно, что со стороны эпифиза отмечается двухфазная реакция: спад эпифизарной деятельности в первую (резистентную) фазу стресса и резкий подъём во вторую фазу. Мелатонин в целом стабилизирует и координирует деятельность эндокринной системы организма, которая дезорганизована при стрессе [15; 29]. Особенно важно то, что при этом уменьшается стрессовый адреналовый гиперкортицизм. Помимо вышеперечисленных эффектов, приводящих к улучшению качества волос, крайне важно изучение процесса активации стволовых клеток волосяного сосочка при введении стимуляторов регенерации. ПСР-лиотритон менее изучен, чем мелатонин, однако по предварительным данным также является весьма эффективным стимулятором регенеративных процессов [6-8; 29]. ПСР-лиотритон стимулирует регенерацию в целом, в том числе и стволовые клетки из волосяных фолликулов, активируя также рост волос [7; 8]. Общим для данных препаратов является то, что они снижают уровень свободных радикалов, повышают интенсивность обменных процессов в организме, и в итоге улучшают структуру волос.

Целью исследования явилось сравнительное изучение влияния пероральных и перкутанных форм мелатонина и ПСР-лиотритон на изменение скорости роста и структуры волоса у белых лабораторных крыс.

Материалы и методы исследования

Эксперименты на лабораторных животных проводились в виварии медико-биологического центра биомоделирования ФГБОУ ВО Кировского ГМУ Минздрава России. Были отобраны беспородные белые крысы-самцы (310-320 грамм) по методу аналогов. При проведении всех доклинических исследований руководствовались правилами и рекомендациями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых при экспериментальных исследованиях (1997 г.). Все животные содержались в стандартных условиях вивария с 12-часовым циклом освещения (включение в 8.00, выключение в 20.00), при температуре воздуха +20°C, влажности 60%, с ежедневной сменой подстила в виде древесных пел-

лет и стружки. Все экспериментальные животные получали одинаковые стандартизированные рационы (гранулированные корма, сбалансированные по микро-макроэлементам и витаминам) и имели свободный доступ к воде. За сутки до проведения эксперимента путем выстригания удаляли шерсть на участке 2 см x 3,5 см крысы с межлопаточной области тела, и на следующий день полностью удаляли волосы путем выбривания. Изучение морфологического строения волосяного покрова проводили на исследуемом участке, параллельно с изучением качества волос на центральном топографическом участке спинки животного в динамике. Проводили морфометрию структуры остевых волос вышеуказанных топографических участках при увеличении $\times 20$, $\times 40$ и на $\times 80$.

Перкутанно применяли исследуемые препараты: в первой группе наносились 60 мкл ПСР - лиотритон, и накрывали салфеткой, пропитанной ПСР, аналогичные манипуляции проводились с животными второй группы с препаратом мелатонин, также данные группы получали ежедневно ПСР и мелатонин внутрь в дозе 1 г на кг живой массы. Животные контрольной группы получали дистиллированную воду перкутанно и внутрь.



Рис. 1. Выбритый участок в межлопаточной области белой крысы

Сразу после выбривания, а также на 7-й, 14-й и 21-й день проводили планиметрию выбритого участка, с этой целью накладывали на участок

прозрачную пленку, обводили его, переносили на лист миллиметровой бумаги, и подсчитывали количество квадратных миллиметров, заключенных внутри границ контура. Животных из эксперимента выводили методом ингаляции эфирных паров в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Были взяты фрагменты ткани из кожи и волосы для приготовления гистологических препаратов. Изготовление парафиновых гистологических срезов толщиной 5-7 мкм проводили по общепринятым стандартным методикам (на санном микротоме MC-2). Срезы окрашивали гематоксилином и эозином. Для приготовления гистологических препаратов волос использовался 10% раствор NaOH, предметное и покровное стекло [1, 4, 14, 29]. При оценке однородности групп и достоверности различий средних между группами использовали непараметрический U-тест Манна-Уитни (Sokal, Rohlf, 1981). Уровень статистической значимости полученных различий между сравниваемыми выборками принимали при $p < 0.05$. Фотографии и морфометрические исследования проводили на световом микроскопе VisionBio (Epi) с автоматическим выходом на экран (при увеличении микроскопа x20, x40, x80).

Результаты исследований

Все экспериментальные животные хорошо перенесли процедуру удаления шерсти и сразу после манипуляции были рассажены по клеткам. Все крысы обладали одинаковой двигательной активностью и активным грумингом, которому подвергался и участок с удаленной шерстью. различий в потреблении корма и воды также не отмечено.

Исследования контрольных и опытных у крыс показало, что в опытных группах начиная с 5-го дня и к 14 дню после выпаивания динамизированного мелатонина происходит улучшение внешнего вида шерстного покрова. На 21-й день шерсть у всех животных становится блестящей, здоровой, густой. При испытании лиотритона уже на 7-й день отмечали значительное улучшение структуры и увеличение длины, а к 21 дню полное восстановление волосяного покрова в то время как у контрольных животных явно визуализируется участок с более короткой шерстью. Диагностику волос производили визуально и на ощупь, оценивали такие показатели как: блеск, пористость, эластичность, прочность и текстура, также осуществляли измерение длины (таб.1).

Таблица 1.

**Качественные и количественные показатели состояния волос
на эпилированном участке при применении ПСР и мелатонина**

	Длина волоса мм	Блеск*	Пористость**	Эластичность***	Прочность****
10 –й день после введения препарата					
ПСР	8,1 ±1,2	++	++	+++	+++
Мелатонин	6,0 ±1,3	+++	+	+++	++
Контроль	4,1 ±1,3	+	++	++	++
14-й день после введения препарата					
ПСР	14,9 ±1,1	+++	+	+++	+++
Мелатонин	12,0 ±1,1	+++	+	+++	+++
Контроль	5,5 ±1,4	+	++	++	++
21 день после введения препарата					
ПСР	18,5 ±2,2	+++	+	+++	+++
Мелатонин	13,5 ±1,1	+++	+	+++	+++
Контроль	7,1 ±1,2	+	++	++	++

*Блеск – наличие рефлекса от искусственного или естественного источника освещения, оценивали в + от одного до трех

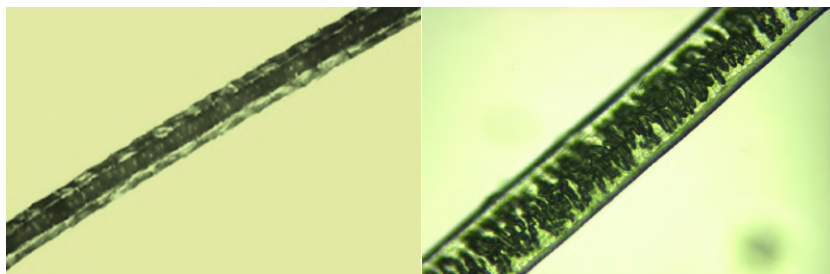
**Пористость – наличие промежутков между чешуйками, оценивали в + от одного до трех

***Эластичность - это способность волоса растягиваться и возвращаться в свое нормальное состояние, оценивали в + от одного до трех

**** Прочность – растяжимость, оценивали в + от одного до трех

Эластичность особенно важна при манипуляциях с волосами, считается, что волос находится в хорошем состоянии, если он растягивается на 1/3 своей длины. Низкая эластичность сопряжена с высокой пористостью волоса и является признаком повреждения, такие волосы легко ломаются и рвутся. Прочность (растяжимость) – это способность волос выдерживать натяжение, а также воздействие теплом и химическими веществами, главным образом она зависит от состояния кортекса. Также волосы хорошо растягиваются, если они насыщены водой, что обусловлено пористостью волос. Волосы способны впитывать влагу благодаря кератину, который притягивает влагу из атмосферы. Волосы могут впитывать воду в количестве до 30% от собственного веса, что приводит к изменениям его длины, диаметра и формы. При впитывании влаги повышается количество воды до 9-10%, а сухие волосы содержат 4-5% влаги. Несмотря на то, что увлажненность играет важную роль для хорошего состояния волоса, в норме кутикула препятствует проникновению слишком большого

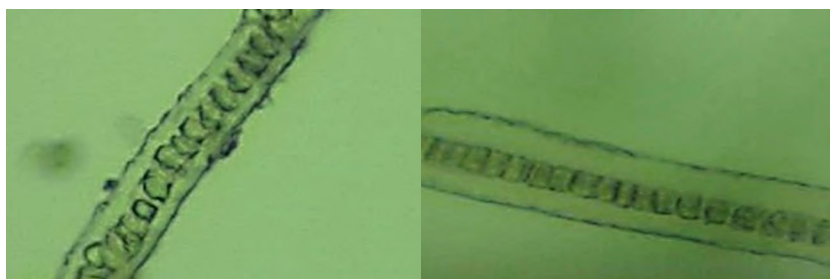
количества влаги, т.к. если у волос с высокой пористостью, чешуйки кутикулы открыты, они легко впитывают влагу. В этом случае вода проникает в стержни, и они набухают, а прочность таких волос уменьшается за счет потери из них белка. В результате они становятся сухими и ломкими, пропадает блеск. Текстура – это величина диаметра стержня волоса (толщина волоса), определяет густоту волос.



1.1. Структура волоса при применении ПСР через 21 день. Ув. x20.

1.2. Структура волоса через 21 день после применения ПСР. Ув. x80

Рис. 1. Остевой волос крысы из группы, получавшей ПСР (гистологическое исследование)



2.1. Структура волоса на 21 день у контрольного животного Ув. 40

2.2. Структура волоса на 21 день у животного после применения мелатонина Ув. 40

Рис. 2. Остевой волос крысы из контрольной группы (2.1) и группы, получавшей мелатонин (2.2) (гистологическое исследование)

При микроскопическом исследовании отмечали уплотнение сердцевины, коркового слоя, а также более плотное прилегание кутикулы к корковому веществу (рис.1.1., 1.2., 2.2.), в контрольных группах, шерсть была более тусклой, короткой, а при микроскопировании отмечали отслоение коркового слоя от кутикулы, мозговое вещество часто имело изломанную структуру (рис. 2.1.).

При оценке густоты волосяного покрова на шкурке, которую оценивали по числу первичных и вторичных фолликулов, и прямым подсчетом всех категорий волос на единице площади (1 см^2) образцов, взятых из межлопаточной области на 21-й день установлено, что в группе, получавшей ПСР количество фолликулов было в 1,8 раз больше, чем в группе с мелатонином и в 2,4 раза больше, чем в контроле.

При проведении морфометрических исследований структуры волоса, было отмечено, что через 21 день после введения ПСР кутикула волоса тоньше, чем в начале введения, ввиду того, что чешуйки стали более плотно прилегать друг к другу (рис.1.1,1.2., табл.2). Толщина мозгового слоя через 21 день после применения препарата увеличивалась как в зоне нанесения препарата, так и у волос ниже места выбривания по спинке животного, что, по всей видимости, объясняется общим действием препарата на организм животного ($P \leq 0,05$). (табл. 2).

Таблица 2.

Морфометрические показатели стержня волос после применения ПСР

n\п 5 (мкм) ув. 20	Структуры стержня волос мкм		
	Кутикула	Корковое вещество	Мозговое вещество
Волос со спинки животного	через 7 дней после введения препарата. Общая толщина волоса 82,25 мкм		
M+m	8.49±0.22	10.17±0.90	64.08±1.10
Волос с участка нанесения препарата	через 7 дней после введения препарата Общая толщина волоса 96,5 мкм		
M+m	6.57±0.80	8.85±0.77	81.90±1.05
Волос со спинки животного	через 14 дней после введения препарата Общая толщина волоса 96,22 мкм		
	4.70±0.41	10.62±0.69	79.17±2.53
Волос с участка нанесения препарата	через 14 дней после введения препарата Общая толщина волоса 107,92 мкм		
M+m	4.62±0.31	10.39±1.17	93.03±2.04
Волос со спинки животного	Через 21 день после введения препарат рядом с раной Общая толщина волоса 97,83 мкм		
M+m	5.26±0.25**	11.21±0.96**	81.42±1.15**
Волос с участка нанесения препарата	Через 21 день после введения препарата Общая толщина волоса 115,89 мкм		
M+m	5.56±0.24	12.11±1.08	98.90±2.57

Примечание: Средняя арифметическая (M); Средняя ошибка средней арифметической (m); $P \geq 0,005$ (достоверно)

Таким образом, можно отметить утолщение волос у лабораторных животных, получавших ПСР на всех участках спинки.

Обсуждение

Учитывая, что волос это производное кожи, его регенерация и рост зависят от состояния кожи. На состояние волосяного покрова, выпадение волос, ломкость, перхоть, шелушение кожи головы влияют как внешние, так и внутренние факторы: дефицит витаминов и микроэлементов. На основании проведенных макроанатомических и гистологических исследований выявлены значительные отличия в опытной и контрольной группах. Значительные изменения при действии ПСР отмечены в кутикуле волоса, которая во многом определяет качество волос. Известно, что ближе к волосяной луковице она представлена цилиндрическими клетками, лежащими перпендикулярно к поверхности коркового вещества. В более отдаленных от луковицы участках эти клетки приобретают наклонное положение и превращаются в роговые чешуйки, накладывающиеся друг на друга в виде черепицы. Эти чешуйки содержат твердый кератин, но полностью лишены пигмента. При применении ПСР они более плотно прилегают к кутикуле, а процессы восстановления и рост волос протекают с более высокой скоростью. Более выраженный регенеративный эффект отмечается в опытных группах, получавших мелатонин и ПСР, что подтверждается данными ряда исследователей. [3-7,10, 13, 14]. По всей видимости стимуляторы регенерации способны модулировать клеточные сигнальные пути, тем самым регулируя рост, дифференциацию и функционирование стволовых клеток, отвечающих за процессы роста волоса, а также фибробластов, кератиноцитов, макрофагов и эндотелия [26-28]. Введение стимуляторов регенерации позволяют не только ускорить рост волос, но и улучшить их качество поэтому поиск эффективных активаторов регенерации и разработки технологий введения требуют дальнейших исследований [6,9, 30].

Выводы

1. В ходе проведенных исследований установили, что выпаивание лабораторным животным мелатонина и ПСР параллельно с перкутанным нанесением данных препаратов, ежедневно в течение 21 дня улучшает структуру волоса, его качество и ускоряет рост.

2. Установили, что при введении мелатонина и ПСР время восстановления шерстного покрова достоверно уменьшается по сравнению с контрольной группой.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Источник финансирования научной работы и процесса публикации статьи – Университетский научный грант Кировского ГМУ, 2023.

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия: руководство. М.: Изд. «Медицина», 1990. 384 с.
2. Алешина Л.И., Маринина М.Г., Федосеева, С.Ю., Шульгин Е.А. Исследование морфофизиологических показателей кожных покровов лица женщин, проживающих в промышленном районе г. Волгограда // Грани познания: электронный научно-образовательный журнал ВГСПУ. 2015. № 8 (42). <http://grani.vspu.ru/files/publics/1449495249.pdf> (дата обращения: 28.12.2015).
3. Анисимов В.Н. Мелатонин – роль в организме, применение в клинике. СПб: Система, 2007. 40 с.
4. Василевич Ф.И., Сапожникова А.И., Окутин А.С., Гордиенко И.М., Ручкина З.С., Бордачёв В.Н. Повышение качества шкур коров при использовании продуктов вторичной переработки сырья животного происхождения // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 6. С. 1214-1225.
5. Владимиров Н.Ю., Владимиров Н.И. Некоторые показатели продуктивности норк разных пород при обработке мелалопом // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 9 (119). С. 86-89.
6. Жданова О.Б., Дунаева Е.Б., Бизяев П.Д., Вишняков А.В., Акаева Т.В. Изучение влияния препаратов-стимуляторов на регенерацию кожи при термической травме // Вятский медицинский вестник. 2023. № 2 (78). С. 69-74.
7. Жданова О.Б., Дунаева Е.Б., Часовских О.В., Окулова И.И., Березина Ю.А., Кошурникова М.А. Влияние препарата стимулятора регенерации на заживление ран и гематологические показатели у лабораторных животных // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2023. Т. 255. № 3. С. 152-155.
8. Канюков В. Н. Особенности регенерации роговицы при применении биопластического материала на основе гиалуроновой кислоты // Вестник Оренбургского государственного университета. 2012. №12(148). С. 76-79.
9. Козвонин В.А., Анисимов А.Н., Дунаева Е.Б., Сазанов А.В. Возможность применения соединений перфторуглеродов, гиалуроновой кислоты и коллоидного серебра в новых типах раневых покрытий. Экспериментальное исследование // Вятский медицинский вестник. 2022. №2. С. 67-74.
10. Кухтина М.В. Строение человеческих волос [Электронный ресурс]. <http://alopecya.ru/stroenie-chelovecheskix-volos.html> (дата обращения 05.10.2023).

11. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2006. № 1 (22). С. 30-39.
12. Написанова Л.А., Жданова О.Б., Окулова И.И., Ашихмин С.П., Березина Ю.А., Часовских О.В. Токсокароз пушных зверей и домашних плотоядных, гематологические показатели // Российский паразитологический журнал. 2016. № 2. С. 210-216.
13. Окулова И.И., Березина Ю.А., Бельтюкова З.Н., Домский И.А., Беспятых О.Ю. Иммуноморфологические показатели сыворотки крови у представителей семейства Canidae после имплантации мелакрила // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-11-25>
14. Тютюнник Н.Н., Кожевникова Л.К., Бадовская Л.А., Кондрашова М.Н., Мелдо Х.И., Узенбаева Л.Б., Илюха В.А., Унжаков А.Р., Латашко В.М., Найденов Ю.В., Музыченко Г.Ф. Средство для улучшения качества меха норок // Патент на изобретение RU 2007167 C1, 15.02.1994. Заявка № 5002757/15 от 10.09.1991.
15. Cash T.F. The psychological effects of androgenetic alopecia in men // J Am Acad Dermatol. 1992. Vol. 26(6). P. 926-931. [https://doi.org/10.1016/0190-9622\(92\)70134-2](https://doi.org/10.1016/0190-9622(92)70134-2)
16. Chen F.M., Liu X. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering // Progress in Polymer Science. 2016. Vol. 53. P. 86-168. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2015.02.004>
17. Loing E., Lachance R., Ollier V., Hocquaux M. A new strategy to modulate alopecia using a combination of two specific and unique ingredients // J Cosmet Sci. 2013. Vol. 64. P. 45-58.
18. McElwee K.J., Shapiro J.S. Promising therapies for treating and/or preventing androgenic alopecia // Skin Therapy Lett. 2012. Vol. 17. P. 1-4.
19. Manuela G. N., Radu M. N., Loida O-S., Gabriel C. Hyaluronic Acid and Wound Healing // J Pharm Pharm Sci. 2015. Vol. 18(1). P. 53-60. <https://doi.org/10.18433/J3K89D>
20. Martusevich A.K., Karuzin K.A., Zhdanova O.B. Immune and metabolic response to covid-19 infection: review for molecular pathways // International Journal of Biomedicine. 2020. Vol. 10. № 3. P. 177-181.
21. Hoffmann R., Happle R. Current understanding of androgenetic alopecia. Part I: Etiopathogenesis // Eur J Dermatol. 2000. Vol. 10. P. 319-327.
22. Sonthalia S., Sahaya K., Arora R., Singal A., Srivastava A. et al. Nocebo effect in Dermatology // Indian J Dermatol Venereol Leprol. 2015. Vol. 81. P. 242-250.

23. Ramos P.M., Miot H.A. Female Pattern Hair Loss: a clinical and pathophysiological review // *An Bras Dermatol.* 2015. Vol. 90. P. 529-543.
24. Reindl-Kiel H. Status, honor and luxuries: some remarks on material exchange between Russia and the ottoman empire // *Historical Reporter.* 2019. Vol. 30. P. 80-111.
25. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice // *International Journal of High Dilution Research.* 2018. Vol. 17. № 2. P. 17-18.
26. Trüeb R.M. Oxidative stress in Ageing of Hair // *Int J Trichol.* 2009. Vol. 9. P. 6-14.
27. Wiegand C., Abel M., Hippler U.C., Elsner P. Effect of non-adhering dressings on promotion of fibroblast proliferation and wound healing in vitro // *Scientific Reports.* 2019. Vol. 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-019-40921-Y>
28. Zhao R., Liang H., Clarke E., Jackson C., Xue M. Inflammation in Chronic Wounds // *International Journal of Molecular Sciences.* 2016. Vol. 17(12). <https://doi.org/10.3390/IJMS17122085>
29. Zhdanova O., Rassochin D., Okulova I., Chasovskikh O. Biological activity of melatonin and some unexpected effects of dynamization // *International Journal of High Dilution Research.* 2016. Vol. 15. № 4. P. 55-56.
30. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice // *International Journal of High Dilution Research.* 2019. Vol. 18. № 2. P. 12.
31. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects // *J Am Coll Dent.* 2014. Vol. 81(3). P. 14-18.

References

1. Avtandilov G.G. *Medical morphometry: manual.* Moscow: Medicine Publ., 1990, 384 p.
2. Alyoshina L.I., Marinina M.G., Fedoseeva, S.Y., Shulgin E.A. Study of morphophysiological indicators of facial skin of women living in the industrial area of Volgograd. *Edge of knowledge: electronic scientific and educational journal V/GSPU*, 2015, no. 8 (42). <http://grani.vspu.ru/files/publics/1449495249.pdf>
3. Anisimov V.N. *Melatonin - role in the body, use in the clinic.* SPb: Sistema, 2007, 40 p.
4. Vasilevich F.I., Sapozhnikova A.I., Okutin A.S., Gordienko I.M., Ruchkina Z.S., Bordachev V.N. Improving the quality of polecat pelts when using products of secondary processing of raw materials of animal origin. *Agricultural Biology*, 2017, vol. 52, no. 6, pp. 1214-1225.

5. Vladimirova N.Yu., Vladimirov N.I. Some indicators of productivity of minks of different breeds at melapol treatment. *Bulletin of Altai State Agrarian University*, 2014, no. 9 (119), pp. 86-89.
6. Zhdanova O.B., Dunayeva E.B., Bizyaev P.D., Vishnyakov A.V., Akayeva T.V. Study of the effect of stimulant drugs on skin regeneration in thermal injury. *Vyatka Medical Bulletin*, 2023, no. 2 (78), pp. 69-74.
7. Zhdanova O.B., Dunayeva E.B., Chasovskikh O.V., Okulova I.I., Berezina Yu.A., Koshurnikova M.A. Effect of the preparation of regeneration stimulator on wound healing and hematological parameters in laboratory animals. *Scientific Notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 2023, vol. 255, no. 3, pp. 152-155.
8. Kanyukov V. N. Features of corneal regeneration in the application of bioplastic material based on hyaluronic acid. *Bulletin of Orenburg State University*, 2012, no. 12(148), pp. 76-79.
9. Kozvonin V.A., Anisimov A.N., Dunayeva E.B., Sazanov A.V. Possibility of application of perfluorocarbons, hyaluronic acid and colloidal silver compounds in new types of wound coatings. Experimental study. *Vyatka Medical Bulletin*, 2022, no. 2, pp. 67-74.
10. Kukhtina M.V. The structure of human hair. <http://alopecya.ru/stroenie-chelovecheskix-voles.html>
11. Martusevich A.K., Zhdanova O.B. Informativeness of the study of free crystal formation in zoonosis on the model of laboratory animals. *News of higher educational institutions. Volga region*, 2006, no. 1 (22), pp. 30-39.
12. Nicanova L.A., Zhdanova O.B., Okulova I.I., Ashikhmin S.P., Berezina S.A., Chasovskikh O.V. Toxocarosis of fur-bearing animals and domestic carnivores, hematologic indicators. *Russian Journal of Parasitology*, 2016, no. 2, pp. 210-216.
13. Okulova I.I., Berezina Yu.A., Beltyukova Z.N., Domskey I.A., Bespyatykh O.Yu. Immunomorphologic parameters of blood serum in representatives of the family Canidae after implantation of melacryl. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-11-25>
14. Tyutyunnik N.N., Kozhevnikova L.K., Badovskaya L.A., Kondrashova M.N., Meldo H.I., Uzenbaeva L.B., Ilyukha V.A., Unzhakov A.R., Latashko V.M., Naidenov Y.V., Muzychenko G.F. Means to improve the quality of mink fur. Patent for invention RU 2007167 C1, 15.02.1994. Application No. 5002757/15 of 10.09.1991.
15. Cash T.F. The psychological effects of androgenetic alopecia in men. *J Am Acad Dermatol.*, 1992, vol. 26(6), pp. 926-931. [https://doi.org/10.1016/0190-9622\(92\)70134-2](https://doi.org/10.1016/0190-9622(92)70134-2)

16. Chen F.M., Liu X. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering. *Progress in Polymer Science*, 2016, vol. 53, pp. 86-168. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2015.02.004>
17. Loing E., Lachance R., Ollier V., Hocquaux M. A new strategy to modulate alopecia using a combination of two specific and unique ingredients. *J Cosmet Sci.*, 2013, vol. 64, pp. 45-58.
18. McElwee K.J., Shapiro J.S. Promising therapies for treating and/or preventing androgenic alopecia. *Skin Therapy Lett.*, 2012, vol. 17, pp. 1-4.
19. Manuela G. N., Radu M. N., Loida O-S., Gabriel C. Hyaluronic Acid and Wound Healing. *J Pharm Pharm Sci.*, 2015, vol. 18(1), pp. 53-60. <https://doi.org/10.18433/J3K89D>
20. Martusevich A.K., Karuzin K.A., Zhdanova O.B. Immune and metabolic response to covid-19 infection: review for molecular pathways. *International Journal of Biomedicine*, 2020, vol. 10, no. 3, pp. 177-181.
21. Hoffmann R., Happle R. Current understanding of androgenetic alopecia. Part I: Etiopathogenesis. *Eur J Dermatol.*, 2000, vol. 10, pp. 319–327.
22. Sonthalia S., Sahaya K., Arora R., Singal A., Srivastava A. et al. Nocebo effect in Dermatology. *Indian J Dermatol Venereol Leprol.*, 2015, vol. 81, pp. 242-250.
23. Ramos P.M., Miot H.A. Female Pattern Hair Loss: a clinical and pathophysiological review. *An Bras Dermatol.*, 2015, vol. 90, pp. 529-543.
24. Reindl-Kiel H. Status, honor and luxuries: some remarks on material exchange between Russia and the ottoman empire. *Historical Reporter*, 2019, vol. 30, pp. 80-111.
25. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 17-18.
26. Trüeb R.M. Oxidative stress in Ageing of Hair. *Int J Trichol.*, 2009, vol. 9, pp. 6-14.
27. Wiegand C., Abel M., Hipler U.C., Elsner P. Effect of non-adhering dressings on promotion of fibroblast proliferation and wound healing in vitro. *Scientific Reports*, 2019, vol. 9(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-019-40921-Y>
28. Zhao R., Liang H., Clarke E., Jackson C., Xue M. Inflammation in Chronic Wounds. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, vol. 17(12). <https://doi.org/10.3390/IJMS17122085>
29. Zhdanova O., Rassochin D., Okulova I., Chasovskich O. Biological activity of melatonin and some unexpected effects of dynamization. *International Journal of High Dilution Research*, 2016, vol. 15, no. 4, pp. 55-56.
30. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2019, vol. 18, no. 2, p. 12.

31. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *J Am Coll Dent.*, 2014, vol. 81(3), pp. 14-18.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Жданова Ольга Борисовна, д.б.н., заведующая лабораторией фармакологической биоэнергетики и мембранологии; профессор кафедры зоогигиены и физиологии; с.н.с. лаборатории паразитарных зоонозов *ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России*; *ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ*; *ВНИИП - филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН*
ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация; Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация; ул. Б.Черемушкинская, 28, г. Москва, 117218, Российская Федерация
oliabio@yandex.ru

Окулова Ираида Ивановна, к.в.н., доцент, кафедры гистологии; с.н.с. лаборатории ветеринарии
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России; *ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б.М. Житкова*
ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация; ул. Преображенская, 79, г. Киров, 610000, Российская Федерация
okulova_i@mail.ru

Дунаева Елена Борисовна, к.б.н., заведующая медико-биологическим центром
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России
ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация
niokgma@yandex.ru

Часовских Ольга Владимировна, к.в.н., доцент, кафедры гистологии; зав. кафедрой зоогигиены и физиологии
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России; *ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ*

ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация; Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
beoli@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga B. Zhdanova, Doctor of Biology, Head of the Laboratory of Pharmacological Bioenergetics and Membranology; Professor of the Department of Zoo Hygiene and Physiology; Senior Researcher of the Laboratory of Parasitic Zoonoses

Kirov State Medical University; Vyatka State Agrotechnological University; All-Russian Research Institute of Fundamental and Applied Animal and Plant Parasitology - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center - All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Science named after K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences"

113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation; 133, Oktyabrsky prospect, Kirov, 610017, Russian Federation; 28, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation
oliabio@yandex.ru

Iraida I. Okulova, Ph.D., Associate Professor, Department of Histology; Senior Researcher of the Laboratory of Veterinary Medicine

Kirov State Medical University; All-Russian Research Institute of Hunting and Animal Breeding named after Prof. B.M. Zhitkov

113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation; 79, Preobrazhenskaya Str., Kirov, 610000, Russian Federation
okulova_i@mail.ru

Elena B. Dunaeva, Ph.D., Head of the Medical and Biological Center

Kirov State Medical University

113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation
iokgma@yandex.ru

Olga V. Chasovskikh, Ph.D., Associate Professor, Department of Histology; Head of the Department of Zoohygiene and Physiology

Kirov State Medical University; Vyatka State Agrotechnological University
113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation; 133, Oktyabrsky prospect, Kirov, 610017, Russian Federation
beoli@mail.ru

Поступила 13.11.2023

После рецензирования 25.03.2024

Принята 01.04.2024

Received 13.11.2023

Revised 25.03.2024

Accepted 01.04.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1236

УДК 636.939:591.169.1



Научная статья

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИЧИНОК В МЫШЦАХ И НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ *GALLUS GALLUS* ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЗАРАЖЕНИИ *TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS*

О.Б. Жданова, О.В. Часовских

Обоснование. Мясо птицы основного хозяина бескапсульного вида является наиболее популярным у населения. Потребитель охотно приобретает как мясо цыплят, кур-несушек, уток, индюков и гусей, так и боровой дичи. Однако, до настоящего времени нет определенных указаний на процедуру диагностики мяса птицы на трихинеллез. В связи с чем, научной новизной данного исследования стало уточнение групп поражаемых мышц при экспериментальной инвазии *Gallus gallus*, так как основной опасностью для людей является отсутствие характерных клинических признаков трихинеллеза у птиц.

Цель исследования – изучить распределение личинок в мышцах и некоторые показатели периферической крови кур-несушек при экспериментальном заражении *Trichinella pseudospiralis*.

Материалы и методы. Птиц опытной группы взвешивали и внутрь зоба вводили изолят личинок *T. pseudospiralis* в дозе 2 лич./г массы тела (3600 ± 400 тыс. личинок на птицу). Личинки *T. pseudospiralis*, используемые для экспериментального заражения птицы, первоначально выделены из мышечной ткани птицы, и поддерживались на лабораторных животных. С целью определения распределения личинок в мышцах птицы *T. pseudospiralis* через 3,5–4 мес. после экспериментального заражения 12 курей опытной группы подвергли эвтаназии. Птиц из эксперимента выводили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Объекты исследования микроскопировались при увеличении $\times 20$ и $\times 80$, с изготовлением фотографий (Vision Bio, 2014г.). Полученные данные обрабатывали с использованием стандартных пакетов программ MS Excel и Statgraphics.

Результаты исследований. Средняя интенсивность инвазии составила 1570 ± 340 лич./г мышц от проб мышц исследуемых групп. Показатели крови на протяжении 30 недель изменялись незначительно, находились на нижней границе физиологической нормы. При исследовании компрессионной трихинеллоскопией 72 срезов обнаружено, что наибольшее количество личинок обнаружено в мышцах головы и языка, меньшее в мышцах шеи и голени, в мышцах груди личинок при данном заражении не обнаружили.

Заключение. В заключение необходимо отметить, что в настоящее время в агропромышленном комплексе должен быть стандартизирован трихинеллоскопический контроль. Необходимо исследовать мышцы головы и шеи птиц, которые в наших исследованиях оказались наиболее сильно инвазированы трихинеллами и обращать особое внимание на края срезов проб.

Ключевые слова: *T. pseudospiralis*; *Gallus gallus*; морфология; личинка; трихинелла; гематология; эритроциты; лейкоциты

Для цитирования. Жданова О.Б., Часовских О.В. Изучение распределения личинок в мышцах и некоторые показатели периферической крови *Gallus gallus* при экспериментальном заражении *Trichinella pseudospiralis* // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 63-81. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1236

Original article

STUDY OF THE DISTRIBUTION OF LARVAE IN MUSCLES AND SOME PERIPHERAL BLOOD PARAMETERS OF *GALLUS GALLUS* IN EXPERIMENTAL INFECTION WITH *TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS*

O.B. Zhdanova, O.V. Chasovskikh

Background. Poultry meat, the main host of the capsule-free species, is the most popular among the population. The consumer willingly buys both meat of chickens, laying hens, ducks, turkeys and geese, and hog game. However, to date there are no specific indications for the procedure for diagnosing poultry meat for trichinosis.

In this regard, the scientific novelty of this study was the clarification of the groups of affected muscles during the experimental invasion of *Gallus gallus*,

since the main danger to humans is the absence of characteristic clinical signs of trichinosis in birds.

The aim of the study was to study the distribution of larvae in the muscles and some indicators of peripheral blood of birds during experimental infection with *Trichinella pseudospiralis*.

Materials and methods. The birds of the experimental group were weighed and *T. pseudospiralis* larvae isolate was injected into the tooth at a dose of 2 lich./g of body weight (3600 ± 400 larvae per bird). *T. pseudospiralis* larvae used for experimental infection of poultry were originally isolated from the muscle tissue of poultry, and were maintained on laboratory animals. In order to determine the distribution of larvae in the muscles of *T. pseudospiralis* poultry, 6 chickens of the experimental group were euthanized 3,5-4 months after experimental infection. The birds were removed from the experiment in accordance with the "Rules for carrying out work using experimental animals" and in accordance with the principles of the Helsinki Declaration of the World Medical Association (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). The objects of the study were microscopized at magnification $\times 20$ and $\times 80$, with the production of photographs (Vision Bio, 2014). The data obtained were processed using standard MS Excel and Statgraphics software packages.

Research results. The average of the intensity of the invasion was 1570 ± 340 l/g of muscles from muscle samples of the studied groups. The indicators of red blood for 30 weeks changed slightly were at the lower limit of the physiological norm. During the study of compression trichinelloscopy of 72 sections, it was found that the largest numbers of larvae were found in the muscles of the head and tongue, less in the muscles of the neck and lower leg, no larvae were found in the chest muscles during this infection.

Conclusion. In conclusion, it should be noted that currently trichinelloscopic control should be standardized in the agro-industrial complex. It is necessary to examine the muscles of the head and neck of birds, which in our studies were most heavily invaded by trichinella, and pay special attention to the edges of the sample sections.

Keywords: *T. pseudospiralis*; *Gallus gallus*; morphology; larva; trichinella; hematology; erythrocytes; leukocytes

For citation. Zhdanova O.B., Chasovskikh O.V. Study of the Distribution of Larvae in Muscles and Some Peripheral Blood Parameters of *Gallus gallus* in Experimental Infection with *Trichinella pseudospiralis*. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 63-81. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1236

Введение

Трихинеллез – опасное зоонозное заболевание. В настоящее время возбудитель выявлен у самых разных животных: у большинства видов млекопитающих, птиц и пресмыкающихся на всех континентах. Личинки трихинелл впервые обнаружил Дж. Педжет, а описал Оуэн (Owen, 1835). В настоящее время принято несколько систематик нематод рода трихинелла. На наш взгляд наиболее точной является следующая: Nematoda Rudolphi, 1808; подкласс Aphasmidia Chitwood et Chitwood, 1933; отряд Trichocephalida Skrjabin et Schulz, 1928; подотряд Trichocephalata Skrjabin et Schulz, 1928; надсемейство Trichinnellidae Ward, 1907; род Trichinella Railliet, 1895 и Bessonoviella Garkavi, 1994; виды *Trichinella spiralis* (*spiralis*) Owen, 1835, *Trichinella spiralis* (*nativa*) (образующие капсулы) и *Trichinella pseudospiralis* Garkavi, 1972, (бескапсульные). О паразитировании трихинелл у разных видов млекопитающих животных неоднократно сообщалось отечественными и зарубежными исследователями на протяжении XVIII, XIX, XX столетий, впоследствии появились сообщения о инвазии трихинеллами птиц. У птиц и пресмыкающихся паразитируют бескапсульные виды (*T.pseudospiralis*, *T. zimbabweensis* и др.), которые способны совершать полный биологический цикл развития в организме птиц. Б.Л. Гаркави, исследуя мышцы енота полосуна (*Procyon lotor*) из Дагестана, обнаружил в мышцах личинки трихинеллы без капсул. Благодаря дальнейшим и исследованиям Б.Л. Гаркави (1972-2002), А.С. Бессонова (1985, 2000), А.Я. Ярошенко (1985, 2000), были зарегистрированы многочисленные случаи паразитирования бескапсульных трихинелл у ряда синантропных и диких видов животных. Также распространению, диагностике, лечению и экспериментальному воспроизведению данной инвазии посвящены многочисленные публикации А.Я. Сапунова (1982, 1996-2000); Н.Н. Озерецковской (1967, 1969, 2000); и др. [5-7; 10; 21-28].

После открытия возбудителя *T. pseudospiralis* Б.Л. Гаркави (1972), трихинеллез вызванный личинками этого вида неоднократно воспроизводили экспериментально на различных моделях, таких как инвазия *T. pseudospiralis* птиц (использовались сем. Куриные, Перепелиные и др.), а также этими же личинками заражали лабораторных животных (различные виды грызунов и морские свинки) [2-5; 12-20; 26-30]. Наиболее важный из описанных эксперимент заключался в том, что одни и те же виды лабораторных животных были инвазированы личинками трихинелл, полученными от домашней свиньи. Все зрелые личинки, находящиеся в мышечной ткани в результате заражения животных видом трихинелл, полученными

от домашней свиньи (капсульным), имели капсулу и были свернуты в тугую спираль.

Затем эти же виды лабораторных животных заражали личинками *T. pseudospiralis*, полученными от енота полоскуна, гельминты в мышцах имели ряд отличий: они были плотно свернутые вдоль мышечного волокна, образуя эллипс, а главным отличием было то, что у 100 процентов личинок не было обнаружено капсул в отличие от трихинелл классического капсулообразующего вида. И, таким образом, было предложено считать их новым видом и, учитывая отсутствие капсул, этот вид был назван *T. pseudospiralis* [7]. Несмотря на то, что упомянутые виды морфологически схожи, *T. pseudospiralis* отличается несколько меньшими размерами, а самым главным доказательством различия этих видов является полное отсутствие способности к размножению при их скрещивании. Далее, с помощью ПЦР также был идентифицирован набор других различных признаков для анализа генетической взаимосвязи между ними. Помимо вида описанного Гаркави Б.Л. *T. pseudospiralis*, имеются и другие варианты бескапсульных трихинелл [8; 28-30]. Учитывая вышесказанное, мониторинг распространения *T. pseudospiralis* в РФ крайне актуален. Также следует учитывать, что в настоящее время мясо птицы - основного хозяина бескапсульного вида, является наиболее популярным у населения. Потребители охотно приобретают как мясо цыплят, кур-несушек, уток, индюков и гусей, так и боровой дичи. Однако, на сегодняшний день нет конкретных указаний на процедуру диагностики мяса птицы на трихинеллез. Главной опасностью для человека является отсутствие характерных клинических признаков болезни у птиц. Окончательно не разработаны все этапы прижизненной и послеубойной диагностики, и, соответственно, не отражены в нормативных документах по исследованию мяса домашних кур с целью исключения возбудителя трихинеллеза, особенно в неблагополучных районах, где имеются заболевания диких животных и/или диагностируется трихинеллез среди поголовья домашних животных и птиц. В результате появляются случаи инвазии данным возбудителем человека, например, в 2003 году в Алтайском крае впервые был установлен трихинеллез человека, причиной которого стало употребление в пищу мяса домашних кур с последующим выделением личинок трихинелл [12; 13]. Учитывая цикл развития и особенности трофических связей в биоценозах, в районах, где зафиксировано присутствие трихинелл в естественном ареале необходимо уделять пристальное внимание к трихинеллоскопии мяса диких птиц и продуктов охоты. Также нуждается в регулировании алгоритм исследо-

вания продуктов убоя домашней птицы. При установлении факта заражения сельскохозяйственной птицы личинками трихинелл бескапсульного вида необходимо проводить детальное изучение источников инвазии и ее распространения [12; 13]. Исследования продуктов убоя сельскохозяйственных животных и диких плотоядных животных выявили достаточно широкое распространение *T. pseudospiralis*, однако до сих пор не имеется четких указаний о том какие мышцы, и в каком количестве следует исследовать при диагностике трихинеллеза у животных и домашней птицы [2-13]. В настоящее время в научной литературе не имеется полного совпадения точек зрения по локализации личинок в мышечной ткани птиц, хотя большинство авторов считает мышцы головы наиболее предпочтительными для исследования на трихинеллез у цыплят и кур-несушек.

Учитывая цикл развития и биоценоз паразита в районах, где регистрируется наличие трихинелл в природном ареале, и продуктах охотничьего промысла, подверженных инвазированию трихинеллами, при наличии неблагополучных пунктов по трихинеллезу свиней, пушных зверей или боровой дичи необходимо проводить трихинеллоскопию 72 и более срезов у птиц [10; 12; 13; 21]. Исследование продуктов убоя птицы, полученных в домашних условиях при наличии случаев заражения в данных районах, также должно быть регламентировано. Однако, в настоящее время нет полного совпадения мнений в научной литературе по вопросу о локализации личинок в мышечной ткани птиц. Некоторые авторы считают предпочтительными для исследования на трихинеллез у кур мышцы головы и шеи. [3; 8; 12], а другие исследователи отмечают большую интенсивность поражения мышц конечностей [28-31]. В этой связи была предпринята попытка изучения селективного распределения личинок при экспериментальном заражении птицы *T. pseudospiralis* и оценка гематологических показателей.

Цель исследований – изучить распределение личинок в мышцах и некоторые показатели периферической крови птиц при экспериментальном заражении *T. pseudospiralis*. Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи: изучение особенностей паразитирования Дальневосточного изолята возбудителя (*T. pseudospiralis*) на экспериментальной модели, инвазирование кур-несушек, подобранных по методу аналогов, взятие и исследование крови и постмортальное исследование различных групп мышц. Исследования проводили по следующей схеме: у куриц из каждой группы (24 головы), брали кровь в динамике, были выполнены гематологические анализы по общепринятой схеме, далее, после выведения из эксперимента, у птиц изучали распределение личинок в мышцах.

Материалы и методы исследования

Эксперименты по заражению кур-несушек проводились в виварии ВНИИП-филиал ВИЭВ (Курилово). Всего было отобрано 24 головы по методу аналогов. При проведении всех доклинических исследований руководствовались правилами и рекомендациями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых при экспериментальных исследованиях (1997 г.). Птица содержалась в стандартных условиях (при температуре воздуха +20°C, влажности 60%), с дачей стандартизированного рациона.

Предварительно проводили взвешивание кур-несушек для расчета дозы личинок Дальневосточного изолята *T. pseudospiralis* заражения (2 лич./г массы тела), затем внутрь зоба вводили 3500±400 тыс. личинок на каждую птицу. Все личинки *T. pseudospiralis*, используемые для экспериментального заражения птицы, первоначально выделены из мышечной ткани млекопитающих в дикой природе и поддерживались на лабораторных животных и птицах (на видах *Coturnix coturnix* и *Gallus gallus domesticus*). Для изучения распределения личинок *T. pseudospiralis* в различных мышцах, кур-несушек (12 голов) из опытной группы подвергли эвтаназии через 3,5-6 мес. после экспериментального заражения. Определяли интенсивность инвазии (ИИ), для этого подсчитывали количество личинок в срезе и параллельно проводили исследование методом пептолиза, или перевариванием в искусственном желудочном соке (ИЖС) по методу П. А. Владимировой (1964). Пептолиз проводили при 37°, ИЖС готовили по стандартизированной методике [4]. Затем, после переваривания мышечной ткани головы шейного отдела выделяли личинок трихинелл и проводили их перерасчет на 1 грамм мышечной ткани для каждой курицы отдельно и определяли среднее значение по группе зараженных кур-несушек. Для изучения изменений в составе крови из вены Saphena брали пробы крови в вакуумные пробирки с ЭДТА с добавлением кристалла цитрата натрия. Вакуумные пробирки с K2 ЭДТА содержат два калиевых иона и они повсеместно применяется для сбора крови для гематологических исследований и изучения морфологического состава крови.

Из эксперимента птиц выводили в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» и с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board). Затем, методом переваривания в ИЖС по методу П. А. Владимировой (1964), описанным выше, из мышечной ткани головы, туловища,

шейного отдела и конечностей выделяли личинок трихинелл [4]. Определяли интенсивность инвазии (ИИ, лич./г) индивидуально и среднюю по группе. Пробы крови брали из вены Saphena в вакуумные пробирки с ЭДТА через 15 и 20, 25 и 30 недель после заражения. Общепринятыми лабораторными методами определяли основные гематологические показатели (количество эритроцитов, лейкоцитов и концентрацию гемоглобина). Для подсчета лейкограммы использовали мазки крови, окрашенные по Романовскому-Гимза [1; 8; 31].

Для трихинеллоскопии и последующего приготовления гистологических препаратов брали фрагменты мышц из разных групп (мышцы головы, языка, груди, шеи, конечностей и длиннейшей мышцы спины).

При оценке однородности групп и достоверности различий средних показателей между группами использовали непараметрический U-тест Манна-Уитни (Sokal, Rohlf, 1981). Уровень статистической значимости полученных различий между сравниваемыми выборками принимали при $p < 0.05$. Фотографии и морфометрические исследования проводили на световом микроскопе VisionBio (Epi) с автоматическим выходом на экран (при увеличении микроскопа $\times 40$, $\times 80$).

Результаты исследований

Все птицы, участвующие в эксперименте, хорошо перенесли процедуру инвазирования и сразу после манипуляции были рассажены по клеткам.

Учитывая, что основными методами посмертной и послеубойной диагностики являются компрессорная трихинеллоскопия (КТ) и переваривание проб мышц в искусственном желудочном соке, крайне важно установить наиболее поражаемые мышцы для оптимизации трихинеллоскопического контроля.

При исследовании КТ обнаружено, что личинки располагаются крайне неоднородно как в самом симпласте, так и в различных группах исследуемых мышц. Наибольшее количество личинок обнаружено в мышцах головы и языка, меньшее в мышцах шеи и голени, в мышцах груди личинок при данном заражении не обнаружили (табл. 1).

Сложность диагностики данного заболевания у птиц методом компрессорной трихинеллоскопии связана с тем, что *T. pseudospiralis* не образуют соединительнотканную капсулу, и личинки могут располагаться вдоль волокон, не скручиваясь в спираль, кроме того, они меньше личинок *T. spiralis*.

Таблица 1.

Распределение личинок *Trichinella pseudospiralis* в мышцах кур-несушек

Группа мышц	Среднее количество личинок в срезе
Мышцы головы:	
Язык	3,7±0,5
Жевательные	5,2±0,3
Мышцы шеи	2,2±0,3
Мышцы груди	0
Мышцы передней конечности:	0,5±0,25
Проксимальная группа мышц	1,1±0,5
Дистальная группа мышц	0,5±0,25
Диафрагма (ножки)	1,5±0,3
Межреберные	0,5±0,4
Поясничные	0,5±0,25

Также следует учитывать подвижность бескапсульных личинок в мышечной ткани. Личинки способны передвигаться, поэтому при компрессионном исследовании необходимо наибольшее внимание следует уделять краям срезов и тщательно исследовать межтканевую жидкость, где нередко можно обнаружить подвижных личинок [2; 8].



1.1. Личинка *T. pseudospiralis*
Увеличение x 40



1.2. Личинка *T. pseudospiralis*
Увеличение x 80

Рис. 1. *Trichinella pseudospiralis* в мышцах экспериментально инвазированных кур-несушек, образующие спираль (увеличение x 80)

Из-за отсутствия капсул и развернутого положения личинок вдоль симпластов их визуализируемость затруднена (рис. 1 и 2).



Рис. 2. *Trichinella pseudospiralis* в мышцах экспериментально инвазированных кур-несушек, расположенная вдоль симпластов (увеличение $\times 80$)

Средняя ИИ составила 1570 ± 340 лич./г мышц от проб мышц исследуемых групп, исключая мышцы груди. Показатели красной крови на протяжении 30 недель изменялись незначительно, находясь на нижней границе физиологической нормы [3; 6-8; 24].

Среднее число эритроцитов у инвазированных кур-несушек на 15-й неделе составило $3,34 \pm 0,50 \times 10^{12}/л$, на 20-й неделе $3,4 \pm 0,32 \times 10^{12}/л$, на 25-й и 30-й неделях, $3,4 \pm 0,5 \times 10^{12}/л$ и $3,45 \pm 0,5 \times 10^{12}/л$, соответственно. У контрольных птиц в эти же сроки показатели были: $3,50 \pm 0,25 \times 10^{12}/л$, $3,45 \pm 0,35 \times 10^{12}/л$, $3,50 \pm 0,15 \times 10^{12}/л$, и $3,50 \pm 0,25 \times 10^{12}/л$ (рис. 3).

Концентрация гемоглобина у инвазированных птиц на 15-й неделе составила $75,71 \pm 3,4$ г/л, на 20-й - $76,51 \pm 5,1$ г/л, и далее $77,25 \pm 1,50$ г/л и $77,4 \pm 3,50$ г/л соответственно, в контрольной группе наблюдали незначительные колебания от $76,9 \pm 2,10$ г/л до $77,40 \pm 2,50$ г/л во все вышеуказанные дни эксперимента.

Число лейкоцитов в крови кур, инвазированных *T. pseudospiralis*, было выше, чем в контроле. На 15-й неделе оно составило $27,14 \pm 9,53 \times 10^9/л$, а на 20-й неделе снизилось до $24,45 \pm 1,72 \times 10^9/л$, на 25-й неделе продолжалось снижение до $22,52 \pm 5,35 \times 10^9/л$, на 30-й до $20,34 \pm 7,31 \times 10^9/л$.

В контрольной группе данные показатели изменялись незначительно: на 15-й неделе $19,73 \pm 5,61 \times 10^9/\text{л}$, на 20-й неделе $20,20 \pm 2,45 \times 10^9/\text{л}$, на 25-й $19,95 \pm 3,61 \times 10^9/\text{л}$, на 30 – й неделе $20,10 \pm 1,40 \times 10^9/\text{л}$. Таким образом, число лейкоцитов у птиц опытной группы оставалось до 25-й недели выше пороговых значений нормы и показателей у птиц контрольной группы, что свидетельствует о межклеточных перестройках в системе крови кур инвазированных трихинеллами, обусловленных длительным контактом с антигенами бескапсульного паразита (рис. 4).

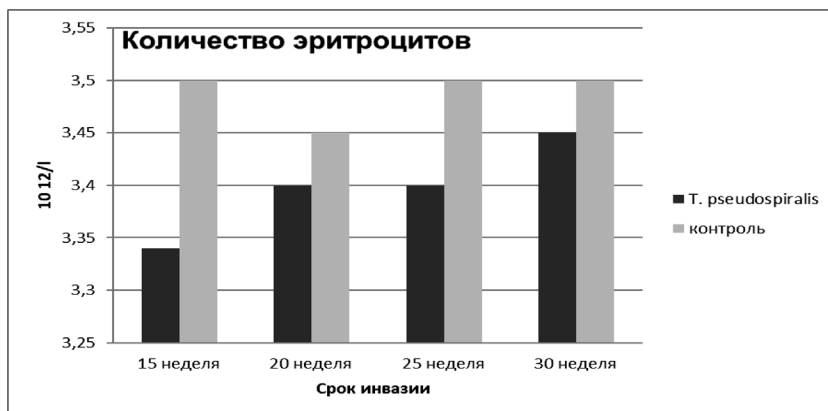


Рис. 3. Изменение количества эритроцитов у кур-несушек при мышечной фазе инвазии *T. pseudospiralis*

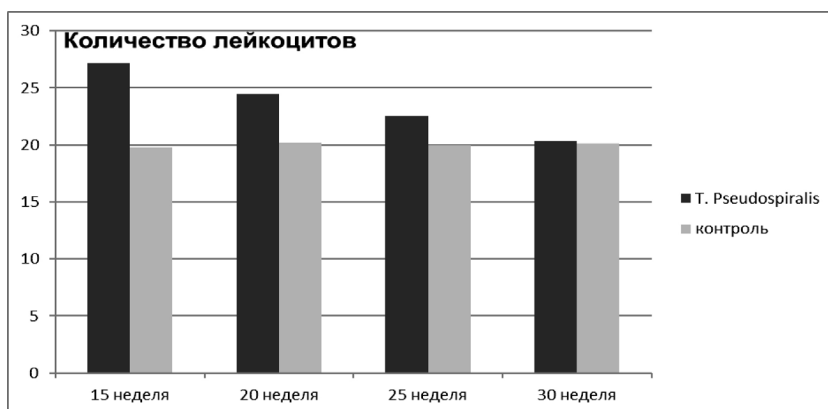


Рис. 4. Изменение количества лейкоцитов у кур-несушек при мышечной фазе инвазии *T. pseudospiralis*

Лейкоформула у птиц опытной и контрольной групп соответствовала норме, за исключением эозинофилов (псевдоэозинофилов) на 15-й неделе их количество достигало $10 \pm 0,40\%$, а на 20-й неделе снизилось до $9,50 \pm 0,45\%$ от общего числа лейкоцитов, на 25-й неделе продолжало снижаться ($9,3 \pm 0,40\%$), и на 30-й составило $7,9 \pm 0,45\%$, т.е. соответствовало верхней границе физиологической нормы (6–10%). У птиц контрольной группы на протяжении эксперимента значения не выходили за границы физиологической нормы ($6,2 \pm 0,50\%$, $7,4 \pm 0,45\%$, $7,0 \pm 0,35\%$ и $6,9 \pm 0,15\%$, соответственно).

Обсуждение

При диагностике данного заболевания у птиц методом компрессорной трихинеллоскопии (КТ) необходимо учитывать, что наиболее интенсивно заселены мышцы головы и шеи. Учитывая то, что личинки *T. pseudospiralis* не образуют соединительнотканную капсулу, и могут располагаться вдоль волокон (рис. 1,2), не скручиваясь в спираль, кроме того, они на 30% короче, чем *T. spiralis* (рис. 1, 2) при небольшом количестве личинок и недостаточной подготовке персонала, диагноз может быть не установлен, а инвазированное мясо может попасть в продуктовую сеть. Кроме того, учитывая более высокую подвижность бескапсульных личинок в мышечной ткани, при компрессорном исследовании необходимо наибольшее внимание уделять мышцам головы и шеи, особенно тщательно исследовать края срезов и межтканевую жидкость возле них, а также совмещать КТ с другими методами исследования [6-8; 14-16; 23-25; 30].

При анализе динамики изменения соотношения эозинофилов к общему числу лейкоцитов нами зафиксировано их стабильное присутствие в лейкограмме. Однако, все гематологические показатели незначительно отличаются от физиологической нормы и не могут служить маркерами инвазионного процесса. Поэтому трихинеллоскопия должна быть преимущественным методом диагностики. Помимо мяса птицы также необходим трихинеллоскопический контроль туш и мясoproductов, осуществляемый на всех уровнях производства мясной продукции, являющийся важным инструментом мониторинга за эпизоотической и эпидемической ситуацией по данному гельминтозу, который должен учитывать вышеуказанные морфологические особенности *T. pseudospiralis*. КТ становится главным инструментом защиты человека и животных от этой инвазии. Однако необходимо владеть техникой исследований при определении бескапсульных видов в КТ, так как трихинеллы данного вида визуализируются слабо, поэтому важно дополнять данные исследования методом пептолиза (метода переваривания в искусственном желудочном соке).

Имеются случаи, когда при исследовании в компрессориуме *T. pseudospiralis* не визуализировались, однако диагноз подтверждался при использовании пептолиза. Таким образом, при массовых исследованиях птицы на трихинеллез, классическими методами можно выявить особенности распространения трихинеллеза в РФ и уточнить циркуляцию *T. pseudospiralis*, также перспективными могут быть кристаллографические и иммунологические исследования сыворотки крови птиц, которые в настоящее время требуют дальнейших испытаний для повышения их эффективности [6; 14; 25; 30-33].

Заключение

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время в агропромышленном комплексе должен быть усилен и стандартизирован трихинеллоскопический контроль в отношении *Trichinella pseudospiralis*. При необходимости рекомендуем в первую очередь исследовать мышцы головы и шеи птиц, которые в наших исследованиях оказались наиболее сильно инвазированы личинками трихинелл, при этом особое внимание необходимо обращать на края срезов мышечных фрагментов.

Информация о конфликте интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве. Источник финансирования научной работы и процесса публикации статьи – научный грант ЕГИСУ НИОКР 1022041100081-0-4.3.1.

Список литературы

1. Автандилов Г.Г. Медицинская морфометрия: руководство. М.: Изд. «Медицина», 1990. 384 с.
2. Асатрян А.М. Биологические и морфологические особенности *Trichinella spiralis* и *T. pseudospiralis* у различного вида хозяев: дис. ... док. биол. наук. М., 1998. 224 с.
3. Боляхина С.А., Ефремова Е.А. Сравнение морфологических изменений в крови кур при экспериментальном заражении *T. spiralis* и *T. pseudospiralis* // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2023. № 24. С. 95-99.
4. Бритов В.А. Гельминты Дальнего Востока. Хабаровск, 1973. С. 19-22.
5. Бритов В.А. Возбудители трихинеллеза. М.: Наука, 1982. С. 272.
6. Бритов В.А. Борьба с болезнями животных на Дальнем Востоке. Благовещенск, 1974. С. 48-49.
7. Гаркави Б.Л. Трихинеллез, вызываемый *Trichinella pseudospiralis* (морфология и биология возбудителя, эпизоотология и эпидемиология, диагно-

- стика, меры борьбы и профилактика) // Российский паразитологический журнал. 2007. № 2. С. 35-116.
8. Гаркави Б.Л. Гельминтозоозы: меры борьбы и профилактика. М., 1994. 50 с.
 9. Жданова О.Б., Распутин П.Г., Масленникова О.В. Трихинеллез плотоядных и биобезопасность окружающей среды // Экология человека. 2008. № 1. С. 9-11.
 10. Жданова О.Б., Часовских О.В., Руднева О.В., Успенский А.В. К вопросу об изменении морфологии селезенки при нематодозах у мышей при иммуностимуляции // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 3. С. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25>
 11. Жданова О.Б., Успенский А.В., Написанова Л.А., Часовских О.В., Россохин Д.В., Андреянов О.Н., Малышева Н.С., Качанова Е.О. Влияние интенсивности инвазии на морфологические характеристики личинок *Trichinella spiralis* при экспериментальном заражении белых крыс и распределение их в мышцах // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17. № 1. С. 74-83.
 12. Мезенцев С.В. Эпизоотологические аспекты распространения трихинеллеза в Алтайском крае и защиты человека и животных от этой инвазии // Вестник НГАУ. 2012. № 2 (23). С. 89-94.
 13. Мезенцев С.В. Безопасность мяса птицы отряда куриных в личных подсобных хозяйствах // Практик. 2005. № 7-8. С. 23-27.
 14. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Информативность исследования свободного кристаллообразования при зоонозах на модели лабораторных животных // Известия высших уч. заведений. Поволжский регион. 2006. № 1 (22). С. 30-39.
 15. Мартусевич А.К., Жданова О.Б., Написанова Л.А., Ашихмин С.П. Применение dot-ELISA и биокристаллоскопии для прижизненной диагностики трихинеллеза // Российский иммунологический журнал. 2013. Т. 7. № 2-3. С. 187.
 16. Мартусевич А.К., Жданова О.Б. Исследование зависимости кристаллогенной активности биосреды от интенсивности экспериментальной инвазии *Trichinella spiralis* // Российский паразитологический журнал. 2013. № 2. С. 64-71.
 17. Пшеничный А.А. Эпизоотологические и клинико-патогенетические аспекты трихинеллеза птиц: дис. ... канд. вет. наук. Краснодар, 2003. 187 с.
 18. Пшеничный А.А. Эпизоотологические и клинико-патогенетические аспекты трихинеллеза птиц: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ветеринарных наук / Ставроп. гос. аграр. ун-т. Ставрополь, 2004. 30 с.
 19. Сапунов А., Пшеничный А., Иващенко А. Трихинеллез птиц: распространение, биология // Птицеводство. 2006. № 1. С. 15.
 20. Успенский А.В., Жданова О.Б., Андреянов О.Н., Написанова Л.А., Малышева Н.С. Трихинеллоскопия туш домашних и диких животных // Российский паразитологический журнал. 2021. Т. 15. № 3. С. 71-75.

21. Шайкенов Б. Ш., Соколова Л. А. О распространении *Trichinella pseudospiralis* в природе // Материалы докладов 3-й Всесоюзной конференции по проблеме трихинеллеза человека и животных. Вильнюс, 1981. С. 71-73.
22. Boulous L.M., Samara L.A., Hagaz H.J.A. 8 Intern. Conf. of trichinellosis. Abstract book. Rom, 1995. P. 29.
23. Bruschi F., Pozio E., Watanabe N., Gomez Morales M.A., Ito M., Huang Y., Binaghi R. Anaphylactic response to parasite antigens: IgE and IgG1 independently induce death in *Trichinella*-infected mice // International Archives of Allergy and Immunology. 1999. Vol. 119. P. 291-296.
24. Cabaj W. *Acta Parasitol.* Polon, 1987. Vol. 32, № 4. P. 361-367.
25. Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Okulova I.I., Uspensky A.V. Features of the distribution of trichinella larvae in muscles in a raccoon dog, theory and practice of controlling parasitic diseases // Diseases. 2018. № 19. P. 324.
26. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichian P., Siriwasatien P., Putaporntip C., Tamburrini A., La Rosa G.F., Sreesunpasirikul C., Yingyoud P., Pozio E. First outbreak of human trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* // J. Clin. Infect. Dis. 1998. Vol. 26 (1). P. 111-115.
27. Pozio E., La Rosa G., Rossi P., Murrell K.D. Allozyme Analysis of *Trichinella* Isolates from Various Host Species and Geographical Regions // The Journal of Parasitology. 1992. Vol. 78, № 4. P. 641-646. <https://doi.org/10.2307/3283538>
28. Pozio E., Christensson D., Steen M., Marucci G. *Trichinella pseudospiralis* foci in Sweden // Veterinary Parasitology. 2004. Vol. 125. P. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.020>
29. Ranque S., Fauge`re B., Pozio E., La Rosa G., Tamburrini A., Pellisier J. F., Brouqui P. *Trichinella pseudospiralis* outbreak in France // J. Emerg. Infect. Dis. 2000. Vol. 6 (5). P. 543-547. <https://doi.org/10.3201/eid0605.000517>
30. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice // International Journal of High Dilution Research. 2018. Vol. 17. № 2. P. 17-18.
31. Penkova P.A. Fourth inter. Conf. on trichinellosis. Posnan: Poland, 1976. P. 31-32.
32. Zhdanova O., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossoshin D., Lozhnicina O. The possibility of using *trichinella spiralis* as an experimental model in the field of high dilutions // International Journal of High Dilution Research. 2015. Vol. 14. № 2. P. 60-61.
33. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice // International Journal of High Dilution Research. 2019. Vol. 18. № 2. P. 12.

References

1. Avtandilov G.G. *Medical morphometry: manual*. Moscow: Medicine Publ., 1990, 384 p.
2. Asatryan A.M. *Biological and morphological features of Trichinella spiralis and T. pseudospiralis in different types of hosts*. M., 1998, 224 p.
3. Bolyakhina S.A., Efremova E.A. Comparison of morphological changes in the blood of chickens during experimental infection with *T. spiralis* and *T. pseudospiralis*. *Theory and practice of the fight against parasitic diseases*, 2023, no. 24, pp. 95-99.
4. Britov V.A. *Helminths of the Far East*. Khabarovsk, 1973, pp. 19-22.
5. Britov V.A. *Trichinellosis pathogens*. Moscow: Nauka, 1982, p. 272.
6. Britov V.A. *Combating animal diseases in the Far East*. Blagoveshchensk, 1974, pp. 48-49.
7. Garkavi B.L. Trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis* (morphology and biology of the causative agent, epizootology and epidemiology, diagnosis, control measures and prophylaxis). *Russian Parasitological Journal*, 2007, no. 2, pp. 35-116.
8. Garkavi B.L. *Helminthozoonoses: control measures and prevention*. M., 1994, 50 p.
9. Zhdanova O.B., Rasputin P.G., Maslennikova O.V. Trichinellosis of carnivores and biosecurity of the environment. *Human Ecology*, 2008, no. 1, pp. 9-11.
10. Zhdanova O.B., Chasovskikh O.V., Rudneva O.V., Uspensky A.V. To the question of changes in the morphology of the spleen at nematodosis in mice under immunostimulation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 11-25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-11-25>
11. Zhdanova O.B., Uspensky AV, Nicanova LA, Chasovskikh O.V., Rossokhin D.V., Andreyanov O.N., Malysheva N.S., Kachanova E.O. Influence of the intensity of invasion on the morphological characteristics of larvae *Trichinella spiralis* in experimental infection of white rats and their distribution in the muscles. *Russian Journal of Parasitology*, 2023, vol. 17, no. 1, pp. 74-83.
12. Mezentsev S.V. Epizootological aspects of the spread of trichinellosis in Altai Krai and protection of humans and animals from this invasion. *Bulletin of NSAU*, 2012, no. 2 (23), pp. 89-94.
13. Mezentsev S.V. Safety of poultry meat of the chicken detachment in private subsidiary farms. *Praktik*, 2005, no. 7-8, pp. 23-27.
14. Martusevich A.K., Zhdanova O.B.. Informativeness of the study of free crystal formation in zoonosis on the model of laboratory animals. *News of higher educational institutions. Volga region*, 2006, no. 1 (22), pp. 30-39.

15. Martusevich A.K., Zhdanova O.B., Nicanova L.A., Ashikhmin S.P. Application of dot-ELISA and biocrystalloscopy for lifetime diagnosis of trichinellosis. *Russian Journal of Immunology*, 2013, vol. 7, no. 2-3, p. 187.
16. Martusevich A.K., Zhdanova O.B. Study of the dependence of the crystallogenic activity of the biosphere on the intensity of experimental invasion of *Trichinella spiralis*. *Russian Parasitological Journal*, 2013, no. 2, pp. 64-71.
17. Pshenichny A.A. *Epizootologic and clinical and pathogenetic aspects of avian trichinellosis*. Krasnodar, 2003, 187 p.
18. Pshenichny A.A. *Epizootologic and clinical-pathogenetic aspects of trichinellosis of birds*. Stavropol, 2004, 30 p.
19. Sapunov A., Pshenichny A., Ivashchenko A. Trichinellosis of birds: distribution, biology. *Poultry farming*, 2006, no. 1, p. 15.
20. Uspensky A.V., Zhdanova O.B., Andreyanov O.N., Nicanova L.A., Malysheva N.S. Trichinelloscopy of carcasses of domestic and wild animals. *Russian Parasitological Journal*, 2021, vol. 15, no. 3, pp. 71-75.
21. Shaikenov B. Sh. Sh., Sokolova L. A. On the distribution of *Trichinella pseudospiralis* in nature. *Proceedings of the 3rd All-Union Conference on the problem of human and animal trichinellosis*. Vilnius, 1981, pp. 71-73.
22. Boulos L.M., Samara L.A., Hagaz H.J.A. *8 Intern. Conf. of trichinellosis. Abstract book*. Rom, 1995, p. 29.
23. Bruschi F., Pozio E., Watanabe N., Gomez Morales M.A., Ito M., Huang Y., Binaghi R. Anaphylactic response to parasite antigens: IgE and IgG1 independently induce death in *Trichinella*-infected mice. *International Archives of Allergy and Immunology*, 1999, vol. 119, pp. 291-296.
24. Cabaj W. *Acta Parasitol.* Polon, 1987, vol. 32, no. 4, pp. 361-367.
25. Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Okulova I.I., Uspensky A.V. Features of the distribution of trichinella larvae in muscles in a raccoon dog, theory and practice of controlling parasitic diseases. *Diseases*, 2018, no. 19, p. 324.
26. Jongwutiwes S., Chantachum N., Kraivichian P., Siriyaasatien P., Putaporntip C., Tamburrini A., La Rosa G.F., Sreesunpasirikul C., Yingyoud P., Pozio E. First outbreak of human trichinellosis caused by *Trichinella pseudospiralis*. *J. Clin. Infect. Dis.*, 1998, vol. 26 (1), pp. 111-115.
27. Pozio E., La Rosa G., Rossi P., Murrell K.D. Allozyme Analysis of *Trichinella* Isolates from Various Host Species and Geographical Regions. *The Journal of Parasitology*, 1992, vol. 78, no. 4, pp. 641-646. <https://doi.org/10.2307/3283538>
28. Pozio E., Christensson D., Steen M., Marucci G. *Trichinella pseudospiralis* foci in Sweden. *Veterinary Parasitology*, 2004, vol. 125, pp. 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.07.020>

29. Ranque S., Fauge`re B., Pozio E., La Rosa G., Tamburrini A., Pellisier J. F., Brouqui P. Trichinella pseudospiralis outbreak in France. *J. Emerg. Infect. Dis.*, 2000, vol. 6 (5), pp. 543–547. <https://doi.org/10.3201/eid0605.000517>
30. Rudneva O.V., Napisanova L.A., Zhdanova O.B., Berezhko V.K. Evaluation of the protective activity of different immunostimulatory drugs at the experimental trichinosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2018, vol. 17, no. 2, pp. 17-18.
31. Penkova P.A. *Fourth inter. Conf. on trichinellosis*. Posnan: Poland, 1976, pp. 31-32.
32. Zhdanova O., Haidarova A.A., Napisanova L.A., Rossoshin D., Lozhenicina O. The possibility of using trichinella spiralis as an experimental model in the field of high dilutions. *International Journal of High Dilution Research*, 2015, vol. 14, no. 2, pp. 60-61.
33. Zhdanova O.B., Rudneva O.V., Akulinina Yu.K., Napisanova L.A. Evaluation of the effectiveness of different immunostimulatory medicine at the experimental trichinosis and leishmaniosis on white mice. *International Journal of High Dilution Research*, 2019, vol. 18, no. 2, pp. 12.

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Жданова Ольга Борисовна, д.б.н., заведующая лабораторией фармакологической биоэнергетики и мембранологии; профессор кафедры зоогигиены и физиологии; с.н.с. лаборатории паразитарных зоонозов *ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России*; *ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ*; *ВНИИП - филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН*
ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация; Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация; ул. Б. Черемушкинская, 28, г. Москва, 117218, Российская Федерация
oliabio@yandex.ru

Часовских Ольга Владимировна, к.в.н., доцент, кафедры гистологии; зав. кафедрой зоогигиены и физиологии
ФГБОУ ВО Кировский ГМУ Минздрава России; *ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ*

*ул. К. Маркса, 113, г. Киров, 610998, Российская Федерация; Октябрьский проспект, 133, г. Киров, 610017, Российская Федерация
beoli@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga B. Zhdanova, Doctor of Biology, Head of the Laboratory of Pharmacological Bioenergetics and Membranology; Professor of the Department of Zoo Hygiene and Physiology; Senior Researcher of the Laboratory of Parasitic Zoonoses

Kirov State Medical University; Vyatka State Agrotechnological University; All-Russian Research Institute of Fundamental and Applied Animal and Plant Parasitology - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center - All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Science named after K.I. Skryabin and Y.R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences"

*113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation; 133, Oktyabrsky prospect, Kirov, 610017, Russian Federation; 28, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation
oliabio@yandex.ru*

Olga V. Chasovskikh, Ph.D., Associate Professor, Department of Histology; Head of the Department of Zoohygiene and Physiology

*Kirov State Medical University; Vyatka State Agrotechnological University 113, K. Marks Str., Kirov, 610998, Russian Federation; 133, Oktyabrsky prospect, Kirov, 610017, Russian Federation
beoli@mail.ru*

Поступила 15.11.2023

После рецензирования 04.03.2024

Принята 26.03.2024

Received 15.11.2023

Revised 04.03.2024

Accepted 26.03.2024

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-878

УДК 543.9:634.2



Научная статья

**ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
РОСТА И СОЗРЕВАНИЯ ПЛОДОВ АБРИКОСА
(PRUNUS ARMENIACEAE) СОРТОВ МОСКОВСКОЙ
СЕЛЕКЦИИ В СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ РОССИИ**

***В.В. Кондратьева, М.В. Семенова, А.Г. Куikliна,
Л.С. Олехнович, Т.В. Воронкова***

Обоснование. Абрикос одна из самых популярных плодовых культур в мире. Средняя полоса России относится к умеренно-холодному климатическому подполю II климатической зоны с суммой эффективных температур 1000-2200°C, поэтому биологические особенности сортов абрикоса для этой зоны должны соответствовать экологическим условиям региона. Изучение процесса созревания плодов зимостойких сортов абрикоса может быть полезно при проведении селекционных работ.

Цель. Изучить динамику основных физиолого-биохимических показателей листьев и плодов сортов абрикоса московской селекции.

Материал и методы. Объектом изучения были плоды и листья сортов абрикоса селекции ГБС РАН (Москва) в период образования и созревания плодов. В период формирования плодов (июнь-август) в пробах определяли спектрофотометрическим методом по общепринятым методикам содержание моно- и полисахаридов, фотосинтетических пигментов – хлорофиллов и каротиноидов, флавоноидов, а также методом ВЭЖХ некоторых фенолкарбоновых кислот. Также фиксировали морфометрические показатели – вес и диаметр плода, площадь листа.

Результаты. Установлена сортовая специфика по изученным биохимическим и морфометрическим показателям листьев и плодов. Наиболее крупные плоды были у сорта Царский, минимальный размер у отборного образца За-

чатъевский. Аналогичная картина отмечена по диаметру плода и площади листьев. Уровень хлорофиллов и каротиноидов в листьях оставался стабильным в течение всего периода исследования у сорта «Царский», лучшего по сроку созревания и вкусовым качествам плодов. В листьях сорта Царский в июне и июле уровень каротиноидов был на ~ 35% выше, чем у других образцов. По содержанию и соотношению моно- и полисахаридов значимых сортовых отличий не обнаружено. Снижение уровня фенолов, повышение содержания полисахаридов и каротиноидов способствовало формированию сладко-кислого вкуса и окраски плодов. Наличие фенолов, участвующих в активации протекторных механизмов на всех этапах формирования и развития плодов, по-видимому, позволяет преодолевать негативное воздействие погодных условий. По биохимическим и органолептическим показателям выделяются сорта раннего срока созревания Царский и Лель.

Заключение. Впервые изучена динамика биохимического состава листьев и плодов зимостойких сортов абрикоса Московской селекции в процессе плодообразования. Такие данные могут помочь выявить маркеры для отбора селекционного материала, обладающего адаптивными способностями к биотическим и абиотическим стрессам в условиях центральной России.

Ключевые слова: *Prunus armeniaca*; зимостойкие сорта; углеводы; фотосинтетические пигменты; каротиноиды; флавоноиды; фенолкарбоновые кислоты

Для цитирования. Кондратьева В.В., Семенова М.В., Куклина А.Г., Олехнович Л.С., Воронкова Т.В. Физиолого-биохимические аспекты роста и созревания плодов абрикоса (*Prunus armeniaca*) сортов московской селекции в средней полосе России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 82-104. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-878

Original article

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF GROWTH AND MATURATION OF APRICOT (*PRUNUS ARMENIACEAE*) VARIETIES OF MOSCOW SELECTION IN CENTRAL RUSSIA

V.V. Kondrat'eva, M.V. Semenova, A.G. Kuklina,
L.S. Olekhnovich, T.V. Voronkova

Background. Apricot is one of the most popular fruit crops in the world. Central Russia belongs to the moderately cold climatic subzone of climatic zone

II with the sum of effective temperatures of 1000-2200°C. Therefore, the biological characteristics of apricot varieties for this zone must correspond to the environmental conditions of the region. Studying the process of fruit ripening of winter-hardy apricot varieties can be useful when carrying out breeding work.

Purpose. *To study the dynamics of the main physiological and biochemical parameters of leaves and fruits of apricot varieties of Moscow selection.*

Material and methods. *The object of the study was the fruits and leaves of apricot varieties selected by GBS RAS (Moscow) during the formation and ripening of fruits. During the period of fruit formation (June-August), the content of mono- and polysaccharides, photosynthetic pigments - chlorophylls and carotenoids, flavonoids, as well as the HPLC method of some phenolcarboxylic acids was determined in the samples using the spectrophotometric method according to generally accepted methods. Morphometric indicators were also recorded: weight and diameter of the fruit, leaf area.*

Results. *Varietal specificity has been established based on the studied biochemical and morphometric parameters of leaves and fruits. The largest fruits were in the Tsarsky variety, the minimum size in the selected Zachatievsky variety. A similar picture was observed for fruit diameter and leaf area. The level of chlorophylls and carotenoids in the leaves remained stable throughout the entire study period in the Tsarsky variety, the best in terms of fruit ripening and taste. In the leaves of the Tsarsky variety in June and July, the level of carotenoids was ~35% higher than in other samples. No significant varietal differences were found in the content and ratio of mono- and polysaccharides. A decrease in the level of phenols and an increase in the content of polysaccharides and carotenoids contributed to the formation of the sweet-sour taste and color of the fruit. The presence of phenols involved in the activation of protective mechanisms at all stages of fruit formation and development apparently makes it possible to overcome the negative effects of weather conditions. According to biochemical and organoleptic indicators, early ripening varieties Tsarsky and Lel are distinguished.*

Conclusion. *The dynamics of the biochemical composition of leaves and fruits of winter-hardy apricot varieties of Moscow selection during the process of fruit formation was studied for the first time. Such data may help identify markers for selecting breeding material with adaptive capabilities to biotic and abiotic stresses in central Russia.*

Keywords: *Prunus armeniaca; varieties; carbohydrates; photosynthetic pigments; carotenoids; flavonoids; phenolic carboxylic acids*

For citation: *Kondrat'eva V.V., Semenova M.V., Kuklina A.G., Olekhovich L.S., Voronkova T.V. Physiological and biochemical aspects of growth and matu-*

ration of apricot (Prunus armeniaceae) varieties of Moscow selection in central Russia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 82-104. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-878

Введение

Биохимические исследования плодов абрикоса (*Prunus armeniaca* L., Rosaceae) чаще проводятся на сортах, культивируемых в южных широтах [23], особенно в Турции, Китае и на Балканах. Помимо отличных вкусовых качеств они обладают широким спектром микроэлементов, органических кислот, витаминов и фенольных соединений с антиоксидантными свойствами [15; 18].

В Главном ботаническом саду имени Н.В. Цицина РАН ведется селекционная работа по выведению сортов абрикоса, обладающих хорошей зимостойкостью. Профессором А.К. Скворцовым и его сотрудниками собран богатый генетический материал, на основе которого кандидат биологических наук Л.А. Крамаренко создала ряд сортов абрикоса, плодоносящих в климатических условиях Средней полосы России, обладающих хорошими вкусовыми качествами и включенных в Госреестр селекционных достижений РФ [7; 21].

В процессе созревания плодов происходит серия взаимосвязанных реакций, ведущих к метаболическим изменениям в составе сахаров, пигментов, в первую очередь каротиноидов, фенольных соединений и образованию летучих веществ, что определяет их вкус и аромат [27].

Существенная роль отводится широко распространенной группе пигментов – каротиноидов, имеющих большое значение в механизмах фотосинтеза и формирования протекторных реакций на биотические и абиотические стрессы. Каротиноиды защищают растения от воздействия избыточного света, смягчают действие экстремальных температур, разрушают активные формы кислорода, образующиеся при фотоокислительном стрессе, сохраняя целостность клеточных мембран [27]. Известно, что в плодах абрикоса преобладает β -каротин, содержание которого значительно варьирует в зависимости от сорта и региона выращивания. По мере созревания плодов его концентрация возрастает почти вдвое [24]. Кроме того, в тканях зрелых плодов абрикоса идентифицированы L-каротиноиды, γ -каротин, зеоксантин и лютеин [16].

Присутствующие в плодах абрикоса полифенолы обладают антимикробными, антиоксидантными, антиаллергенными и противовоспалительными свойствами [20]. Их содержание зависит от сорта и

климатических условий выращивания культуры, поскольку полифенолы чувствительны к изменению окружающей среды, особенно свету и температуре. Содержание фенольных соединений подвержено колебаниям в процессе роста и созревания плодов. Они могут служить индикаторами физиологической стадии развития плодов. Фенольные соединения влияют на рост и развитие плодов через взаимодействие с фитогормонами, в первую очередь с ауксинами; они регулируют растяжение первичной клеточной стенки. Кроме того, фенолы связаны с активацией механизма протекторных реакций при биогенных и абиогенных стрессах [23].

Основным компонентом комплекса фенолкарбоновых кислот в плодах абрикоса является хлорогеновая кислота (ХК), представляющая собой сложный эфир кофейной и хинной кислот. ХК связана с регуляцией ростовых процессов, участвует в запуске антистрессовых механизмов и перестройке метаболизма всего растения или его отдельных органов для адаптации в новых условиях [1]. Также в южных сортах найдены неохлорогеновая, кофейная, феруловая кислоты и флавоноиды [13]. Феруловая кислота (ФК) входит в состав лигнина, участвует в образовании свободных радикалов, блокирующих активные формы кислорода в тканях растений [11]. Для стимуляции синтеза флавоноидов, представленных, в основном, гликозидами и рутинозидами, необходим солнечный свет, поэтому они в основном сосредоточены в кожуре плодов абрикоса и в листьях. Из листьев гликозиды флавоноидов по флоэме переходят в плоды [12].

Для зрелых плодов абрикоса важное значение имеет соотношение сахаров и органических кислот. Основным углеводом является сахароза, которая не только выполняет функции энергетического субстрата, но и необходима для стабилизации клеточных мембран при холодовом стрессе [9]. В меньшем количестве присутствуют глюкоза, фруктоза, мальтоза и раффиноза [10; 17]. Замечено, что в плодах позднеспелых сортов сахаров больше [14].

В литературе доминируют работы по оценке зрелых плодов абрикоса, и недостаточно внимания уделено динамике биохимических процессов, происходящих по мере их созревания. На примере южных сортов из Средиземноморья оценена динамика накопления полифенолов и каротиноидов у абрикоса [12; 13]. В Турции проведено сравнение содержания фенольных соединений и витаминов в плодах абрикоса, выращенных при орошении и в засушливых условиях [19].

Средняя полоса России - густонаселенный регион, относящийся к умеренно-холодному климатическому подполюсу II климатической зоны с суммой эффективных температур 1000-2200°C, где традиционные сорта абрикоса из южных регионов не могут плодоносить вследствие вымерзания побегов зимой (морозы более 20 °C) и генеративных почек весной (поздне-весенние возвратные холода). Поэтому биологические особенности сортов абрикоса для средней полосы России должны соответствовать экологическим условиям региона.

Исследования московских сортов абрикоса по содержанию каротиноидов, флавоноидов, органических кислот и углеводов проведены на зрелых плодах [4, 6]. В этих работах отсутствует динамика изученных компонентов в процессе развития плодов и листьев, такие данные, возможно, помогут выявить маркеры для отбора селекционного материала.

Цель работы. Изучить динамику основных физиолого-биохимических показателей листьев и плодов сортов абрикоса селекции ГБС РАН (Москва) в период образования и созревания плодов. Задачи данной работы: проследить динамику содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов «а» и «б» и каротиноидов), углеводов (моно- и полисахаридов), полифенолов (флавоноидов и фенолкарбоновых кислот) а также биометрических показателей плодов и листьев сортов абрикоса московской селекции в июне-августе.

Материалы и методы

Материалом исследования служили плоды и листья абрикоса 4 сортов, включенных в Госреестр РФ: Гвиани, Лель, Водолей, Царский и отборный сортообразец Зачатьевский селекции ГБС РАН. Деревья в 6-летнем возрасте высажены в 2002 г. на территории женского Зачатьевского монастыря (Москва). Сорта Лель и Царский характеризуются ранним сроком созревания плодов; сорт Водолей и сортообразец Зачатьевский – средним, а Гвиани – поздним.

Исследования проводили в июне-августе 2023г. Для анализов пробы плодов и листьев, отбирали 3 раза. Первая проба - в начале июня, когда зеленый плод только начал формироваться и имел мягкую косточку. Вторая проба - в июле, когда в плодах сформировалась твердая косточка. Третья проба - в августе, в стадии технической спелости плода, когда он достиг максимальных размеров, был ярко окрашен, имел хорошие вкусовые качества. Для каждого сорта отбирали по 25 типичных плодов и 25 листьев. Определяли массу плода, диаметр плода и площадь листа. У плодов анализировали мякоть с кожурой.

Биохимические исследования выполнены в лаборатории физиологии и иммунитета ГБС РАН на свежем растительном материале. Определение фенолкарбоновых кислот (ФКК) проведено методом ВЭЖХ на изократической системе Стайер (фирма Аквилон, Москва) [3]. Для анализа суммы флавоноидов использовали реактив Фолина-Чокалтеу [2]. Свободные сахара определяли по модифицированной методике с использованием пикриновой кислоты [5]. Для определения суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин применяли методику, описанную О.В. Тринеевой и А.И. Сливкиным [8]. Количественный расчет проводили по формулам с учетом содержания хлорофилла [25]. Хлорофилл определяли по стандартной методике Лихтеналлера [22]. Статистическая обработка данных выполнена в программе Microsoft Excel, $P \leq 0.05$.

Результаты и обсуждение

За относительно короткий период плод накапливает значительное количество сухого вещества и воды, активно поглощая ассимилянты из листьев. В процессе роста и развития плодов меняется их диаметр, масса, а также площадь листа (табл. 1).

Таблица 1.

Биометрические параметры сортов абрикосов московской селекции

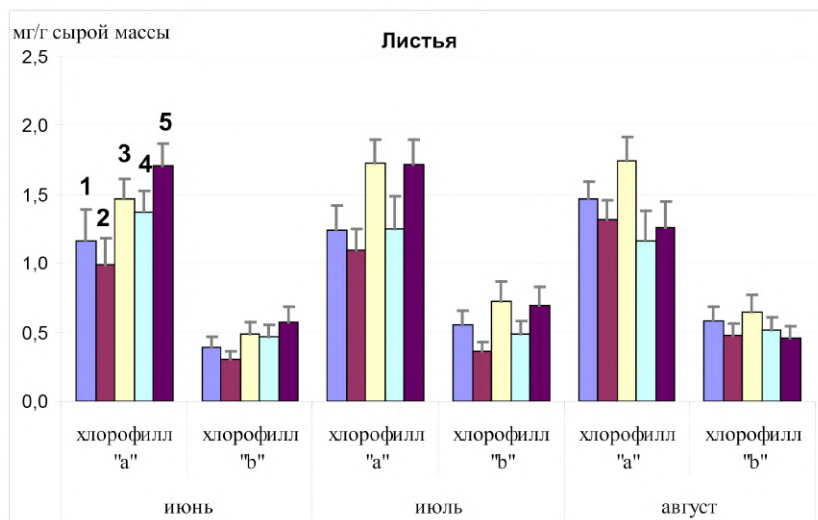
Дата / Сорт	Гвиани	Зачатьев- ский	Водолей	Лель	Царский
	масса плода, г				
Июнь	$8,5 \pm 1,8$	$5,2 \pm 1,0$	$8,6 \pm 0,6$	$6,2 \pm 0,9$	$6,9 \pm 0,1$
Июль	$13,4 \pm 1,3$	$8,9 \pm 0,8$	$13,8 \pm 0,9$	$12,2 \pm 0,5$	$10,4 \pm 1,2$
Август	$26,2 \pm 2,9$	$15,9 \pm 1,4$	$28,4 \pm 4,7$	$24,1 \pm 4,2$	$33,6 \pm 2,4$
	диаметр плода, см				
Июнь	$2,2 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,1$	$2,1 \pm 0,2$
Июль	$3,5 \pm 0,1$	$3,0 \pm 0,1$	$3,6 \pm 0,1$	$3,3 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$
Август	$4,4 \pm 0,3$	$3,6 \pm 0,2$	$4,5 \pm 0,3$	$4,2 \pm 0,3$	$5,0 \pm 0,2$
	площадь листа, см²				
Июнь	$31,7 \pm 4,9$	$21,7 \pm 3,5$	$25,0 \pm 4,3$	$29,2 \pm 3,1$	$24,5 \pm 4,8$
Июль	$33,7 \pm 3,8$	$25,5 \pm 1,9$	$29,8 \pm 4,1$	$30,2 \pm 3,6$	$30,8 \pm 3,5$
Август	$35,8 \pm 6,4$	$30,0 \pm 4,1$	$35,6 \pm 4,5$	$31,1 \pm 2,6$	$38,8 \pm 6,3$

По этим показателям следует выделить сорт Царский, превысивший остальные образцы: масса плода увеличилась в 4,8 раза, диаметр в ~2 раза, а площадь листа – в 1.5 раза, тогда как у остальных сортов и

отборной формы увеличение веса плода было в 3,0-3,4 раза. Диаметр плодов у всех сортов и отборной формы в первый срок взятия проб был примерно одинаковый, 1,7 - 2 см. По мере созревания плодов он увеличивался, достигая максимума у зрелых плодов, наиболее крупные плоды были у сорта Царский, минимальный размер у отборного образца Зачатьевский. Аналогичная картина отмечена по диаметру плода и площади листьев.

Содержание фотосинтетических пигментов - хлорофиллов "а" и "б" в листьях незначительно менялось в период наблюдений, их нормальное соотношение – 3:1 – также, при этом не обнаружено существенных сортовых отличий, листья сортов Царский и Водолей превосходили остальные по накоплению пигментов в июне и июле.

В плодах содержание хлорофиллов было в ~30 раз меньше, чем в листьях, но их соотношение оставалось также 3:1 в июне и июле. Ко времени созревания плодов присутствие зеленых пигментов в них снизилось до следовых количеств, а нормальное соотношение (3:1) сохранилось только у сорта Царский, при этом у отборного образца Зачатьевский оно поменялось на противоположное – 1:3 (рис. 1). По-видимому, собственная фотосинтетическая активность зеленых плодов вносит сравнительно небольшой вклад в накопление органических веществ.



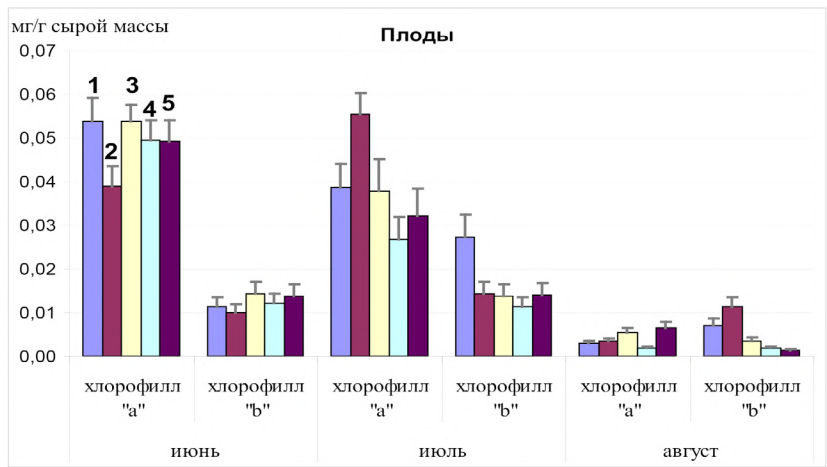


Рис. 1. Фотосинтетические пигменты в тканях абрикоса, мг/г сырой массы. Обозначения: Сорта: 1 – Гвиани; 2 – Зачатьевский; 3 – Водолей; 4 – Лель; 5 – Царский.

При созревании плодов абрикоса в августе отмечен активный биосинтез каротиноидов в листьях всех сортов – увеличение почти в 2 раза по сравнению с июнем и июлем. При этом у раннеспелого сорта Царский уровень каротиноидов почти не менялся за весь период наблюдений и был на ~ 35% выше, чем у других сортов в июне и июле. В плодах всех сортов в стадию технической спелости в августе содержание каротиноидов снизилось ~ на 15% по сравнению с исходным в июне, по-видимому, за счет накопления воды, при этом у мелкоплодного Зачатьевского отмечена обратная тенденция (табл. 2).

Таблица 2.

Содержание каротиноидов в тканях абрикоса, мг/100 г сырой массы					
Сорт	Гвиани	Зачатьевский	Водолей	Лель	Царский
листья					
Июнь	49,4 ± 6,5	40,9 ± 2,3	64,1 ± 6,5	58,8 ± 7,7	71,2 ± 9,3
Июль	49,6 ± 5,2	43,0 ± 5,4	65,8 ± 8,3	51,5 ± 6,5	72,4 ± 8,1
Август	94,8 ± 6,9	74,2 ± 8,4	101,8 ± 6,5	71,5 ± 8,1	73,2 ± 7,4
плоды					
Июнь	2,3 ± 0,3	1,6 ± 0,2	2,1 ± 0,3	2,1 ± 0,3	2,0 ± 0,3
Июль	1,5 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,5 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2
Август	1,9 ± 0,2	2,1 ± 0,2	1,8 ± 0,2	1,7 ± 0,2	1,7 ± 0,2

Важным показателем не только качества плодов, но и стрессоустойчивости растений можно считать количество и соотношение углеводов [9]. В листьях и плодах изучаемых сортов в течение всего срока роста и формирования плодов в июне и июле преобладали моносахариды, соотношение моно-/полисахариды было $\sim 3:1$ (рис. 2). В августе уровень моносахаров в листьях достиг максимума, увеличившись вдвое по сравнению с июнем, при этом значимых сортовых отличий не обнаружено, соотношение моно-/полисахариды было таким же как в июне – $3:1$. В плодах в более чем в 3 раза вырос уровень полисахаридов, особенно у сортов Царский, Лель, Гвиани и Зачатьевский.

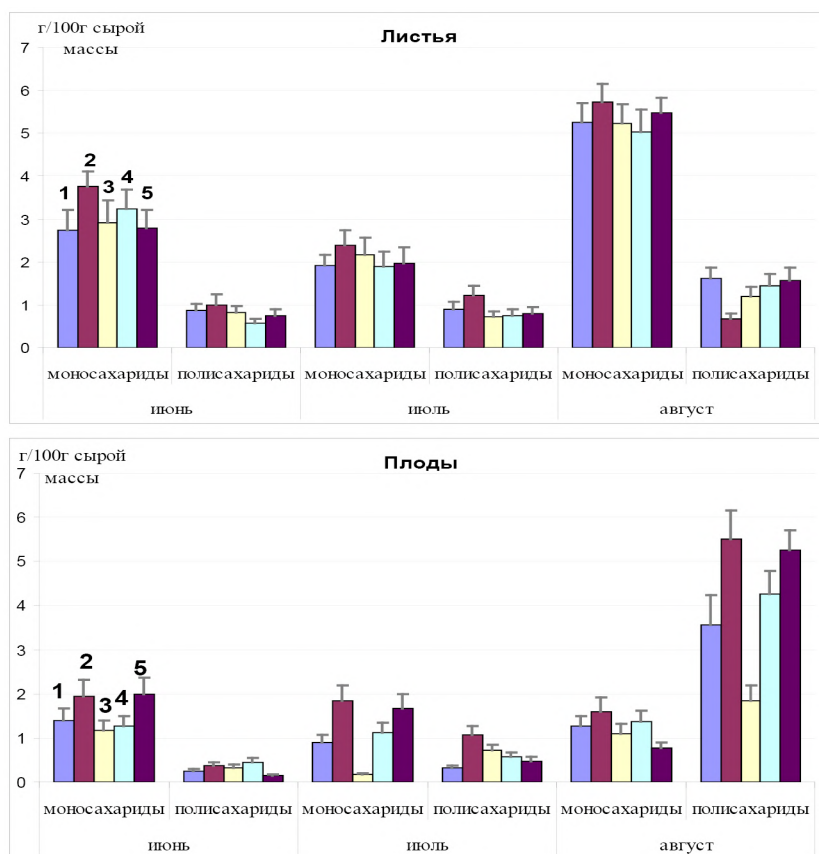


Рис. 2. Углеводы в тканях абрикоса, г/100г сырой массы.

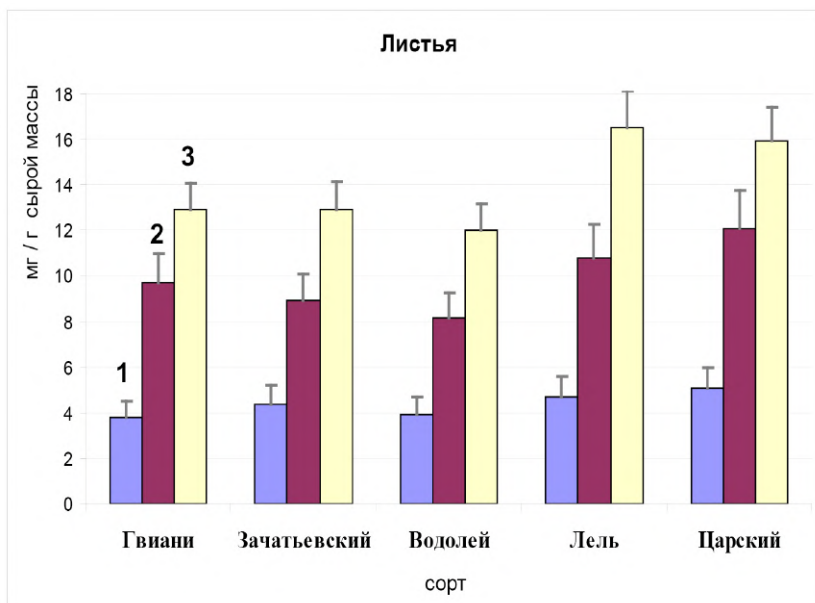
Обозначения: Сорта: 1 – Гвиани; 2 – Зачатьевский; 3 – Водолей; 4 – Лель; 5 – Царский

В качестве дыхательного субстрата сахара дают клеткам энергию для биосинтеза вторичных соединений, в частности фенолов. Они также могут быть прямым предшественником фенольных гликозидов [23]. В молодых плодах идет активный биосинтез фенолов *in situ*, затем, в период роста плодов он замедляется и может незначительно возрастать после созревания плода.

В процессе роста и формирования плодов изучалась динамика флавоноидов и фенолкарбоновых кислот (ФКК), которые тесно связаны с формированием протекторных механизмов в ответ на биогенные и абиогенные стрессы. Флавоноиды представлены в тканях абрикосов в основном гликозидами, определяющими вместе с каротиноидами светло-желтый цвет абрикосов.

У сортов абрикоса в листьях с июня по август отмечено увеличение суммы флавоноидов в 3-4 раза. Максимальный прирост уровня этих веществ зафиксирован у сортов Лель и Царский.

В плодах уровень флавоноидов был в несколько раз ниже и колебался с тенденцией к уменьшению (рис. 3) в стадии технической спелости плодов.



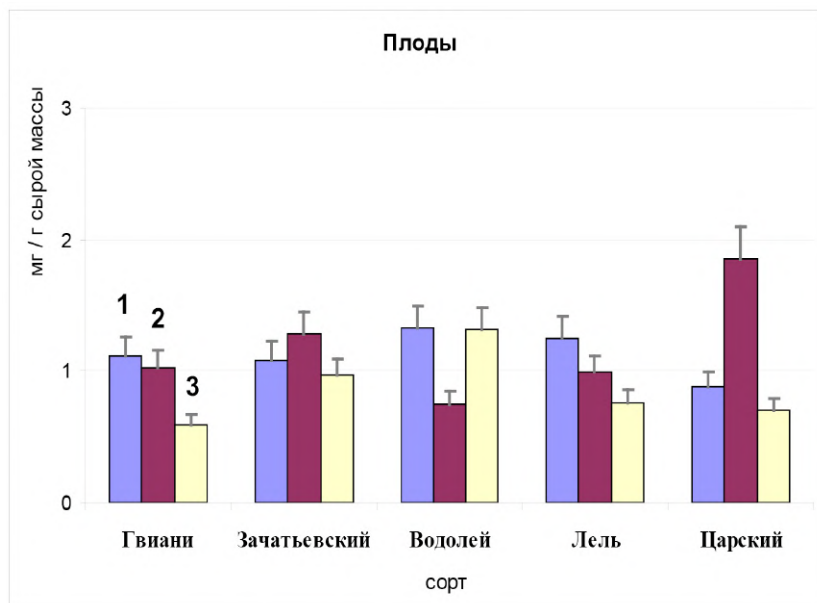


Рис. 3. Флаваноиды в тканях абрикоса, мг/г сырой массы.
Обозначения - даты отбора проб: 1 –июнь; 2 –июль; 3 – август

Доминирующей ФКК в листьях и плодах абрикоса является хлорогеновая кислота. В тканях листьев и плодов некоторых сортов абрикоса в разные сроки взятия проб идентифицированы феруловая и кофейная кислоты. В процессе роста и развития плодов уровень ХК постепенно снижался и в тканях листьев, и в тканях плодов. В плодах сорта Гвиани почти в 28 раз, сорта Лель - в 25 раз, у сорта Царский - в 9 раз, а в листьях в среднем – в 7-8 раз (табл. 3).

В стадии начала формирования зеленых плодов, в тканях их мякоти у большинства сортов была идентифицирована кофейная кислота (КК), более активная в формировании протекторных реакций. Вероятно, в это время молодые, растущие завязи развивающихся плодов нуждаются в быстрой, адекватной перестройке метаболизма при возможных стрессовых ситуациях. У раннеспелого сорта Царский КК зафиксирована в тканях сформированных плодов с твердой косточкой. У сорта Лель КК не обнаружена, но в листьях и в тканях начавших формироваться плодов был максимальный уровень ХК.

Таблица 3.

**Уровень ФКК в тканях плодов и листьев ряда сортов и отборной формы
абрикоса московской селекции, мкг/г сырой массы**

Дата	Сорт	Фенолкарбоновые кислоты		
		Хлорогеновая	Феруловая	Кофейная
		Плоды		
июнь	Гвиани	233,12 ± 2,91	0,21 ± 0,04	4,47 ± 0,17
	Зачатьевский	25,65 ± 1,35	—*	1,18 ± 0,14
	Водолей	42,71 ± 2,68	—	0,86 ± 0,04
	Лель	248,18 ± 4,67	—	—
	Царский	69,45 ± 8,88	0,098 ± 0,003	1,16 ± 0,1
июль	Гвиани	17,63 ± 1,76	0,15 ± 0,02	—
	Зачатьевский	44,93 ± 2,39	—	—
	Водолей	23,80 ± 1,6	—	—
	Лель	34,19 ± 2,99	—	—
	Царский	47,52 ± 1,21	—	1,46 ± 0,1
август	Гвиани	7,69 ± 0,5	—	—
	Зачатьевский	5,9 ± 0,62	0,18 ± 0,08	—
	Водолей	15,78 ± 0,30	0,12 ± 0,01	—
	Лель	8,7 ± 0,16	0,12 ± 0,02	—
	Царский	7,8 ± 0,36	—	—
Листья				
июнь	Гвиани	610,96 ± 59,25	—	—
	Зачатьевский	648,70 ± 56,70	—	—
	Водолей	495,53 ± 29,61	—	—
	Лель	687,60 ± 28,05	—	—
	Царский	369,33 ± 36,90	0,48 ± 0,09	—
июль	Гвиани	170,76 ± 6,23	0,45 ± 0,17	—
	Зачатьевский	148,23 ± 10,32	—	—
	Водолей	129,4 ± 4,67	—	—
	Лель	195,2 ± 2,62	—	—
	Царский	168,08 ± 2,62	0,53 ± 0,06	—
август	Гвиани	82,6 ± 16,5	—	—
	Зачатьевский	317,76 ± 8,90	—	—
	Водолей	175,46 ± 21,57	—	—
	Лель	175,72 ± 28,86	—	—
	Царский	32,0 ± 3,17	—	—

* - не идентифицирована

Следует отметить, что динамика содержания ФКК в тканях плодов абрикосов Московской селекции совпадает с таковой из южных районов Турции и Балканского полуострова, но количественные характеристики ФКК у абрикосов в Средней полосе России ниже [19].

Заключение

Уровень хлорофиллов и каротиноидов в листьях оставался стабильным в течение всего периода исследования у сорта «Царский», лучшего по сроку созревания и вкусовым качествам плодов. В листьях изученных образцов содержалось в ~25 раз больше хлорофиллов и в ~40 раз больше каротиноидов, чем в плодах. В листьях сорта Царский в июне и июле уровень каротиноидов был на ~35% выше, чем у других образцов.

Содержание и соотношение моно- и полисахаридов в листьях в июне и июле было выше, чем в плодах в ~2 раза, в августе в листьях резко возрос уровень моносахаров до 5-5,5%, а в плодах уровень полисахаридов – до 5% от сырой массы соответственно. При этом значимых сортовых отличий не обнаружено

Количество флавоноидов в листьях стабильно возрастало у всех сортов от 4 в начальный период до 12-16 мг/г сырой массы к моменту созревания плодов. Максимальный прирост уровня этих веществ в листьях зафиксирован у сортов Лель и Царский. В плодах уровень флавоноидов оставался почти стабильным в течение всего периода наблюдений и в период созревания плодов был в ~10 раз меньше чем в листьях.

В листьях и плодах всех сортов в течение всего периода наблюдений идентифицирована хлорогеновая кислота, причем в листьях на порядок больше чем в плодах. Феруловая кислота выявлена в незначительном количестве в листьях и плодах некоторых сортов, а кофейная – только в плодах в июне и июле.

На основании полученных данных можно заключить, что уровень каротиноидов, хлорофиллов, флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в листьях абрикоса был значительно (в 10-40 раз) выше, чем в плодах в период их созревания.

В стадии технической спелости проведен органолептический анализ качества плодов. Снижение уровня фенолов, повышение содержания полисахаридов и каротиноидов способствовало формированию сладко-кислого вкуса и окраски плодов. Таким образом, учитывая биохимические показатели тканей плодов и листьев, можно констатировать хорошие вкусовые качества плодов всех изученных сортов абрикоса московской селекции. Наличие фенолов, участвующих в активации протекторных механизмов

на всех этапах формирования и развития плодов, по-видимому, позволяет преодолевать негативное воздействие погодных условий. По биохимическим и органолептическим показателям выделяются сорта раннего срока созревания Царский и Лель.

Впервые показаны результаты исследования динамики изменения биохимического состава листьев и плодов зимостойких сортов абрикоса. Количественная характеристика этих компонентов в процессе развития плодов и листьев, помогает понять адаптационные возможности растений к биотическим и абиотическим факторам и может быть использована при отборе селекционного материала.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено в рамках Государственного задания ГБС РАН «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», проект № 122042700002-6.

Список литературы

1. Дейнека В.И., Хлебников В.А., Сорокопудов В.Н., Анисимович И.П. Хлорогеновая кислота плодов и листьев некоторых растений семейства *Berberidaceae* // Химия растительного сырья. №1. 2008. С. 57-61.
2. Денисенко Т.А., Вишнякин А.Б., Цыганок Л.П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. С. 373-380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
3. Каштанова О.А., Ткаченко О.Б., Кондратьева В.В., Олехнович Л.С., Воронкова Т.В. Устойчивость таксонов конского каштана *AESCULUS* к каштановой минирующей моли *CAMERARIA OHRIDELLA* // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. С. 153-163.
4. Куклина А.Г., Цыбулько Н.С., Воронкова Т.В., Крамаренко Л.А. Биохимический состав плодов у сортов *Prunus armeniaca* (Rosaceae) московской селекции. // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7. С. 184-190. https://doi.org/10.36718/1819-4036_2023_7_184-190
5. Определение растворимых углеводов фотометрически с пикриновой кислотой (модификация Соловьева) // Практикум по агрохимии. 2-е. изд. под ред. акад. РАСХН В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ. 2001. С. 419-422.

6. Семенова М.В., Куклина А.Г., Кондратьева В.В., Олехнович Л.С., Воронкова Т.В. Содержание каротиноидов в плодах абрикоса *Prunus armeniaca* L. в зависимости от способа извлечения // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2023. Т. 13 № 3. С. 402-408. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-402-408>
7. Скворцов А.К., Крамаренко Л.А. Абрикос в Москве и Подмоскowie. М.: КМК, 2007. 188 с. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-153-163>
8. Тринеева О.В., Сливкин А. И. Валидация методики определения каротиноидов в плодах облепихи различных способов консервации // Вестник ВГУ, серия: химия, биология, фармация. № 2. 2016. С. 145-151.
9. Трунова Т.И. Растение и низкотемпературный стресс // Российская академия наук, Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева. 64 ежегодные Тимирязевские чтения. 3 июня 2003. М. 2007. 53 с.
10. Cirillo A., De Luca L., Izzo L., Cepparulo M., Graziani G., Ritieni A., Romano R., Di Vaio C. Biochemical and nutraceutical characterization of different accessions of the apricot (*Prunus armeniaca* L.) // Horticulture. 2023. Vol. 9 (5). P. 546. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050546>
11. Dixon R., Paiva N.L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism // The Plant Cell. 1995. Vol. 7. P. 1085–1097. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
12. Dragovic-Uzelac V., Delonga K., Levaj B., Djakovic S., Pospisil J. Phenolic profiles of raw apricots pumpkins and their purees in the evaluation of apricot nectars and jams authenticity // J. Agric Food Chem 2005. Vol. 53. P. 4836-4842. <https://doi.org/10.1021/jf040494+>
13. Dragovic-Uzelac V., Levaj B., Mrkic V., Bursac D., Boras M. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region // Food Chem. 2007. Vol. 102. P. 966-975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.001>
14. Drogoudi D.P., Vemmos S., Pantelidis G., Petri E., Tzoutzoukou C., Karayianis I. Physical characters and antioxidant, sugar, and mineral nutrient contents in fruit from 29 apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and hybrids // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56. No. 22. P. 10754-10760. <https://doi.org/10.1021/jf801995x>
15. Femenia A, Rosello C., Mulet A., Canellas J. Chemical composition of bitter and sweet apricot kernels // J. Agric Food Chem 1995. Vol. 43. P. 356-361. <https://doi.org/10.1021/jf00050a018>
16. Fraser P.D., Bramley P. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids // Progress in Lipid Research. 2004. Vol. 43. No 3. P. 228-265. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2003.10.002>

17. Gatti E., De Filippi B.G., Predieri S., Infante R. Apricot (*Prunus armeniaca* L.) quality and breeding perspectives // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2009. Vol. 7 (3&4). P. 573-580.
18. Hegedus A., Pfeiffer P., Papp N., Abranko L., Blazovics A., Pedryc A., Stefanovits-Banyai E. Accumulation of antioxidants in apricot fruit through ripening: characterization of a genotype with enhanced functional properties // Biol. Res. 2011. V. 44. P. 339-344. <https://doi.org/10.4067/S0716-97602011000400004>
19. Kan T., Gundogdu M., Ercisli S., Muradoglu F., Celik F., Gecer M.K., Kodad O., Zia-Ul-Haq M. Phenolic compounds and vitamins in wild and cultivated apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits grown in irrigated and dry farming condition // Biological Research. 2014. Vol. 47. P. 1-6. <https://doi.org/10.1186/0717-6287-47-46>
20. Kim D.O., Jeong S.W., Lee C.Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums // Food Chem. 2003. Vol. 81. P. 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
21. Kramarenko L. Apricot breeding in Moscow // Acta Hort. 2006. P. 219-222. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.701.32>
22. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in Enzymology 1987. Vol. 148. P. 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
23. Macheix J.J., Fleuriot A., Billot J. Fruit Phenolics. Boca Raton, FL: CRC Press. 1990. P. 390. <https://doi.org/10.1201/9781351072175>
24. Munzuroglu O., Karatas F., Geckil H. The vitamin and selenium contents of apricot fruit of varieties cultivated in different geographical region // Food Chemistry. 2003. Vol. 83. P. 205-212.
25. Niroula A., Khatri S., Timilsina R., Khadka D. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens // J. Food Sci. Technol. 2019. Vol. 56(5). P. 2758–2763. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-9>
26. Speirs J., Brady C.J. Modification of gene expression in ripening fruit // Australian Journal of Plant Physiology. 1991. Vol. 18. P. 519–532.
27. Strzalka K., Kostecka-Gugala A., Latowski D. Carotenoids and environmental stress in plants: significance of carotenoid-mediated modulation of membrane physical properties // Russian Journal of Plant Physiology. 2003. Vol. 50. № 2. P. 168-173. <https://doi.org/10.1023/A:1022960828050>

References

1. Deineka V.I., Khlebnikov V.A., Sorokopudov V.N., Anisimovich I.P. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], no. 1, 2008, pp. 57-61.

28. Denisenko T.A., Vishnikin A.B., Cyganok L.P. Spektrofotometricheskoe opredelenie summy fenol'ny'x soedinenij v rastitel'ny'x ob'ektax s ispol'zovaniem xlorida alyuminiya, 18-molibdodifosfata i reaktiva Folina-Chokal'teu [Spectrophotometric determination of the amount of phenolic compounds in plant objects using aluminum chloride, 18-molybdenum diphosphate and Folin-Chocalteu reagent]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], 2015, vol. 19, pp. 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
29. Kashtanova O.A., Tkachenko O.B., Kondrat'eva V.V., Olexnovich L.S., Voronkova T.V. Ustoichivost' taksonov konskogo kashtana Aesculus k kashtanovoi miniruyushchei moli Cameraria Ohridella [The resistance of the horse chestnut taxa Aesculus to the chestnut mining moth Cameraria Ohridella]. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo* [Subtropical and ornamental gardening], 2021, pp. 153–163.
30. Kuklina A.G., Cybul'ko N.S., Voronkova T.V., Kramarenko L.A. Bioximicheskij sostav plodov u sortov Prunus armeniaca (Rosaceae) moskovskoj selekcii [Biochemical composition of fruits in Prunus armeniaca (Rosaceae) varieties of Moscow selection]. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU], 2023, no. 7, pp. 184–190. https://doi.org/10.36718/1819-4036_2023_7_184-190
31. Opredelenie rastvorimyykh uglevodov fotometricheski s pikrinovoi kislotoi (modifikatsiya Solov'eva) [Determination of soluble carbohydrates photometrically with picric acid (Solovyov modification)]. *Praktikum po agrokhimii* [Workshop on agrochemistry]. M.: Moscow State University Publ., 2001, pp. 419–422.
32. Semenova M.V., Kuklina A.G., Kondrat'eva V.V., Olexnovich L.S., Voronkova T.V. Soderzhanie karotinoidov v plodakh abrikosa Prunus armeniaca L. v zavisimosti ot sposoba izvlecheniya [The content of carotenoids in apricot fruits Prunus armeniaca L. depending on the extraction method.] *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied Chemistry and Biotechnology], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 402–408. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2023-13-3-402-408>
33. Skvortsov A.K., Kramarenko L.A. *Abrikos v Moskve i podmoskov'e* [Apricot in Moscow and the Moscow region.]. M.: KMK, 2007, 188 p. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-79-153-163>
34. Trineeva O.V., Slivkin A. I. Validatsiya metodiki opredeleniya karotinoidov v plodakh oblepikhi razlichnykh sposobov konservatsii [Validation of the methodology for the determination of carotenoids in sea-buckthorn fruits of various conservation methods]. *Vestnik VGU, seriya: khimiya, biologiya, farmatsiya*, 2016, no. 2, pp. 145–151.

35. Trunova T.I. Rastenie i nizkotemperaturnyi stress [Plant and low-temperature stress]. *64 ezhegodnye Timirjazevskie chtenija. 3 ijunja 2003* [64 annual Timiryazev readings. June, 3 2003]. M, 2007, 53 p.
36. Cirillo A., De Luca L., Izzo L., Cepparulo M., Graziani G., Ritieni A., Romano R., Di Vaio C. Biochemical and nutraceutical characterization of different accessions of the apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Horticulture*, 2023, vol. 9 (5), p. 546.
37. Dixon R., Paiva N.L. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *The Plant Cell*, 1995, vol. 7, pp. 1085–1097. <https://doi.org/10.1105/tpc.7.7.1085>
38. Dragovic-Uzelac V., Delonga K., Levaj B., Djakovic S., Pospisil J. Phenolic profiles of raw apricots pumpkins and their purees in the evaluation of apricot nectars and jams authenticity. *J. Agric Food Chem*, 2005, vol. 53, pp. 4836–4842. <https://doi.org/10.1021/jf040494+>
39. Dragovic-Uzelac V., Levaj B., Mrkic V., Bursac D., Boras M. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. *Food Chem.*, 2007, vol. 102, pp. 966–975. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.04.001>
40. Drogoudi D.P., Vemmos S., Pantelidis G., Petri E., Tzoutzoukou C., Karayianis I. Physical characters and antioxidant, sugar, and mineral nutrient contents in fruit from 29 apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars and hybrids. *J. Agric. Food Chem.*, 2008, vol. 56, no. 22, pp. 10754–10760. <https://doi.org/10.1021/jf801995x>
41. Femenia A., Rosello C., Mulet A., Canellas J: Chemical composition of bitter and sweet apricot kernels. *J. Agric Food Chem.*, 1995, vol. 43, pp. 356–361. <https://doi.org/10.1021/jf00050a018>
42. Fraser P.D., Bramley P. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids. *Progress in Lipid Research*, 2004, vol. 43, no. 3, pp. 228–265. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2003.10.002>
43. Gatti E., De Filippi B.G., Predieri S., Infante R. Apricot (*Prunus armeniaca* L.) quality and breeding perspectives. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2009, vol. 7 (3&4), pp. 573–580.
44. Hegedus A., Pfeiffer P., Papp N., Abranko L., Blazovics A., Pedryc A., Stefanovits-Banyai E. Accumulation of antioxidants in apricot fruit through ripening: characterization of a genotype with enhanced functional properties. *Biol. Res.*, 2011, vol. 44, pp. 339–344. <https://doi.org/10.4067/S0716-97602011000400004>
45. Kan T., Gundogdu M., Ercisli S. Phenolic compounds and vitamins in wild and cultivated apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruits grown in irrigated and dry farming condition. *Biological Research*, 2014, vol. 47, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1186/0717-6287-47-46>

46. Kim D.O., Jeong S.W., Lee C.Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. *Food Chem.*, 2003, vol. 81, pp. 321-326. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00423-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00423-5)
47. Kramarenko L. Apricot breeding in Moscow. *Acta Hortic*, 2006, pp. 219-222. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.701.32>
48. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 1987, vol. 148, pp. 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
49. Macheix J.J., Fleuriet A., Billot J. Fruit Phenolics. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990, p. 390. <https://doi.org/10.1201/9781351072175>
50. Munzuroglu O., Karatas F., Geckil H., Djakovic S., Pospisil J: The vitamin and selenium contents of apricot fruit of varieties cultivated in different geographical region. *Food Chemistry*, 2003, vol. 83, pp. 205-212.
51. Niroula A., Khatri S., Timilsina R., Khadka D. Profile of chlorophylls and carotenoids of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) microgreens. *J. Food Sci. Technol.*, 2019, vol. 56(5), pp. 2758–2763. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03768-9>
52. Speirs J., Brady C.J. Modification of gene expression in ripening fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1991, vol. 18, pp. 519–532.
53. Strzalka K., Kostecka-Gugala A., Latowski D. Carotenoids and environmental stress in plants: significance of carotenoid-mediated modulation of membrane physical properties. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2003, vol. 50. № 2. pp. 168-173. <https://doi.org/10.1023/A:1022960828050>

ВКЛАД АВТОРОВ

- Кондратьева В.В.:** разработка дизайна исследования, анализ фенолкарбоновых кислот, написание рукописи и оформление результатов исследования.
- Семенова М.В.:** анализ хлорофиллов и каротиноидов, оформление рукописи статьи.
- Куклина А.Г.:** морфометрическое и органолептическое изучение материала исследования, техническое редактирование текста.
- Олехнович Л.С.:** анализ пигментов и фенолкарбоновых кислот.
- Воронкова Т.В.:** разработка дизайна исследования, анализ углеводов и флавоноидов, написание текста рукописи, оформление иллюстраций и результатов исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

- Vera V. Kondrat'eva:** development of the study design, analysis of phenol carboxylic acids, writing the manuscript and presentation of the study results.

Maria V. Semenova: analysis of carotenoids and chlorophyll, design of the manuscript of the article.

Alla G. Kuklina: morphometric and organoleptic study of the research material, technical text editing.

Ludmila S. Olekhovich: analysis of pigments and phenolic carboxylic acids.

Tatyana V. Voronkova: development of the study design, analysis of carbohydrates and flavonoids, writing the text of the manuscript, design of illustrations and research results.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Кондратьева Вера Валентиновна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
verbena_20@mail.ru

Семенова Мария Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
sem_ma@mail.ru

Куклина Алла Георгиевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории природной флоры
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
alla_gbsad@mail.ru

Олехнович Людмила Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
mila.oleh@mail.ru

Воронкова Татьяна Владимировна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета
Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
winterness@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vera V. Kondratieva, Ph.D. in Biology, Senior Researcher
Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation
verbena_20@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3934-9288>
ResearcherID: J-8545-2018
Scopus Author ID: 7004652794
SPIN-code: 6228-8519

Maria V. Semenova, Ph.D. in Biology, Researcher
Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation
sem_ma@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4627-0802>
ResearcherID: J-8720-2018
Scopus Author ID: 26536757800
SPIN-code: 7227-5089

Alla G. Kuklina, Ph.D. in Biology, Leading Researcher of the Laboratory of Natural Flora
Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation
alla_gbsad@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9783-7776>
ResearcherID: J-600-2018
Scopus Author ID: 57023797100
SPIN-code: 7615-4813

Lydmila S. Olekhnovich, Junior Researcher
Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation

mila.oleh@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-0038>

ResearcherID: J-8645-2018

Scopus Author ID: 56023273400

SPIN-code: 4901-4480

Tatiana V. Voronkova, Ph.D. in Biology, Senior Researcher

*Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences
4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation*

winterness@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6112-271X>

ResearcherID: J-8620-2018

Scopus Author ID: 6602994285

SPIN-code: 3986-5731

Поступила 28.12.2023

После рецензирования 30.01.2024

Принята 15.02.2024

Received 28.12.2023

Revised 30.01.2024

Accepted 15.02.2024

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-873

УДК 574.4



Научная статья

ДОПОЛНЕНИЯ К ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКЕ СРЕДЫ УРБООКОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОНОВЫХ ВИДОВ РАСТЕНИЙ ЗЕЛЁНЫХ ЗОН

**В.М. Нестеренко, И.В. Москаленко,
М.В. Авраменко, Л.Н. Анищенко**

В статье рассмотрены результаты долговременного биоиндикационного исследования, выполненного в период с 2017 по 2023 гг., по изучению содержания в пробе биомассы фоновых видов зелёных насаждений (интродуцентов и аборигенных видов) аминокислоты – пролина, как основного биохимического маркера состояния среды в условиях сильного сочетания стрессовых факторов. В качестве биоиндикаторов в эксперименте выступили элементы зелёных насаждений административных районов города Брянска: Советского, Бежицкого, Фокинского, Володарского, а также в контроле – д. Добрунь Брянского района: во внимание принималось 14 видов покрытосеменных и голосеменных растений.

Цель работы – оценить в долговременном аспекте изменение содержания аминокислоты пролина как биохимического маркера состояния среды крупного города Нечерноземья РФ при диагностике биомассы фоновых растений. Представлен коэффициент устойчивости дендрофлоры, произрастающей в четырёх административных районах г. Брянска, с указанием минимального и максимального значения кумуляции аминокислоты по районам и индексом загрязнения воздуха. Наименьшее значение коэффициента кумуляции рассчитано для видов: *Pinus sylvestris* L. (3,5-3,97), *Picea abies* L. (3,68-4,14), *Picea pungens* L. (3,77-4,28); наибольшее значение – *Aesculus hippocastanum* L. (6,17-

6,59), *Acer negundo* L. (6,29-6,74), *Syringa vulgaris* L. (6,38-6,8). Составлен ряд чувствительности древесных растений к аэрозагрязнению по степени уменьшения содержания пролина: *Pinus sylvestris* < *Picea abies* L. < *Picea pungens* L. < *Thuja occidentalis* L. < *Quercus robur* < *Betula pendula* < *Salix triandra* < *Tilia cordata* < *Sorbus aucuparia* < *Robinia pseudoacacia* < *Acer platanoides* < *Acer negundo* < *Aesculus hippocastanum* < *Syringa vulgaris*.

Установлено, что концентрация пролина связана регрессионной зависимостью с расчётным индексом загрязнения воздуха: с ростом аэротехногенного загрязнения содержание аминокислоты возрастает.

Ключевые слова: пролин; виды интродуценты; аборигенные виды; биодиагностика; биоиндикаторы; зелёные насаждения; урбоэкосистема

Для цитирования. Нестеренко В.М., Москаленко И.В., Авраменко М.В., Анищенко Л.Н. Дополнения к долговременной оценке среды урбоэкосистем с использованием фоновых видов растений зелёных зон // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 105-125. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-873

Original article

THE ADDITIONS TO LONG-TERM ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URBOECO-SYSTEMS USING BACKGROUND SPECIES GREEN AREAS PLANTS

*V.M. Nesterenko, I.V. Moskalenko,
M.V. Avramenko, L.N. Anishchenko*

The article discusses the results of a long-term bioindication study carried out in the period from 2017 to 2023 years to study the content of the amino acid proline in a biomass sample of background species of green spaces (introduced and native species), as the main biochemical marker of the state of the environment under conditions of a strong combination of stress factors. The bioindicators in the experiment were elements of green spaces in the administrative districts of the city of Bryansk: Sovetsky, Bezhitsky, Fokinsky, Volodarsky, as well as in the control - the village of Dobrun, Bryansk district: 14 species of angiosperms and gymnosperms were taken into account.

The purpose of the work is to evaluate in the long term the change in the content of the amino acid proline as a biochemical marker of the state of the

environment of a large city in the Non-Black Earth Region of the Russian Federation when diagnosing the biomass of background plants. The stability coefficient of dendroflora growing in 4 districts of Bryansk is presented, indicating the minimum and maximum values of amino acid cumulation by region and the air pollution index. The lowest value of the cumulation coefficient was calculated for the species: *Pinus sylvestris* L. (3,5-3,97), *Picea abies* L. (3,68-4,14), *Picea pungens* L. (3,77-4,28); highest value: *Aesculus hippocastanum* L. (6,17-6,59), *Acer negundo* L. (6,29-6,74), *Syringa vulgaris* L. (6,38-6,8). A series of sensitivity of woody plants to air pollution has been compiled according to the degree of reduction in proline content: *Pinus sylvestris* < *Picea abies* L. < *Picea pungens* L. < *Thuja occidentalis* L. < *Quercus robur* < *Betula pendula* < *Salix triandra* < *Tilia cordata* < *Sorbus aucuparia* < *Robinia pseudoacacia* < *Acer platanoides* < *Acer negundo* < *Aesculus hippocastanum* < *Syringa vulgaris*.

It has been **established** that the concentration of proline is related by a regression relationship to the calculated air pollution index: with the growth of aerotechnogenic pollution, the content of the amino acid increases.

Keywords: proline; introduced species; native species; biodiagnostics; bio-indicators; green spaces; urban ecosystem

For citation. V.M. Nesterenko, I.V. Moskalenko, M.V. Avramenko, L.N. Anishchenko The Additions to Long-Term Environmental Assessment of Urboeco-Systems using Background Species Green Areas Plants. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 105-125. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-873

Введение

Многочисленные эксперименты по направлениям биохимического мониторинга, проведённые за последние 20 лет, выявили перспективные биоиндикаторы: древесные и кустарниковые растения в урбоэкосистемах, в промышленно загрязнённых территориях и на участках эталонных экосистем; мохообразные и лишайники для диагностики качества воздуха даже на трансграничных территориях в соответствии с международной программой ООН [8; 12-14; 20; 21].

Особенно востребованы комплексные исследования для выявления состояния сред обитания в урбоэкосистемах, так как они сосредотачивают самые разнообразные загрязнители, формируя техногенную биогеохимическую провинцию с плохо прогнозируемыми загрязнителями и их концентрацией, превосходящей содержание ионов, например, в месторождениях. В городах на биоиндикаторы оказывает воздействие и

совместные способы поступления поллютантов: через элементы почвенно-поглощающего комплекса, через воздух и даже при самоочищении атмосферы с потоками дождя.

Пролин – низкомолекулярный метаболит, который представляет собой часть антиоксидантной системы растений, общий механизм функционирования которой требует дополнительных изысканий, несмотря на более чем 60-летнюю историю изысканий [16; 17]. Пролин (нейтральная аминокислота, хорошо растворим в воде, видимо синтезируется из орнитина и глутамата у растений, известный осмопротектор), как ключевой детерминант белкового комплекса плазмалеммы, определяющих транспортную, ферментативную функцию клеточного барьера; кроме того, по некоторым данным аминокислота участвует в синтезе запасных белков-протекторов [3; 9; 10]. В последнее десятилетие обоснованы новые роли пролина в ростовых процессах и совокупности этапов развития у биосистем [16; 17; 19]. Таким образом концентрация аминокислоты в растительных тканях – важное условие нормального функционирования системы: пролин регулирует экспрессию гена циклина на уровне транскрипции, хелатирует металлы, ксеногенез, развитие соцветий, увеличение размеров корня и побега, развитие зародыша в семени [15; 17]. По мнению ряда зарубежных авторов «пролиновый взрыв» диагностируется как следствие абиотического стресса и быстрого формирования защитного барьера у сельскохозяйственных и дикорастущих растений, повышая активности других антиоксидантов [9; 10; 16-18]. В связи с вышеизложенным, диагностика индивидуально-го накопления пролина в условиях сильного сочетанного урбаногенного стресса достаточно актуальна и будет способствовать обновлению базы биоиндикационных исследований в мониторинге, оптимизации диагностики среды и разработки механизмов её улучшения.

Цель работы – оценить в долговременном аспекте изменение содержания аминокислоты пролина как биохимического маркера состояния среды крупного города Нечерноземья РФ при диагностике биомассы фоновых растений.

Материалы, методы и методики исследований

Пролин (Пр) – гетероциклическая аминокислота, содержание которой – показатель абиотического стресса. Накопление пролина – важный защитный механизм, который стабилизирует устойчивость мембран и белковые структуры, уменьшает у растений стресс от обезвоживания, регулирует мембранный потенциал при синтезе АТФ. Если концентрация Пр возрастает – это свидетельствует о результатах воздействия стресса [3; 5]. Определение

пролина проводили по методике Bates с изменениями (1973) с использованием нингидрина. Рассчитывали коэффициент устойчивости (КУ) [11].

Биомассу листовых пластинок исследовали у фоновых видов, имеющих различное происхождение – аборигенов и интродуцентов: 1. *Quercus robur* L. (Qr L.), 2. *Acer platanoides* L. (Ap L.), 3. *Tilia cordata* L. (Tc L.); 4. *Betula pendula* L. (Bp L.), 5. *Aesculus hippocastanum* L. (Ah L.), 6. *Picea abies* L. (Pa L.), 7. *Picea pungens* L. (Pp L.), 8. *Thuja occidentalis* L. (To L.), 9. *Salix triandra* L. (St L.), 10. *Pinus sylvestris* L. (Ps L.), 11. *Acer negundo* L. (An L.), 12. *Sorbus aucuparia* L. (Sa L.), 13. *Syringa vulgaris* L. (Sv L.), 14. *Robinia pseudoacacia* L. (Rp L.) [4]. Все пробы отобраны с соблюдением требований и единых методик пробоотбора [2; 6].

Исследование проходило в административных районах города Брянска на территории зелёных зон. Общая площадь, занятая зелёными насаждениями, составила 1102,2 га в Советском, Бежицком, Фокинском, Володарском районах [7]. Так как конструирование зелёных зон в городе проходило по единому плану, в районах представлен схожий сортимент видов двух отделов. Точки пробоотбора биомассы представлены на рисунке 1-4.

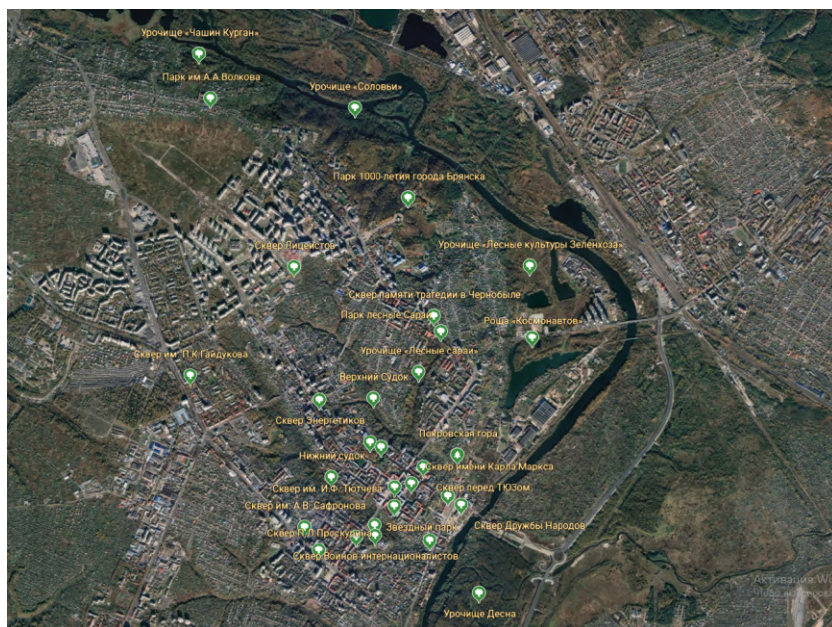


Рис. 1. Зелёные насаждения г. Брянска (Советский р-н)

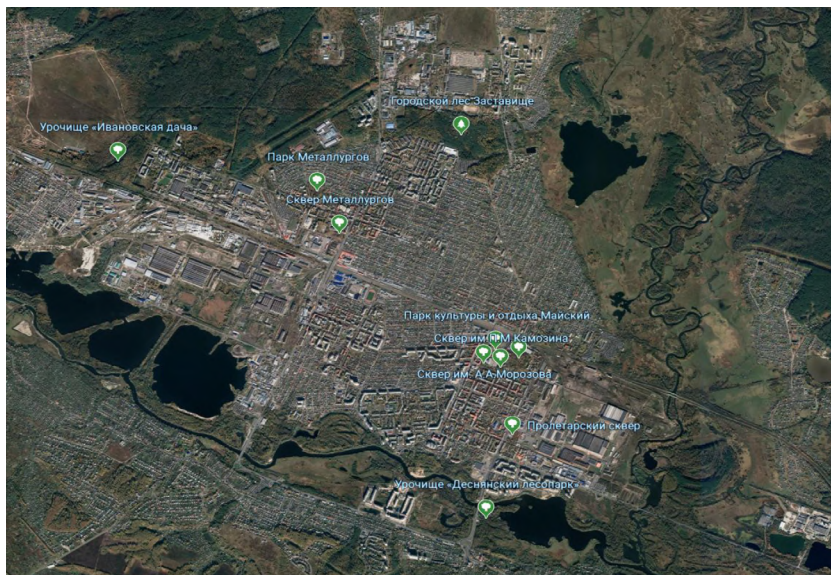


Рис. 2. Зелёные насаждения г. Брянска (Бежицкий р-н)

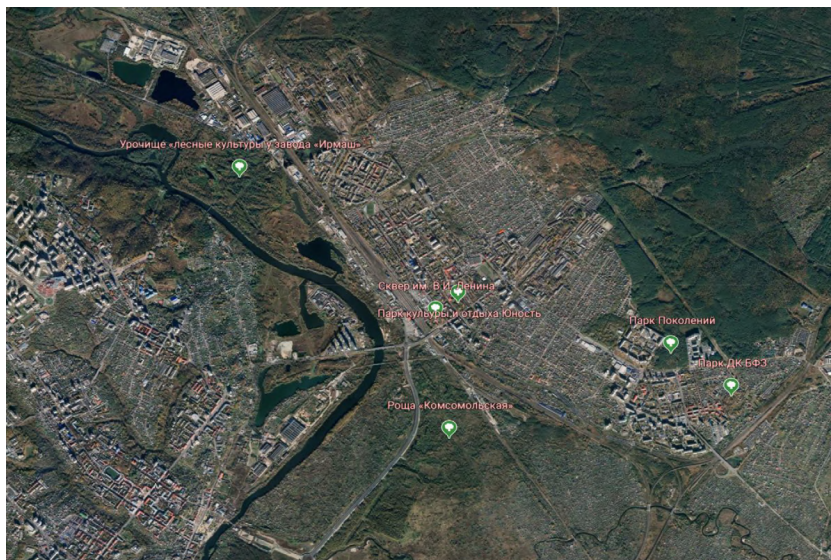


Рис. 3. Зелёные насаждения г. Брянска (Володарский р-н)



Рис. 4. Зелёные насаждения г. Брянска
(Фокинский р-н)

Результаты работы и обсуждение

Для установления возможности использования биохимического критериального оценочного показателя – содержание пролина в биомассе древесных и кустарниковых растений – в общей диагностике среды проведены сравнительные исследования для реперных точек урбоэкосистемы. Ввиду малого изменения концентрации стресс-индуцированного пролина в условиях постоянно действующих факторов урбоэкосистем провели сравнительную характеристику содержания аминокислоты за шестилетний период в 2017 и 2023 г. В таблицах 1 и 2 отражены показатели пролина в биомассе фоновых видов растений при стресс-адаптации. Все экземпляры растений для пробоотбора выбирались в среднем генеративном (g2) онтогенетическом состоянии, поэтому результаты содержания аминокислоты использовали для сравнительных биоиндикационных характеристик.

Таблица 1.

**Показатели содержания аминокислоты пролина в биомассе листьев
фоновых видов растений на территории г. Брянска (2017 г.)**

№ п/п	Виды растений	Содержание (M ±m) пролина, мг% на сырую массу		КУ
		д. Добрунь Брянско- го района, контроль	экспериментальное исследование	
Советский район				
	Ps L.	7,1±0,07	28,18±2,5	3,97
	Pa L.	7,3±0,06	30,22±2,5	4,14
	Pp L.	7,6±0,08	32,53±2,5	4,28
	To L.	7,8±0,05	35,49±3,1	4,55
	Qr L.	8,5±0,07	40,72±2,4	4,79
	Bp L.	8,7±0,05	43,85±2,3	5,04
	St L.	9,1±0,08	48,96±3,1	5,38
	Tc L.	9,8±0,07	55,27±1,2	5,64
	Sa L.	10,2±0,08	60,48±2,3	5,93
	Rp L.	11,3±0,09	70,74±3,0	6,26
	Ap L.	11,8±0,07	76,35±2,9	6,47
	Ah L.	13,1±0,10	86,33±3,0	6,59
	An L.	14,3±0,10	95,38±3,2	6,74
	Sv L.	15,4±0,11	104,72±3,0	6,80
Бежицкий район				
	Ps L.	7,1±0,07	27,26±0,02	3,84
	Pa L.	7,3±0,06	29,27±0,02	4,01
	Pp L.	7,6±0,08	31,54±0,03	4,15
	To L.	7,8±0,05	34,47±0,03	4,42
	Qr L.	8,5±0,07	39,60±0,04	4,66
	Bp L.	8,7±0,05	42,71±0,04	4,91
	St L.	9,1±0,08	47,78±0,05	5,25
	Tc L.	9,8±0,07	53,99±0,05	5,51
	Sa L.	10,2±0,08	59,16±0,06	5,80
	Rp L.	11,3±0,09	69,04±0,06	6,11
	Ap L.	11,8±0,07	74,81±0,07	6,34
	Ah L.	13,1±0,10	84,63±0,08	6,46
	An L.	14,3±0,10	94,52±0,09	6,61
	Sv L.	15,4±0,11	102,72±0,1	6,67
Фокинский район				
	Ps L.	7,1±0,07	26,34±0,02	3,71
	Pa L.	7,3±0,06	28,32±0,03	3,88
	Pp L.	7,6±0,08	30,55±0,03	4,02
	To L.	7,8±0,05	33,46±0,03	4,29

	Qr L.	8,5±0,07	38,51±0,04	4,53
	Bp L.	8,7±0,05	41,49±0,04	4,78
	St L.	9,1±0,08	46,59±0,05	5,12
	Tc L.	9,8±0,07	52,72±0,05	5,38
	Sa L.	10,2±0,08	57,83±0,06	5,67
	Rp L.	11,3±0,09	67,57±0,07	5,98
	Ap L.	11,8±0,07	73,28±0,08	6,21
	Ah L.	13,1±0,10	82,92±0,08	6,33
	An L.	14,3±0,10	92,66±0,09	6,48
	Sv L.	15,4±0,11	100,72±0,1	6,54
Володарский район				
	Ps L.	7,1±0,07	25,42±0,02	3,58
	Pa L.	7,3±0,06	27,38±0,02	3,75
	Pp L.	7,6±0,08	29,56±0,03	3,89
	To L.	7,8±0,05	32,45±0,03	4,16
	Qr L.	8,5±0,07	37,40±0,04	4,40
	Bp L.	8,7±0,05	40,46±0,04	4,65
	St L.	9,1±0,08	45,41±0,05	4,99
	Tc L.	9,8±0,07	51,45±0,05	5,25
	Sa L.	10,2±0,08	56,51±0,06	5,54
	Rp L.	11,3±0,09	66,10±0,06	5,85
	Ap L.	11,8±0,07	71,75±0,07	6,08
	Ah L.	13,1±0,10	81,22±0,08	6,20
	An L.	14,3±0,10	90,80±0,09	6,35
	Sv L.	15,4±0,11	98,71±0,09	6,41

Таблица 2.

**Показатели содержания аминокислоты пролина в биомассе листьев
фоновых видов растений на территории г. Брянска (2023 г.)**

№ п/п	Виды растений	Содержание (M ±m) пролина, мг% на сырую массу		КУ
		д. Добрунь Брянско- го района, контроль	экспериментальные исследования	
Советский район				
	Ps L.	6,97±0,06	27,11±0,02	3,89
	Pa L.	7,16±0,06	29,14±0,03	4,07
	Pp L.	7,45±0,07	30,99±0,03	4,16
	To L.	7,63±0,07	32,27±0,03	4,23
	Bp L.	8,37±0,08	38,92±0,04	4,65
	Bp L.	8,60±0,08	43,95±0,04	5,11
	St L.	8,97±0,09	48,97±0,05	5,46
	Tc L.	9,65±0,09	55,19±0,05	5,72

	Sa L.	10,07±0,1	58,81±0,06	5,84
	Rp L.	11,16±0,1	70,87±0,07	6,35
	Ap L.	11,62±0,2	75,88±0,07	6,53
	Ah L.	12,93±0,2	84,82±0,08	6,56
	An L.	14,17±0,3	94,66±0,09	6,68
	Sv L.	15,26±0,4	103,31±0,1	6,77
Бежицкий район				
	Ps L.	6,97±0,06	26,20±0,02	3,76
	Pa L.	7,16±0,06	28,21±0,02	3,94
	Pp L.	7,45±0,07	30,02±0,03	4,03
	To L.	7,63±0,07	31,28±0,03	4,10
	Qr L.	8,37±0,08	37,83±0,04	4,52
	Bp L.	8,60±0,08	42,83±0,04	4,98
	St L.	8,97±0,09	47,81±0,05	5,33
	Tc L.	9,65±0,09	53,94±0,05	5,59
	Sa L.	10,07±0,1	57,49±0,06	5,71
	Rp L.	11,16±0,1	69,41±0,07	6,22
	Ap L.	11,62±0,2	74,67±0,07	6,40
	Ah L.	12,93±0,2	83,14±0,08	6,43
	An L.	14,17±0,3	92,81±0,09	6,55
	Sv L.	15,26±0,4	101,33±0,1	6,64
Фокинский район				
	Ps L.	6,97±0,06	25,30±0,02	3,63
	Pa L.	7,16±0,06	27,28±0,02	3,81
	Pp L.	7,45±0,07	29,06±0,03	3,90
	To L.	7,63±0,07	30,29±0,03	3,97
	Qr L.	8,37±0,08	36,74±0,04	4,39
	Bp L.	8,60±0,08	41,71±0,04	4,85
	St L.	8,97±0,09	46,64±0,05	5,20
	Tc L.	9,65±0,09	52,69±0,05	5,46
	Sa L.	10,07±0,1	56,19±0,06	5,58
	Rp L.	11,16±0,1	67,96±0,06	6,09
	Ap L.	11,62±0,2	72,86±0,07	6,27
	Ah L.	12,93±0,2	81,45±0,08	6,30
	An L.	14,17±0,3	90,97±0,09	6,42
	Sv L.	15,26±0,4	99,34±0,09	6,51
Володарский район				
	Ps L.	6,97±0,06	24,39±0,02	3,50
	Pa L.	7,16±0,06	26,35±0,02	3,68
	Pp L.	7,45±0,07	28,09±0,03	3,77
	To L.	7,63±0,07	29,30±0,03	3,84
	Qr L.	8,37±0,08	35,66±0,04	4,26

	Bp L.	8,60±0,08	40,59±0,04	4,72
	St L.	8,97±0,09	45,48±0,05	5,07
	Tc L.	9,65±0,09	51,43±0,05	5,33
	Sa L.	10,07±0,1	54,88±0,05	5,45
	Rp L.	11,16±0,1	66,51±0,06	5,96
	Ap L.	11,62±0,2	71,35±0,07	6,14
	Ah L.	12,93±0,2	79,77±0,08	6,17
	An L.	14,17±0,3	89,13±0,09	6,29
	Sv L.	15,26±0,4	97,36±0,09	6,38

По итогам 6-летних изысканий было установлено, что биомасса разных видов фоновых растений в зелёных насаждениях накапливает пролин в зависимости от видовых особенностей. Так, различия между минимальными и максимальными значениями кумуляции аминокислоты достоверно различаются, что справедливо и для контроля, и в эксперименте. Таким образом для каждой географической территории должен вестись поиск биоиндикаторов растительного происхождения, а также должны устанавливаться динамические границы концентрации маркерного вещества.

Полученные данные совпадают с результатами, полученными в других географических регионах (Туле, Москве) [1; 18]. Аналогично выявлены высокие концентрации для *Acer platanoides*, а также низкое содержание – для представителей голосеменных растений – семейства сосновых, кипарисовых. Вероятно, меньшая концентрация исследуемого биологически активного вещества у голосеменных объясняется ксерофитностью, нетребовательностью к минеральному составу почвы, что компенсируется другими механизмами стрессоустойчивости. Также для видов семейства сосновых и кипарисовых характерно достаточно высокое осмотическое давление, поэтому содержание пролина как модулятора осмотофности, осмолита, оказывается вторично. Среднее содержание пролина выявлено для представителей семейства ивовых, берёзовых, буковых. Для физико-географических условий города Брянска выявлен вид, в биомассе которого накапливается пролин, – *Syringa vulgaris*. Вероятно, при продолжении мониторинговых исследований кустарник можно рекомендовать как биоиндикатор сочетанных условий стресса. Значения концентраций пролина в биомассе видов, отобранных в различных административных районах города различаются недостоверно, что также свидетельствует о сходной реакции видов на абиотические стрессоры.

На рисунке 5 показано содержание пролина в фитомассе древесных растений на примере Советского района и контроля. Выявляется ряд по

степени увеличения содержания аминокислоты в листьях растений, следовательно, и возрастание устойчивости к стрессам.

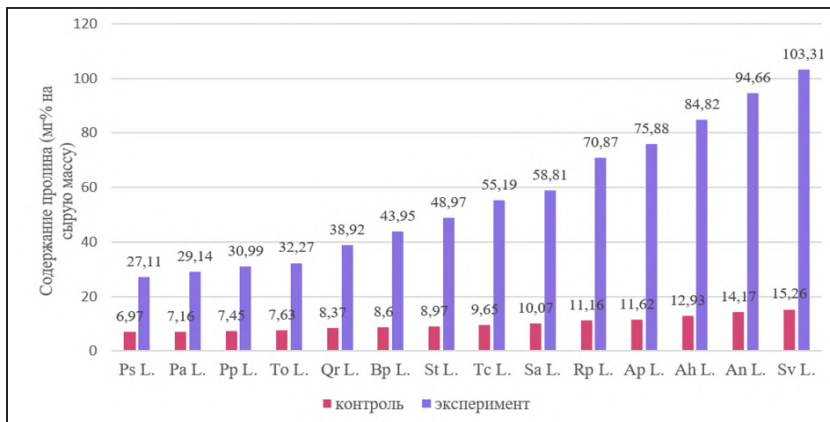


Рис. 5. Содержание пролина (мг % на сырую массу) в фитомассе древесных растений в условиях г. Брянска

Для Советского района г. Брянска составлен ряд чувствительности древесных и кустарниковых растений к аэрозагрязнению по степени уменьшения пролина: Ps L. < Pa L. < Pp L. < To L. < Qr L. < Bp L. < St L. < Tc L. < Sa L. < Rp L. < Ap L. < An L. < Ah L. < Sv L. Аналогичные тенденции отмечены для растений из других районов города.

На рисунке 6 показаны коэффициенты устойчивости (по содержанию пролина, мг % на сырую массу) дендрофлоры, произрастающей в 4-х районах г. Брянска.

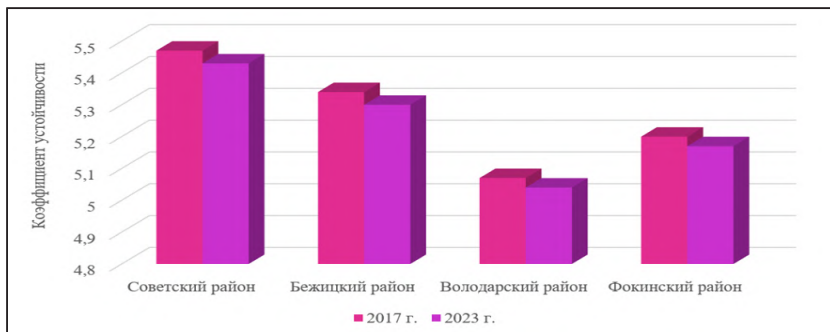


Рис. 6. Коэффициент устойчивости (по содержанию пролина, мг % на сырую массу) древесных растений в 4-х районах г. Брянска

Составлен ряд по степени уменьшения содержания аминокислоты в древесных растениях характерный для 4-х районов г. Брянска: Советский > Бежицкий > Фокинский > Володарский. Наибольшие значения КУ по концентрации пролина выявлены для широко представленных видов интродуцентов: *Syringa vulgaris*, *Acer negundo*, *Aesculus hippocastanum*, *Robinia pseudoacacia*, наименьшие – представителей семейства сосновых и кипарисовых. Следовательно, на основании расчётного индекса можно рекомендовать к массовому применению для зелёного строительства указанные виды, а также создавать соответствующие условия для произрастания видам рода сосна, ель, туя в урбоэкосистемах.

Инструментальные исследования состояния атмосферного воздуха территории города и расчёт модельного индекса загрязнения атмосферы (ISA), рекомендуемого Росгидрометом для сравнительных работ, показали, что значения индекса изменялись в пределах 7,657-3,721 (повышенный), среднее значение – 5,31. Зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) для: NO – в 1,06-2,43 раза, NO₂ – в 1,02-1,27, формальдегида – в 1,101-2,283, SO₂ – в 1,05-3,47, H₂S – в 1,37-1,02, CO – в 1,080-2,902, NH₃ – в 1,14-1,80 раза. Инструментальные исследования показали, что в 2017/2023 гг. по степени убывания загрязнения районы города располагаются в следующем порядке: Советский > Бежицкий > Фокинский > Володарский.

Нами выявлена связь между содержанием пролина и значениями ISA в пределах точек пробоботбора административных районов, продемонстрированная в виде регрессионной связи (рисунки 7-10). Наблюдается прямая зависимость между КУ по концентрации пролина в биомассе и общим состоянием воздуха: величины достоверности аппроксимации составили 0,8478 (для Советского района города), 0,9072 (для Бежицкого района), 0,8749 (для Фокинского района), 0,8093 (для Володарского района), $F_{\text{фак}} > F_{\text{таб}}$.

Таким образом прямая зависимость между параметрами сравнения свидетельствует о том, что с увеличением степени загрязнения растёт средний КУ по содержанию пролина в биомассе фоновых растений. Эти расчёты подтверждают, что даже при воздействии невысоких доз аэротехногенных стрессов (загрязнений) содержание пролина как биологически активного вещества изменяется в сторону увеличения [16-18]. Вероятно, содержание поллютантов в воздушной среде сопровождаются ещё одним фактором накопления аминокислоты – пониженным обводнением субстратов и снижением доступности водных лимитирующих ресурсов ввиду иссушения урбиков, а также повышенным солевым загрязнением урбанозёмов.

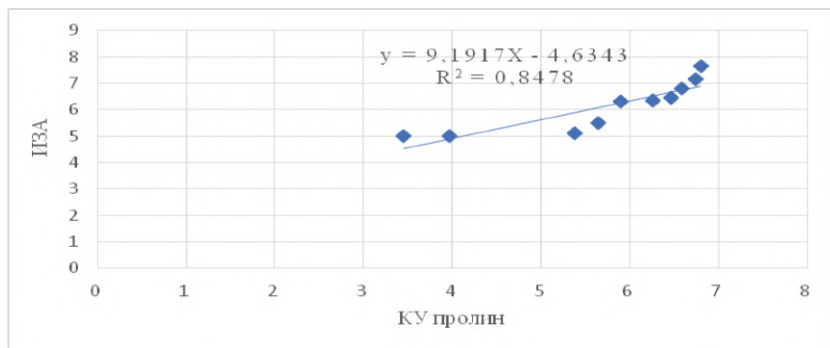


Рис. 7. Регрессионная зависимость ISA и средних значений КУ в условиях Советского района

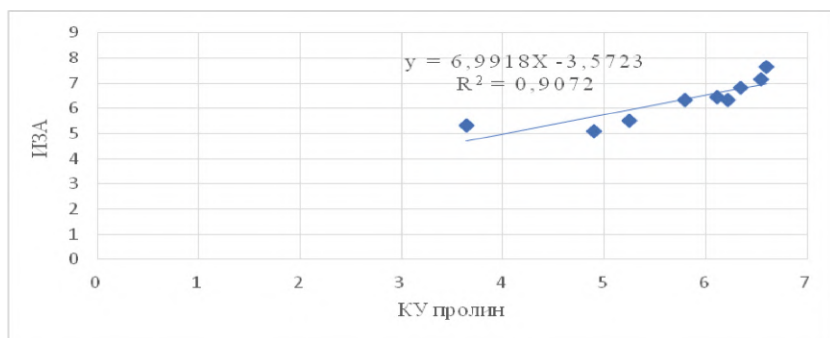


Рис. 8. Регрессионная зависимость ISA и средних значений КУ в условиях Бежицкого района

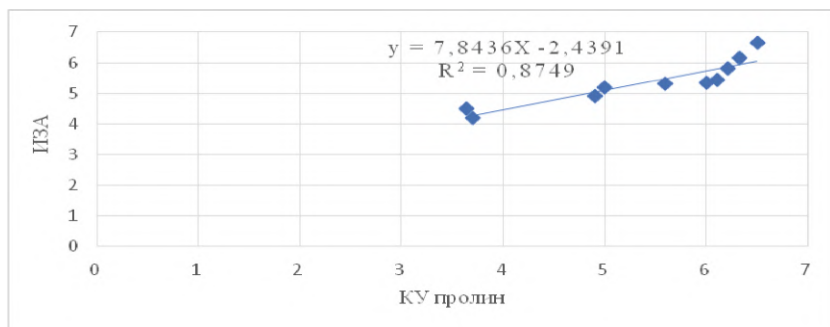


Рис. 9. Регрессионная зависимость ISA и средних значений КУ в условиях Фокинского района

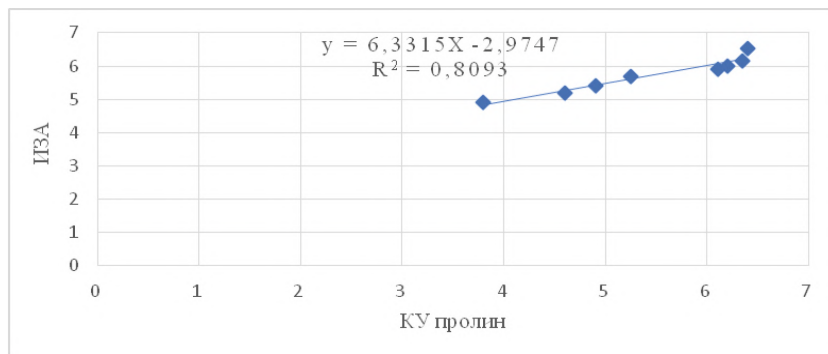


Рис. 10. Регрессионная зависимость ИЗА и средних значений КУ в условиях Володарского района

Поэтому биохимический путь адаптации растений, обитающих в экстремальных условиях местообитаний, характеризуясь многофазностью, на первых этапах проявляется усилением активности биохимических реакций, что неоднократно отмечалось для разных физико-географических условий [1; 16-19]. Также зарегистрированное по КУ значительное содержание аминокислоты связано с замедлением утилизации пролина, остановке процессов его дальнейших преобразований.

Выводы

Анализ результатов исследований показал, что содержание пролина в листьях фоновых видов древесных и кустарниковых растений в точках пробоотбора для четырёх административных районов города достоверно выше контроля в 3,57-6,78 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). Однако концентрация пролина в растениях по годам различается не достоверно ($t_{\text{факт}} < t_{\text{табл}}$). Максимальное содержание маркерной аминокислоты в биоиндикаторах отмечена в Советском районе (104,72%), минимальная – Володарском районе (25,42 %).

Отмечено, что антропогенное загрязнение оказывает существенное влияния на изменение накопления пролина у листьев древесных растений: по сравнению с контролем наблюдается достоверное увеличение в 4,50-5,20 раза ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$, $P=99\%$). Максимальная концентрация пролина отмечена в Советском районе (80,08%), минимальная в Володарском районе (46,12%). Возрастание содержания стресс-индуцированной аминокислоты в клетках растений увеличивает устойчивость представителей видов фо-

новых растений зелёных насаждений к стрессам. Составлен ряд чувствительности древесных растений к аэрозагрязнению по степени уменьшения пролина: Ps L. < Pa L. < Pp L. < To L. < Qr L. < Bp L. < St L. < Tc L. < Sa L. < Rp L. < Ap L. < An L. < Ah L. < Sv L.

Проанализированная регрессионная прямая зависимость между индексом ISA и концентрацией маркерной аминокислоты свидетельствует о том, что с увеличением степени загрязнения растёт средний КУ по содержанию пролина в биомассе фоновых растений. Эти расчёты подтверждают, что даже при воздействии невысоких доз аэротехногенных стрессов (загрязнений) изменяется в сторону увеличения содержание биологически активного вещества – пролина.

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

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Список литературы

1. Гарифзянов А. Р. Исследование антиоксидантной системы древесных растений в условиях промышленного загрязнения: Автореф. дисс. канд.биол. наук. Пущино, 2011. 23 с.
2. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [Электронный ресурс] / Справ.-правовая система «КонсультантПлюс». URL: <https://www.consultant.ru/>
3. Кузнецов В.В Пролин как стресс: биологическая роль, метаболизм, регуляция // Физиология растений. 1999. Т. 46. №2. С. 32-40.
4. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд., испр. и доп. М.: Тов. науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
5. Рогожин В.В. Практикум по биологической химии. СПб: Изд-во Лань, 2006. 256 с.
6. Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу / пер. с англ.; под ред. А. Г. Рябошапко. Kjeller, 2001 [Электронный ресурс]. <http://tarantula.nilu.no/projects/cce/manual/index.html>
7. Рыбальский Н.Г. Природные ресурсы и окружающая среда субъектов Российской Федерации. Центральный округ: Брянская область / Под ред. Н.Г. Рыбальского, Е.Д. Самотесова, А.Г. Митюкова. М.: НИА. Природа, 2007. 1114 с.

8. Сарбаева Е.В., Воскресенская О.Л. Оценка устойчивости древесно-кустарниковых растений в урбанизированной среде // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9011>
9. Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Кузиванова О.А., Атоян М.С. Сезонные изменения содержания растворимых белков и свободных аминокислот в почвах некоторых древесных растений // Растительные ресурсы. 2019. Т. 55. № 1. С. 113-121.
10. Тарчевский И.А., Егорова А.М. Участие пролина в адаптации растений к действию стресс-факторов и его использование в агробиотехнологии (обзор) // прикладная биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 4. С. 315-329.
11. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. Калининград: Изд-во Калининградского университета, 2000. 59 с.
12. Alotaibi M. D., Alharbi B. H., Al-Shamsi M. A., Alshahrani T. S., Al-Namazi A. A., Alharbi S. F., Alotaibi F. S., Qian Y. Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 29156–29170. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09226-w>
13. Anake W. U., Eimanehi J. E., Omonhinmin C. A. Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of selected plant species // Indonesian Journal of Chemistry. 2019. Vol. 19(1). P. 239–244. <https://doi.org/10.22146/ijc.35270>
14. Bharti S. K., Trivedi A., Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site // Urban Climate. 2018. Vol. 24. P. 820–829. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.007>
15. Cao X., Wu L., Wu M., Zhu C., Jin Q., Zhang J. Absciscic acid mediated proline biosynthesis and antioxidant ability in roots of two different rice genotypes under hypoxic stress // BMC Plant Biol. 2020. Vol. 20. № 1. Article number: 198. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02414-3>
16. Dutta T., Neelapark N.R.R., Wani S.H., Surekha C. Plant Signaling Molecules. Role and Regulation Under Stressful Environments / Ed. M. Iqbal R. Khan P. Sudhakar Reddy, A. Ferrante, N. Khan. Elsevier, 2019. P. 459–477. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00029-0>
17. Kavi Kishor P.B., Kumari P.H. Sunita M.S., Sreenivasulu N. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny // Front. Plant Sci. 2015. Vol. 6. P. 544–549. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00544>
18. Meena M., Divyanshu K., Kumar S., Swapnil P., Zehra A., Shukla V., Yadav M., Upadhyay R.S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction,

transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions // *Heliyon*. 2019. Vol. 5(12). e02952. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02952>

19. Takahashi F., Kuromori T., Urano K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Drought Stress Responses and Resistance in Plants: From Cellular Responses to Long-Distance Intercellular Communication // *Front. Plant Sci.* 2020. Vol. 11. P. 1407. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.556972>
20. Tak A. A., Kakde U. B. Evaluation of air pollution tolerance and performance index of plants growing in industrial areas // *International Journal of Ecology and Environmental Science*. 2020. Vol. 2(2). P. 1-9.
21. Viradia S., Kaneria M., Misan V. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) of selected plants from two different industrial sites of Rajkot // *Proceeding of the National Conference on Innovations in Biological Sciences (NCIBS)*. 2020. P. 109–117. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3559975>

References

1. Garifzyanov A. R. *Research of antioxidant system of woody plants in conditions of industrial pollution*. Pushchino, 2011, 23 p.
2. GOST 17.4.4.02-84. Methods of selection and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis. *ConsultantPlus*. URL: <https://www.consultant.ru/>
3. Kuznetsov V.V. Proline as a stress: biological role, metabolism, regulation. *Plant Physiology*, 1999, vol. 46, no. 2, pp. 32-40.
4. Maevsky P.F. *Flora of the middle zone of the European part of Russia*. Moscow: KMK, 2014, 635 p.
5. Rogozhin V.V. *Practicum on biological chemistry*. SPb: Izd-vo Lan, 2006, 256 p.
6. *EMEP Manual on sampling and chemical analysis* / translated from English; ed. by A. G. Ryaboshapko. Kjeller, 2001. <http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html>
7. Rybalsky N.G. *Natural resources and environment of the subjects of the Russian Federation. Central District: Bryansk Oblast* / Edited by N.G. Rybalsky, E.D. Samotesov, A.G. Mityukov. Moscow: NIA. Nature, 2007, 1114 p.
8. Sarbaeva E.V., Voskresenskaya O.L. Estimation of the stability of tree and shrub plants in the urbanized environment. *Modern problems of science and education*, 2013, no. 2. <https://science-education.ru/ru/article/view?id=9011>
9. Tabalenkova G.N., Malyshev R.V., Kuzivanova O.A., Atoyan M.S. Seasonal changes in the content of soluble proteins and free amino acids in the soils of some woody plants. *Plant Resources*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 113-121.

10. Tarchevsky I.A., Egorova A.M. Participation of proline in plant adaptation to the action of stress factors and its use in agrobiotechnology (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2022, vol. 58, no. 4, pp. 315–329.
11. Chupakhina G.N. *Physiological and biochemical methods of plant analysis*. Kaliningrad: Izd-vo Kaliningrad University, 2000, 59 p.
12. Alotaibi M. D., Alharbi B. H., Al-Shamsi M. A., Alshahrani T. S., Al-Namazi A. A., Alharbi S. F., Alotaibi F. S., Qian Y. Assessing the response of five tree species to air pollution in Riyadh City, Saudi Arabia, for potential green belt application. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, vol. 27, pp. 29156–29170. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09226-w>
13. Anake W. U., Eimanehi J. E., Omonhinmin C. A. Evaluation of air pollution tolerance index and anticipated performance index of selected plant species. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2019, vol. 19(1), pp. 239–244. <https://doi.org/10.22146/ijc.35270>
14. Bharti S. K., Trivedi A., Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*, 2018, vol. 24, pp. 820–829. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.007>
15. Cao X., Wu L., Wu M., Zhu C., Jin Q., Zhang J. Absciscic acid mediated proline biosynthesis and antioxidant ability in roots of two different rice genotypes under hypoxic stress. *BMC Plant Biol.*, 2020, vol. 20, no. 1. Article number: 198. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02414-3>
16. Dutta T., Neelap K.N.R., Wani S.H., Surekha C. *Plant Signaling Molecules. Role and Regulation Under Stressful Environments* / Ed. M. Iqbal R. Khan P. Sudhakar Reddy, A. Ferrante, N. Khan. Elsevier, 2019, pp. 459–477. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816451-8.00029-0>
17. Kavi Kishor P.B., Kumari P.H. Sunita M.S., Sreenivasulu N. Role of proline in cell wall syntesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Front. Plant Sci.*, 2015, vol. 6, pp. 544–549. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00544>
18. Meena M., Divyanshu K., Kumar S., Swapnil P., Zehra A., Shukla V., Yadav M., Upadhyay R.S. Regulation of L-proline biosynthesis , signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon.*, 2019, vol. 5(12), e02952. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02952>
19. Takahashi F., Kuromori T., Urano K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Drought Stress Responses and Resistance in Plants: From Cellular Responses to Long-Distance Intercellular Communication. *Front. Plant Sci.*, 2020, vol. 11, p. 1407. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.556972>

20. Tak A. A., Kakde U. B. Evaluation of air pollution tolerance and performance index of plants growing in industrial areas. *International Journal of Ecology and Environmental Science*, 2020, vol. 2(2), pp. 1-9.
21. Viradia S., Kaneria M., Misan V. Comparative assessment of air pollution tolerance index (APTI) of selected plants from two different industrial sites of Rajkot. *Proceeding of the National Conference on Innovations in Biological Sciences (NCIBS)*, 2020, pp. 109–117. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3559975>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Нестеренко Виктория Михайловна, 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
vivo.mih@gmail.com*

Москаленко Игорь Владимирович, кандидат биологических наук, старший преподаватель 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
moskalenkigor@yandex.ru*

Авраменко Марина Васильевна, 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
avramenko_marina84@mail.ru

Анищенко Лидия Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры географии, 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
lanishchenko@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Victoria M. Nesterenko, 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
vivo.mih@gmail.com

Igor V. Moskalenko, 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
moskalenkigor@yandex.ru

Marina V. Avramenko, 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
avramenko_marina84@mail.ru

Lidiya N. Anishchenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Geography, Land Management Ecology
Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky
14, Bezhitskaya Str., Bryansk, 241036, Russian Federation
lanishchenko@mail.ru

Поступила 16.12.2023

После рецензирования 05.02.2024

Принята 22.02.2024

Received 16.12.2023

Revised 05.02.2024

Accepted 22.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-921

UDC 631.85



Original article

PHOSPHATE FERTILIZERS MARKETED IN RUSSIA AS A SOURCE OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE SOIL

*A.D. Kotelnikova, K.A. Kolchanova,
M.A. Shishkin, O.B. Rogova*

Phosphate fertilizers actively used in agriculture can serve as a source of various impurities in the soil, which can have a negative impact on environmental components. In this work, the content of rare earth elements (REEs) in phosphate fertilizers marketed in Russia was evaluated. REEs are a group of elements that are actively studied due to possible negative and positive effects on living organisms. Currently, there are no standards for the content of REEs in soil and fertilizers. Also, in the literature there are no data on REEs content in phosphate fertilizers marketed on the territory of Russia and assessment of the significance of fertilizer application as a factor of REEs input into agricultural soils. Using the method of optical emission spectrometry with inductively coupled plasma, we obtained data on the REEs content in samples of phosphate rock, single and double superphosphate (22 samples). It is shown that phosphate fertilizers can differ significantly in REEs content, high REEs content (over 1000 mg/kg) was observed in some samples of single and double superphosphate. The group of phosphate rock samples is the most homogeneous in terms of REE content in the samples. Light REEs predominate over heavy REEs in the composition of fertilizers. According to the results of the study, it can be concluded that there is potentially no significant effect of the application of the studied phosphate fertilizers on the REEs content in the soil. However, the high REEs content in some fertilizer samples requires monitoring of REEs content in soils of agrocenoses, as well as the development of standards for REE content in mineral fertilizers.

Keywords: mineral fertilizers; impurities; lanthanides; phosphate rock; superphosphate

For citation. Kotelnikova A.D., Kolchanova K.A., Shishkin M.A., Rogova O.B. Phosphate Fertilizers Marketed in Russia as a Source of Rare Earth Elements in the Soil. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 126-141. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-921

Научная статья

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ В РОССИИ, КАК ИСТОЧНИК ПОСТУПЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВУ

А.Д. Котельникова, К.А. Колчанова, М.А. Шишкин, О.Б. Рогова

Активно применяемые в сельском хозяйстве фосфорные удобрения могут служить источником поступления в почву различных примесей, способных оказывать негативное воздействие на компоненты окружающей среды. В работе проведена оценка содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в фосфорных удобрениях, реализуемых на территории России. РЗЭ – группа элементов, которая активно изучается в связи с возможными как негативными там и положительными эффектами влияния на живые организмы. На настоящий момент не разработаны нормативы содержания РЗЭ в почве и удобрениях. Также в литературе отсутствуют данные о содержании РЗЭ в фосфорных удобрениях, реализуемых на территории России, и оценка значимости внесения удобрений как фактора поступления РЗЭ в сельскохозяйственные почвы. С применением метода оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой получены данные о содержании РЗЭ в образцах фосфоритной муки, простого суперфосфата и двойного суперфосфата (выборка включала 22 образца). Показано, что фосфорные удобрения могут существенно различаться по содержанию РЗЭ, высокое содержание РЗЭ (свыше 1000 мг/кг) отмечалось в отдельных образцах простого и двойного суперфосфата. Группа образцов фосфоритной муки наиболее однородна по содержанию РЗЭ в образцах. Легкие РЗЭ преобладают в составе удобрений над тяжелыми РЗЭ. По результатам проведенного исследования, можно сделать вывод о потенциальном отсутствии существенного влияния применения изученных фосфорных удобрений на содержание РЗЭ в почве. Однако, высокое содержание РЗЭ в некоторых образцах удобрений требуют мониторинга содержания РЗЭ в почвах агроценозов, а также разработки нормативов содержания РЗЭ в минеральных удобрениях.

Ключевые слова: минеральные удобрения; примеси; лантаноиды; фосфоритная мука; суперфосфат

Для цитирования. Котельникова А.Д., Колчанова К.А., Шишкин М.А., Рогова О.Б. Фосфорные удобрения, реализуемые в России, как источник поступления редкоземельных элементов в почву // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 126-141. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-921

Introduction

Phosphate fertilizers are among the most widely used fertilizers in the world, with demand reaching 47.4 million tons in 2020 and growing [5]. The need to consider fertilizer use as a potential source of contamination of agricultural soils and the surrounding environment has been recognized by researchers for some time [15]. While existing standards mainly define nutrient standards for fertilizers, some countries have developed standards for heavy metals in fertilizers. However, it should be noted that the use of fertilizers can be a source not only of heavy metals but also of rare earth elements [14].

The rare earth elements (REEs) are a group of metals that have attracted particular attention in recent decades. This group includes: Ce, La, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Sc and Y [2]. The applications of REEs and their importance to the global economy are detailed in the literature [2; 4; 12]. In addition to exploring their beneficial properties, many studies have been carried out on the effects of REEs on living organisms and ecosystem components due to their increasing concentrations in the environment [3; 6; 16]. Despite the controversy, there is more consensus among researchers about the negative effects of high concentrations of REEs on organisms and the possible hormesis effect of low concentrations. In this respect, the presence of REEs in fertilizers can be a positive factor, contributing additionally to plant growth and development, as has been shown in a number of studies [20]. On the other hand, in the case of long-term use, REEs may accumulate in the soil and it is then necessary to assess the permissible concentrations in the soil and the safety of the products, since they may be transferred to plants [18; 25; 26]. In addition to the total content, it is also important to get an idea of the bioavailability of REEs from mineral fertilizers, as this is not established and can be one of the criteria for assessing the quality of mineral fertilizers.

Limestone, a component of superphosphate fertilizers, contains REEs in the form of impurities, which are expected to increase their concentrations in soil and plants with long-term use of phosphate fertilizers [1; 7]. The concentration of REEs in apatite has been estimated and may exceed 1600 mg/kg, or 9000 mg/kg according to other sources due to the replacement of calcium by these elements [20]. It has been shown that up to 50-60% of the REEs is transferred to the superphosphate during the production of fertilizers from this raw material [18]. Superphosphate produced from Kola Peninsula apatite has been shown to have a total REEs content of approximately 2600 mg/kg [24]. According to the results of the Egyptian researchers, the REEs content of the superphosphate was La – 18.09 mg/kg, Ce – 8.55 mg/kg, Eu – 0.33 mg/kg [1], which is significantly lower than

for superphosphate produced from apatite from the Kola Peninsula. Australian phosphate fertilizers contain an average of 45.2 mg/kg La and 61.0 mg/kg Ce [9].

Thus, it is currently known that the REEs content of phosphate fertilizers can vary considerably. Existing work on the assessment of the REEs content of phosphate fertilizers is sparse and does not provide an indication of the possible input of these elements to the soil for different areas. There are references in the literature to high REE content in phosphate fertilizers produced from Russian raw materials, which can be explained by the high REE content of the raw materials. Russian phosphate rock is estimated to contain 2150 mg/kg La, 3420 mg/kg Ce, 131 mg/kg Sm and 54 mg/kg Eu [21]. These rocks appear to be significantly enriched in REEs, with average crustal contents of La 30-35 mg/kg, Ce 64-66 mg/kg, Sm 4.5-7 mg/kg, Eu 0.8-2.1 mg/kg [8; 23]. The aim of the work is to assess the REE content in a number of phosphate fertilizers marketed in Russia and to evaluate their potential inputs into soils of agrocenoses.

Materials and methods

Fertilizer samples. Samples of phosphate fertilizers of different brands available on the local market were purchased for the study. A selection of 22 samples representing three groups of fertilizers was obtained: rock phosphate (RP, 6 samples), single superphosphate (SSP, 8 samples) and double superphosphate (DSP, 8 samples). The short designation of the samples used in the following text and the phosphorus content according to the manufacturer's specifications are given in Table 1.

Determination of total REEs content in fertilizer samples. The fertilizer samples were ground in a ball mill using agate bowls and balls. To avoid cross-contamination of the samples during sieving, a special sieve was designed and 3D printed. Circles cut from 0.5 mm mesh sieve cloth were placed in the sieve and the sample bag was attached. In this way, contact of the samples with the surface of the sieve and of the samples with each other was avoided.

To determine the total REEs content of the fertilizer samples, a complete acid digestion of the samples was carried out. A sample of fertilizer (0.2-0.25 g) was placed in a PTFE beaker, moistened with a few drops of distilled water and a mixture of concentrated acids (1 ml HNO_3 , 1 ml HClO_4 and 6 ml HF) was added. The beakers were placed on a hotplate, covered with a PTFE lid, brought to the boil and heated for 30 minutes. The lids were then removed and evaporated until an intense white vapor appeared. The beakers were removed from the hotplate, cooled, washed on the walls with a small amount of distilled water and evaporated again to wet salts. Then 4 ml of HCl and 0.4 ml of H_3BO_3 were

added to each beaker, placed on a hotplate and evaporated to 1-2 ml. The solutions were transferred to 10 ml plastic tubes and made up to the mark with distilled water. Acid digestion of the fertilizer samples was carried out in triplicate.

The solutions were analyzed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) (5800 ICP-OES, Agilent Technologies, USA). Concentrations of REEs group representatives were determined: light REE (LREE) subgroup – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu; heavy REEs (HREEs) subgroup – Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, and Y. Sc is most often excluded from consideration due to its small ionic radius, and Pm has no stable isotopes [13].

Solubility of REEs in fertilizer samples. The aqueous extract was prepared at a ratio of 1:5 fertilizer sample to distilled water. The samples were shaken on a rotator at 230 rpm for one hour and then centrifuged at 4000 rpm for 10 minutes. To prepare the citric acid extract, 100 ml of a 2% citric acid ($C_6H_8O_7$) solution was added to 1 g of fertilizer. The samples were shaken in a rotator at 230 rpm for 15 minutes and then centrifuged at 4000 rpm for 6 minutes. Extraction was carried out in triplicate for each sample.

The solutions were analyzed by ICP-OES (5800 ICP-OES, Agilent Technologies, USA). REEs solubility was defined as the ratio of the concentration of soluble forms of elements to the total content in the fertilizer sample, expressed as a percentage [22].

Statistical analysis. Mean values and 95% t-confidence intervals were calculated using the STATISTICA 10.0 program.

Results and discussion

Analysis of the samples provided data on the REEs total content of phosphate fertilizers (Fig. 1). A subgroup of RP samples is the most homogeneous in terms of REEs content, with the maximum total content of REEs found in sample RP-3 (359 ± 25 mg/kg). In the subgroups of SSP and DSP samples, there were samples with significantly higher REEs concentrations. Three SSP samples (SSP-4, SSP-6, SSP-7) and two DSP samples (DSP-5, DSP-8) stand out with the maximum total REEs content in sample SSP-7 – 3467 ± 134 mg/kg. The average Σ REEs content of the Earth's crust is 189 mg/kg, and most uncontaminated soils are close to this [11; 19; 27]. Thus, most of the phosphate fertilizer samples analyzed appear to be comparable to the Earth's crust and soils in terms of total REEs content. However, in a number of samples the excess over the average content in the Earth's crust was 5 to 18 times. Differences in REEs concentrations between fertilizer samples may be due both to differences in the raw material used for production and to the specifics of the production process [19].

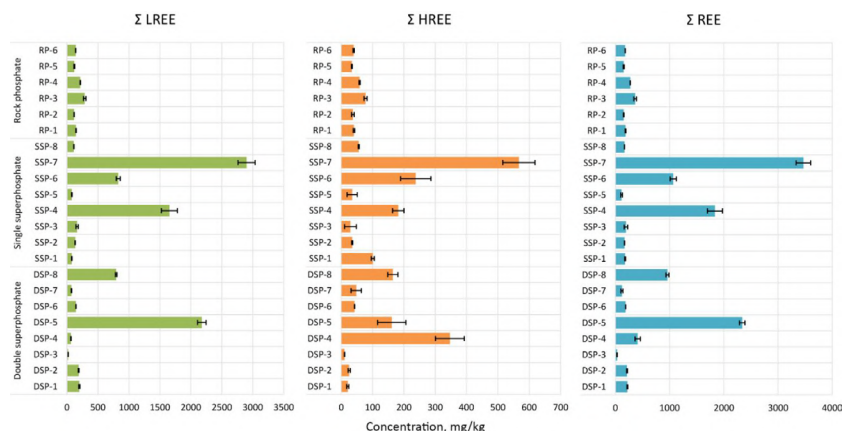


Fig. 1. Total content of LREE subgroup, HREE subgroup and total REE content in phosphate fertilizer samples.

We do not have information on the raw materials used to produce the fertilizers. However, we can be confident that most of Russia's phosphate rock deposits are of igneous origin. And these igneous ores – apatite ores – are mainly used to produce superphosphate and double superphosphate, while phosphate rock fertilizer is essentially ground phosphate ores – sedimentary ores. The origin of the raw materials can largely determine the REEs content of phosphate fertilizers. The absence of phosphate rock fertilizer samples (sedimentary origin) with extremely high REEs concentrations in our samples is in line with data reported by Brazilian researchers, who show higher concentrations in samples of igneous origin compared to sedimentary origin [22].

In most of the fertilizer samples the total content of the LREEs representatives fell into the pattern $Ce > Nd \approx La > Pr > Sm \approx Eu$ (the order of Sm and Eu varied greatly from sample to sample). The exceptions were two samples (SSP-3, DSP-2) in which the Ce content was below the detection limit, the La concentration was relatively low and the dominant element was Nd. It is noteworthy that both samples are sold under the same brand name. Both samples also have an extremely low phosphorus content and the highest pH among the samples analyzed (Table 1). The manufacturer of these fertilizers appears to have introduced methods to extract valuable REEs from the raw materials used. However, this extraction process may have significantly reduced the phosphorus content of the fertilizer produced. The order of HRREs content in the fertilizer samples was predominantly in the ratio $Y > Gd > Dy > Er > Yb > Tb > Ho > Lu > Tm$ (with a predominance of Gd or Dy in

some samples). The resulting patterns are generally characteristic of the distribution of REEs in the Earth's crust, with LREEs predominating over HREEs, which are much less abundant [27]. This distribution pattern is due to the Oddo-Harkins rule, which states that the concentration of a rare earth element decreases with increasing atomic number [22]. An exception was the double superphosphate sample DSP-4, in which the proportion of LREEs from total REEs content was 16% due to relatively high concentrations of Y and Gd.

	Ce	La	Nd	Pr	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Rock phosphate	RP-1	57.8 ±2.9	26.2 ±1.3	41.7 ±3.0	13.7 ±0.8	0.5 ±0.8	1.6 ±0.1	3.7 ±0.5	1.3 ±0.4	3.8 ±0.1	26.0 ±2.2	0.7 ±0.1	2.8 ±0.2	<0.4	2.3 ±0.1	0.2 ±0.2
	RP-2	47.7 ±2.1	22.0 ±0.1	30.7 ±1.5	10.7 ±0.4	0.3 ±0.5	1.3 ±0.1	7.6 ±4.1	0.2 ±0.3	3.0 ±0.2	22.0 ±1.0	0.7 ±0.1	2.0 ±0.1	<0.4	1.9 ±0.1	<0.4
	RP-3	133.3 ±11.5	45.3 ±2.1	66.3 ±4.0	30.0 ±1.7	3.1 ±1.0	3.2 ±0.2	7.4 ±1.2	1.7 ±0.4	6.1 ±0.3	51.7 ±3.2	1.4 ±0.1	4.8 ±0.4	<0.4	3.8 ±0.3	0.7 ±0.1
	RP-4	100.0 ±0.1	35.3 ±0.6	50.0 ±1.0	21.7 ±0.6	1.8 ±1.2	2.4 ±0.1	4.7 ±2.0	<0.4	3.9 ±0.1	41.3 ±0.6	1.2 ±0.2	3.8 ±0.1	<0.4	3.3 ±0.1	0.6 ±0.1
	RP-5	32.0 ±3.6	17.0 ±1.5	20.0 ±1.0	7.4 ±0.5	0.2 ±0.6	0.6 ±0.1	20.2 ±0.3	<0.4	1.5 ±0.1	11.1 ±1.2	0.5 ±0.1	0.9 ±0.2	<0.4	1.0 ±0.1	<0.4
	RP-6	58.0 ±2.0	25.7 ±0.6	38.3 ±0.6	13.0 ±0.1	0.2 ±0.3	1.3 ±0.1	2.1 ±1.5	1.0 ±0.2	3.6 ±0.1	27.0 ±0	0.7 ±0.1	2.7 ±0.1	<0.4	2.3 ±0.1	0.3 ±0.3
Single superphosphate	SSP-1	17.3 ±1.2	27.0 ±1.7	19.0 ±1.0	5.2 ±0.6	2.4 ±0.3	1.1 ±0.1	3.1 ±0.9	1.3 ±0.2	5.4 ±4.2	77.7 ±0.2	1.6 ±0.2	5.0 ±0.3	<0.4	5.6 ±0.3	1.2 ±0.1
	SSP-2	52.7 ±3.1	23.7 ±1.2	38.0 ±2.6	12.3 ±0.6	0.2 ±0.4	1.5 ±0.1	1.1 ±1.8	1.1 ±0.1	3.4 ±0.1	24.3 ±0.6	0.7 ±0.2	2.3 ±0.2	<0.4	2.1 ±0.1	0.1 ±0.2
	SSP-3	<0.4	7.8 ±0.6	150.0 ±17.3	3.4 ±0.2	0.2 ±0.4	0.5 ±0.1	21.3 ±18.5	3.6 ±0.5	0.3 ±0.2	4.2 ±0.2	<0.4	<0.4	0.2 ±0.3	<0.4	<0.4
	SSP-4	723.3 ±70.9	406.7 ±30.6	313.3 ±15.3	180.0 ±10.0	19.0 ±1.0	9.4 ±1.1	10.6 ±15.1	<0.5	21.0 ±1.0	129.7 ±9.6	4.4 ±0.4	9.5 ±0.6	<0.4	6.0 ±0.4	1.0 ±0.1
	SSP-5	32.0 ±1.7	17.0 ±1.0	20.0 ±1.0	7.4 ±0.5	0.2 ±0.6	0.6 ±0.1	20.2 ±16.2	<0.4	1.5 ±0.1	11.1 ±0.3	0.5 ±0.1	0.9 ±0.2	<0.4	1.0 ±0.1	<0.4
	SSP-6	356.7 ±15.3	140.3 ±6.8	206.7 ±5.8	96.3 ±3.5	19.3 ±0.6	8.7 ±0.6	85.3 ±47.9	1.4 ±0.2	19.0 ±1.0	114.3 ±3.5	3.3 ±0.2	8.7 ±0.3	<0.4	5.0 ±0.2	0.8 ±0.1
	SSP-7	1233.3 ±57.7	496.7 ±28.9	723.3 ±32.1	340.0 ±17.3	73.7 ±1.5	33.0 ±1.7	41.0 ±58.9	7.9 ±0.4	69.7 ±2.9	386.7 ±11.5	13.5 ±0.6	30.3 ±1.1	1.0 ±0.1	15.0 ±1.0	2.0 ±0.1
	SSP-8	43.0 ±0.1	18.7 ±0.6	34.3 ±1.5	11.8 ±0.3	3.0 ±0.3	1.1 ±0.1	2.8 ±1.0	<0.5	3.1 ±0.1	46.0 ±2.6	0.4 ±0.4	2.1 ±0.1	<0.4	1.7 ±0	<0.4
Double superphosphate	DSP-1	80.0 ±10.0	39.3 ±2.5	50.0 ±7.2	20.3 ±1.2	4.7 ±0.4	1.8 ±0.2	2.5 ±4.3	0.1 ±0.2	5.6 ±0.4	4.8 ±0.3	0.9 ±0.3	3.6 ±0.1	<0.4	2.9 ±0.2	0.6 ±0.1
	DSP-2	<0.4	9.2 ±0.3	173.3 ±5.8	3.8 ±0.2	0.2 ±0.4	0.6 ±0.1	0.8 ±0.7	4.5 ±0.1	0.6 ±0	19.0 ±2.6	<0.4	0.4 ±0.4	0.3 ±0.3	<0.4	<0.4
	DSP-3	6.7 ±0.6	3.4 ±0.9	4.7 ±0.8	1.8 ±0.2	2.2 ±0.1	<0.4	1.1 ±0.1	<0.4	0.6 ±0.2	6.7 ±0.2	0.1 ±0.3	1.0 ±0.1	<0.4	1.1 ±0.1	<0.4
	DSP-4	25.7 ±1.2	15.4 ±0.6	16.3 ±1.2	5.9 ±0.6	0.2 ±0.4	0.5 ±0.1	54.4 ±46.1	1.0 ±0.4	290.0 ±0.1	0.3 ±0.3	0.6 ±0.1	<0.4	0.6 ±0.1	<0.4	<0.4
	DSP-5	933.3 ±57.7	363.3 ±5.8	543.3 ±11.5	253.3 ±5.8	56.0 ±0.1	23.7 ±0.6	31.3 ±46.5	4.9 ±0.8	51.7 ±0.6	27.7 ±0.6	9.6 ±0.2	22.7 ±0.6	0.7 ±0.1	11.4 ±0.1	1.5 ±0.1
	DSP-6	61.3 ±1.2	26.7 ±0.6	41.3 ±1.5	14.0 ±0.1	0.2 ±0.3	1.5 ±0.1	3.9 ±0.3	1.1 ±0.1	3.8 ±0.1	27.7 ±0.6	0.7 ±0.1	2.7 ±0.1	<0.4	2.4 ±0.1	0.3 ±0.3
	DSP-7	24.7 ±1.2	12.9 ±0.7	26.0 ±1.0	6.8 ±0.4	1.6 ±0.5	0.6 ±0.1	19.7 ±15.2	<0.4	2.1 ±0.1	23.0 ±1.0	0.2 ±0.3	1.6 ±0.1	<0.4	1.6 ±0.1	<0.4
	DSP-8	343.3 ±5.8	137.7 ±2.1	193.3 ±5.8	92.0 ±1.0	19.7 ±0.6	8.4 ±0.3	14.5 ±14.4	0.7 ±0.1	19.0 ±0.1	113.3 ±1.5	3.3 ±0.1	8.3 ±0.3	<0.4	4.9 ±0.1	0.7 ±0.1

Fig. 2. Heat map showing mean values and standard deviation (n=3) of REEs content in phosphate fertilizer samples, mg/kg (see designations in Table 1). For each column, darker color reflects higher REE content

Table 1.

**List of fertilizer samples analyzed in the study and their characteristics:
mass fraction of phosphorus according to the manufacturer's specifications,
pH of the aqueous suspension, and total phosphorus content**

Sample	Mass fraction of P_2O_5 according to manufacturer's specifications, %	pH of aqueous suspension	P total concentration, mg/g
Rock phosphate (RP)			
RP-1	22	7.3	19.3±1.2
RP-2	22	7.5	17.0±1.0
RP-3	22	7.6	25.7±2.5
RP-4	22	7.3	29.7±1.2
RP-5	22	7.1	8.3±1.2
RP-6	17	6.6	22.0±0.1
Single superphosphate (SSP)			
SSP-1	20	3.5	35.0±2.6
SSP-2	29	8.2	17.3±0.6
SSP-3	26	9.6	0.5±0.1
SSP-4	30	3.5	33.7±3.8
SSP-5	26	7.2	8.3±0.6
SSP-6	26	7.0	44.3±5.1
SSP-7	26	4.5	33.3±2.3
SSP-8	26	6.6	24.3±0.6
Double superphosphate (DSP)			
DSP-1	35	4.5	38.7±2.5
DSP-2	46	9.8	0.6±0.1
DSP-3	49	6.3	31.0±2.6
DSP-4	36	7.1	3.8±0.2
DSP-5	41	5.3	26.3±0.6
DSP-6	46	7.1	22.0±0.1
DSP-7	44	6.6	24.3±1.5
DSP-8	48	6.9	41.0±1.7

Currently, there are no developed standards for REEs content in both soils and mineral fertilizers. In Russia, regulatory document GOST R 58658-2019 regulates the permissible content of the following impurities in mineral fertilizers: Cd, Hg, As, Ni, Pb, Cr (VI), Cu, Zn. Calculating the impurity content per percentage point of P_2O_5 in the fertilizer can be used as an approach to estimating the impurity content of fertilizers. For example, some authors suggest using a threshold of 40 mg/kg per percentage point of P_2O_5 in the fertilizer (the value for Cr established in Brazilian legislation) for the approximate assessment of the REE content in fertilizers [22]. Fig. 3 shows the results of such calculation for

the studied fertilizer samples. Data are presented only for the LREEs subgroup, since the content of heavy REEs in fertilizers is lower than that of light REEs. The increased value is noted for Ce concentration in sample SSP-7 ($47.4 \pm 2.2 \text{ mg kg}^{-1}/\% \text{ P}_2\text{O}_5$). The values of Nd concentration in the same sample ($27.8 \pm 1.2 \text{ mg kg}^{-1}/\% \text{ P}_2\text{O}_5$), as well as Ce concentration in samples SSP-4 and DSP-5 (27.8 ± 2.7 and $20.3 \pm 1.3 \text{ mg kg}^{-1}/\% \text{ P}_2\text{O}_5$, respectively) also fall within the range of 20 to 40 $\text{mg/kg}/\% \text{ P}_2\text{O}_5$. Thus, 97% of the calculated REEs concentrations in the studied fertilizer samples were below the proposed threshold of 20-40 $\text{mg kg}^{-1}/\% \text{ P}_2\text{O}_5$.

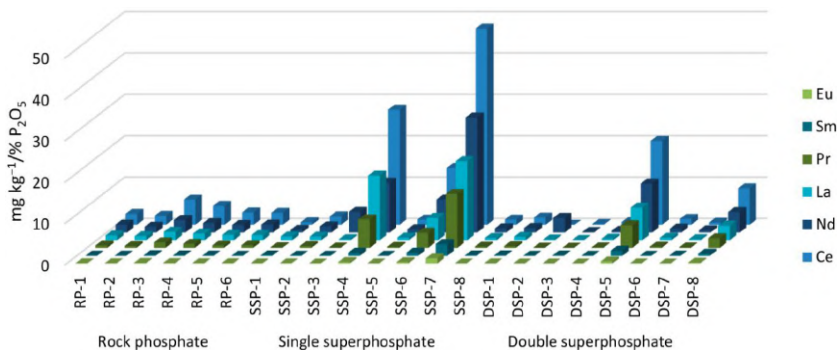


Fig. 3. LREEs content in phosphate fertilizer samples per % of fertilizer phosphorus content

To assess the possible REEs input into the soil with phosphate fertilizers, the potential REEs input per unit area (hectare) was calculated using the maximum dose recommended by the manufacturers (Table 2). Despite the different fertilizer masses required for the same dose of active ingredient, the maximum possible REE input with fertilizer per unit area is also observed for the samples with the highest REE content (RP-3, SSP-4, SSP-6, SSP-7, DSP-5).

If we calculate the value by which the concentration of REEs in soil will increase with annual application of phosphorus fertilizers to the surface layer of soil (0-20 cm) per one hectare of area for 100 years, these values will be insignificant in comparison with the average known concentrations of REEs in soil (Table 2). Total REEs content in the surface layer of uncontaminated soil can be as high as 100-200 mg/kg [10, 17]. The maximum possible increase in the ΣREE content will be 47 mg/kg when simple superphosphate (SSP-7) is applied. It should be noted, however, that this value will actually be even lower due to leaching of REEs into the underlying soil layers and partial removal with biomass, which will vary for different crops.

Table 2.

REEs input to the soil from a single application of fertilizer at the maximum dose recommended by the manufacturer (g/ha) and potential added REE concentration after 100 years of fertilizer application in the 0-20 cm soil layer

Group	Sample	Element																	Potential added Σ REEs concentration over 100 years of fertilizer application, mg/kg	
		Ce	Eu	La	Nd	Pr	Sm	Dy	Er	Gd	Ho	Lu	Tb	Tm	Yb	Y	Σ LREEs	Σ HREEs		Σ REEs
RP	RP-1	87	2	39	63	21	2	6	4	6	1	0	2	0	3	39	214	61	275	5
	RP-2	72	2	33	46	16	1	4	3	11	1	0	0	0	3	33	170	56	226	4
	RP-3	200	5	68	100	45	5	9	7	11	2	1	3	0	6	78	422	116	538	10
	RP-4	150	4	53	75	33	3	6	6	7	2	1	0	0	5	62	317	88	405	8
	RP-5	26	0	14	16	6	0	1	1	16	0	0	0	0	1	9	62	28	90	2
	RP-6	87	2	39	58	20	1	5	4	3	1	0	2	0	4	41	205	60	265	5
SSP	SSP-1	14	1	22	15	4	2	4	4	2	1	1	1	0	4	62	58	81	138	3
	SSP-2	37	1	17	27	9	0	2	2	1	0	0	1	0	1	17	90	25	115	2
	SSP-3	0	0	2	41	1	0	0	0	6	0	0	1	0	0	1	44	8	52	1
	SSP-4	217	3	122	94	54	6	6	3	3	1	0	0	0	2	39	496	55	550	11
	SSP-5	22	0	12	14	5	0	1	1	14	0	0	0	0	1	8	54	25	79	2
	SSP-6	250	6	98	145	67	14	13	6	60	2	1	1	0	4	80	580	167	746	14
	SSP-7	863	23	348	506	238	52	49	21	29	9	1	6	1	11	271	2030	397	2427	47
	SSP-8	30	1	13	24	8	2	2	1	2	0	0	0	0	1	32	78	39	118	2
DSP	DSP-1	24	1	12	15	6	1	2	1	1	0	0	0	0	1	1	59	6	65	1
	DSP-2	0	0	3	52	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	56	8	64	1
	DSP-3	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	3	9	0
	DSP-4	14	0	8	9	3	0	1	0	30	0	0	0	0	0	160	35	191	226	4
	DSP-5	560	14	218	326	152	34	31	14	19	6	1	3	0	7	17	1304	97	1401	27
	DSP-6	28	1	12	19	6	0	2	1	2	0	0	0	0	1	12	65	19	85	2
	DSP-7	7	0	4	8	2	0	1	0	6	0	0	0	0	0	7	22	14	36	1
	DSP-8	103	3	41	58	28	6	6	2	4	1	0	0	0	1	34	238	49	288	6

Evaluation of the solubility of REEs in phosphate fertilizers allows estimation of the potential mobility of REEs. Only Ce and Sm were detected in the aqueous extract of the fertilizer samples. The water solubility of REEs in fertilizers did not exceed 1% for the whole sampling (Table 3). REEs solubility in 2% citric acid was significantly higher for most of the phosphate fertilizer samples. At the same time, for a number of fertilizer samples (SSP-3, SSP-7, DSP-3, DSP-6), including the sample of simple superphosphate with the highest total REEs concentration (SSP-7), the REEs solubility was rather low – 1-6%. Thus, the subgroup of rock phosphate samples appears to be more homogeneous with

respect to the potential mobility of the REEs contained in phosphate fertilizers compared to the single and double superphosphate subgroups.

Table 3.

Solubility of REEs contained in phosphate fertilizers in water and citric acid solution

Group	Sample	Water solubility Σ REEs, %	Acid solubility Σ REEs, %
RP	RP-1	0.0	40
	RP-2	0.2	44
	RP-3	0.2	27
	RP-4	0.1	27
	RP-5	0.0	52
	RP-6	0.0	36
SSP	SSP-1	0.7	35
	SSP-2	0.3	42
	SSP-3	0.0	5
	SSP-4	0.0	26
	SSP-5	0.7	65
	SSP-6	0.0	86
	SSP-7	0.0	1
	SSP-8	0.2	96
DSP	DSP-1	0.1	97
	DSP-2	0.0	6
	DSP-3	0.0	133
	DSP-4	0.0	16
	DSP-5	0.0	3
	DSP-6	0.0	35
	DSP-7	0.2	78
	DSP-8	0.0	97

Conclusions

The study allowed us to obtain data on the REEs content in samples of phosphate rock, single superphosphate and double superphosphate. It is shown that the group of phosphate rock samples is the most homogeneous in terms of REEs content. At the same time and within this group of samples, the difference between the maximum (359 ± 25 mg/kg) and minimum (151 ± 8 mg/kg) REEs content exceeded 2 times. Among the samples of single and double superphosphate, the samples with significantly higher REE content – up to 3467 ± 134 mg/kg in single superphosphate and up to 2334 ± 51 mg/kg in double superphos-

phate, the minimum values were 112 ± 16 and 29 ± 3 mg/kg, respectively. The predominance of the LREEs subgroup over the HREEs in the composition of phosphate fertilizers was observed. The calculation of the potential REEs intake at the application of the studied phosphorus fertilizers to the soil indicates that there is no significant influence of this factor on the REEs content in the soil. However, the rather high REEs concentrations observed in some samples require the monitoring of REEs content in soils of agrocenoses, as well as the development of standards for REEs content in mineral fertilizers.

Declaration of competing interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Funding. This work was supported by Russian Science Foundation grant No. 22-74-00003, <https://rscf.ru/project/22-74-00003/>.

References

1. Abdel-Haleem A.S., Sroor A., El-Bahi S.M., Zohny E. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis. *Appl. Radiat. Isot.*, 2001, vol. 55, pp. 569–573. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0969-8043\(01\)00098-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0969-8043(01)00098-7)
2. Balaram V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geosci. Front.*, 2019, vol. 10, pp. 1285–1303. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
3. Brown P.H., Rathjen A.H., Graham R.D., Tribe D.E. Rare earth elements in biological systems. *Handb. Phys. Chem. rare earths*, 1990, vol. 13, pp. 423–452. [https://doi.org/10.1016/S0168-1273\(05\)80135-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1273(05)80135-7)
4. Castor S.B., Hedrick J.B. Rare earth elements. *Ind. Miner. Vol. 7th Ed. Soc. mining, Metall. Explor.* Littleton, 2006, pp. 769–792.
5. FAO. *World fertilizer trends and outlook to 2022*. Rome, 2019, 40 p.
6. Gonzalez V., Vignati D.A.L., Leyval C., Giamberini L. Environmental fate and ecotoxicity of lanthanides: Are they a uniform group beyond chemistry? *Environ. Int.*, 2014, vol. 71, pp. 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.06.019>
7. Gorbunov A.V., Frontasyeva M.V., Gundorina S.F., Onischenko T.L., Maksjuta B.B., Pal C. Effect of agricultural use of phosphogypsum on trace elements in soils and vegetation. *Sci. Total Environ.*, 1992, vol. 122, pp. 337–346. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697\(92\)90051-S](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697(92)90051-S)
8. Greenwood N.N., Earnshaw, A. *Chemistry of the Elements*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997, 1359 p.

9. Hu Z., Haneklaus S., Sparovek G., Schnug E. Rare earth elements in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2006, vol. 37, pp. 1381–1420. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/00103620600628680>
10. Liang T., Zhang S., Wang L., Kung H. Te, Wang Y., Hu A., Ding S. Environmental biogeochemical behaviors of rare earth elements in soil-plant systems. *Environ. Geochem. Health*, 2005, vol. 27, pp. 301–311. <https://doi.org/10.1007/s10653-004-5734-9>
11. Liu C., Yuan M., Liu W.-S., Guo M.-N., Huot H., Tang Y.-T., Laubie B., Simonnot M.-O., Morel J.L., Qiu R.-L. Element case studies: rare earth elements, in: *Agromining: Farming for Metals*. Springer, 2018, pp. 297–308. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-61899-9_19
12. Massari S., Ruberti M. Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. *Resour. Policy*, 2013, vol. 38, pp. 36–43.
13. Migaszewski Z.M., Gałuszka A. The characteristics, occurrence, and geochemical behavior of rare earth elements in the environment: a review. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 2015, vol. 45, pp. 429–471.
14. Naccarato A., Tassone A., Cavaliere F., Elliani R., Pirrone N., Sprovieri F., Tagarelli A., Giglio A. Agrochemical treatments as a source of heavy metals and rare earth elements in agricultural soils and bioaccumulation in ground beetles. *Sci. Total Environ.*, 2020, vol. 749, pp. 141438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141438>
15. Otero N., Vitoria L., Soler A., Canals A. Fertiliser characterisation: major, trace and rare earth elements. *Appl. geochemistry*, 2005, vol. 20, pp. 1473–1488.
16. Pagano G., Guida M., Tommasi F., Oral R. Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements—Knowledge gaps and research prospects. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2015, vol. 115, pp. 40–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.01.030>
17. Paoli L., Fiorini E., Munzi S., Sorbo S., Basile A., Loppi S. Uptake and acute toxicity of cerium in the lichen *Xanthoria parietina*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 2014, vol. 104, pp. 379–385. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.02.028>
18. Ramos S.J., Dinali G.S., de Carvalho T.S., Chaves L.C., Siqueira J.O., Guilherme L.R.G. Rare earth elements in raw materials and products of the phosphate fertilizer industry in South America: Content, signature, and crystalline phases. *J. Geochemical Explor.*, 2016, vol. 168, pp. 177–186.
19. Ramos S.J., Dinali G.S., Oliveira C., Martins G.C., Moreira C.G., Siqueira J.O., Guilherme L.R.G. Rare earth elements in the soil environment. *Curr. Pollut. Reports*, 2016, vol. 2, pp. 28–50. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40726-016-0026-4>

20. Ribeiro P.G., Dinali G.S., Boldrin P.F., de Carvalho T.S., de Oliveira C., Ramos S.J., Siqueira J.O., Moreira C.G., Guilherme L.R.G. Rare Earth Elements (REEs) Rich-Phosphate Fertilizers Used in Brazil are More Effective in Increasing Legume Crops Yield Than Their REEs-Poor Counterparts. *Int. J. Plant Prod.*, 2021, vol. 15, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1007/s42106-021-00129-5>
21. Sabiha-Javied, Waheed S., Siddique N., Shakoor R., Tufail M. Measurement of rare earths elements in Kakul phosphorite deposits of Pakistan using instrumental neutron activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2010, vol. 284, pp. 397–403.
22. Silva F.B.V., Nascimento C.W.A., Alvarez A.M., Araújo P.R.M. Inputs of rare earth elements in Brazilian agricultural soils via P-containing fertilizers and soil correctives. *J. Environ. Manage.*, 2019, vol. 232, pp. 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.031>
23. Taylor S.R., McLennan S.M. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford, Melbourne: Blackwell Scientific Publications, 1985, 312 p.
24. Todorovsky D.S., Minkova N.L., Bakalova D.P. Effect of the application of superphosphate on rare earths' content in the soil. *Sci. Total Environ.*, 1997, vol. 203, pp. 13–16.
25. Turra C. Sustainability of rare earth elements chain: from production to food—a review. *Int. J. Environ. Health Res.*, 2018, vol. 28, pp. 23–42.
26. Turra C., Fernandes E.A.D.N., Bacchi M.A., Sarriés G.A., Reyes A.E.L. Uptake of rare earth elements by citrus plants from phosphate fertilizers. *Plant Soil*, 2019, vol. 437, pp. 291–299.
27. Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems - A review. *Plant Soil*, 2004, vol. 267, pp. 191–206. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4888-2>

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Anna D. Kotelnikova: study conception and design, drafting of the manuscript.

Ksenia A. Kolchanova: data collection and analysis.

Mikhail A. Shishkin: data collection and analysis.

Olga B. Rogova: study conception and design, editing of the draft of the manuscript.

ВКЛАД АВТОРОВ

Котельникова А.Д.: разработка концепции научной работы, написание рукописи.

Колчанова К.А.: сбор и анализ данных.

Шишкин М.А.: сбор и анализ данных.

Рогова О.Б.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Anna D. Kotelnikova, Ph.D., Senior Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation

a.d.kotelnikova@gmail.com

SPIN-code: 4451-8172

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0515-6114>

ResearcherID: AAN-5480-2020

Scopus Author ID: 57204056367

Ksenia A. Kolchanova, Junior Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation

SPIN-code: 8948-9406

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9991-6718>

ResearcherID: JOK-6849-2023

Scopus Author ID: 57204543812

Mikhail A. Shishkin, Junior Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation

SPIN-code: 3248-1854

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2320-6645>

Scopus Author ID: 57192555670

Olga B. Rogova, Leading Researcher Department of Chemistry and Physical Chemistry of Soils

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

7/2, Pyzhevsky per., Moscow, 119017, Russian Federation

SPIN-code: 5015-7319

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2908-0828>

ResearcherID: M-3059-2013

Scopus Author ID: 8101533500

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Котельникова Анна Дмитриевна, к.б.н., старший научный сотрудник
отдела химии и физико-химии почв
*Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.
В.В. Докучаева»*
Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация
a.d.kotelnikova@gmail.ru

Колчанова Ксения Александровна, младший научный сотрудник отдела
химии и физико-химии почв
*Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.
В.В. Докучаева»*
Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация

Шишкин Михаил Александрович, младший научный сотрудник отдела
химии и физико-химии почв
*Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.
В.В. Докучаева»*
Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация

Рогова Ольга Борисовна, к.б.н., ведущий научный сотрудник отдела хи-
мии и физико-химии почв
*Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им.
В.В. Докучаева»*
Пыжевский пер., 7, стр. 2, г. Москва, 119017, Российская Федерация
a.d.kotelnikova@gmail.ru

Поступила 05.02.2024

После рецензирования 07.03.2024

Принята 15.03.2024

Received 05.02.2024

Revised 07.03.2024

Accepted 15.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-874

УДК 581.4:581.151



Научная статья

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛИСТЬЕВ ПОПУЛЯЦИЙ *ACER NEGUNDO* L. В ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА (РЕСПУБЛИКА АДЫГЕЯ)

*Е.М. Еднич, И.В. Чернявская, Т.Н. Толстикова,
М.Н. Хагур, М.В. Алиев*

Обоснование. Изменчивость морфологической структуры листьев растений дает представление об адаптации и приспособленности растений. Понимание адаптивных стратегий инвазивных видов, в том числе *Acer negundo* L. на основе морфологических механизмов адаптации в высотном градиенте актуально для прогнозирования поведения *A. negundo* в пойменных лесах Адыгеи и послужит основой для дальнейшего изучения инвазибельности *A. negundo* на Северо-Западном Кавказе.

Цель. Выявление изменчивости морфологических показателей листа популяций *Acer negundo* L. в высотном градиенте Северо-Западного Кавказа (Республика Адыгея).

Материалы и методы. Материалом исследований послужили четыре популяции инвазивного вида *A. negundo*, произрастающих на территории Республики Адыгея (Северо-Западный Кавказ) в пределах от 120 до 600 м н.у.м. Морфологические признаки листа (максимальная длина листовой пластинки, максимальная ширина, угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка) измеряли штангенциркулем с точностью $\pm 0,01$ мм и транспортиром с точностью 1° ; толщину листьев – прибором Тургормер-1 с измерительной головкой системы ТН10-60Т; вычисление площади листьев – по алгоритмам на языке Python 3.1. Статистический анализ изменчивости морфологических признаков выполнен методами описательной статистики, анализа главных компонент, корреляционного, дисперсионного, кластерного анализов и линейной регрессии с использованием языка программирования Python 3.11.1.

Результаты. Внутрипопуляционная изменчивость морфологических показателей листа четырех популяций *A. negundo* в высотном градиенте Севе-

ро-Западного Кавказа (Республика Адыгея) в пределах от 120 до 600 м н.у.м. находилась на среднем и высоком уровнях.

Межпопуляционная изменчивость морфологических признаков *A. negundo* (максимальная длина, ширина листовой пластинки, индекс листовой пластинки и флуктуирующая асимметрия) имела слабовыраженное влияние высотного градиента. Из всех природно-климатических факторов достоверно влияют на морфологические признаки листа *A. negundo* высота над уровнем моря и количество осадков, что подтверждено результатами линейной регрессии. Методом главных компонент и кластерным анализом были подтверждены морфологические различия в популяциях, наиболее сильно отличающихся по высоте над уровнем моря и количеству осадков.

Заключение. Более высокую изменчивость признаков для популяций *A. negundo* в разных экологических условиях, определяемых высотным градиентом, можно рассматривать как проявление адаптивного морфогенеза, что свидетельствует о высокой экологической пластичности *A. negundo* и способности выдержать влияние изменяющихся факторов среды.

Ключевые слова: морфологическая изменчивость листьев; *Acer negundo*; высотный градиент; Северо-Западный Кавказ; адаптация; инвазивный вид

Для цитирования: Еднич Е.М., Чернявская И.В., Толстикова Т.Н., Хагур М.Н., Алиев М.В. Морфологическая изменчивость листьев популяций *Acer negundo* L. в высотном градиенте Северо-Западного Кавказа (Республика Адыгея) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 142-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-874

Original article

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF LEAVES OF *ACER NEGUNDO* L. POPULATIONS IN THE ALTITUDINAL GRADIENT OF THE NORTH-WEST CAUCASUS (REPUBLIC OF ADYGEA)

*E.M. Ednich, I.V. Chernyavskaya, T.N. Tolstikova,
M.N. Khagur, M.V. Aliev*

Background. The morphological structure variability of plant leaves gives an idea of plant adaptation. Understanding the adaptive strategies of invasive species, including *Acer negundo* L. based on morphological mechanisms of adaptation in the altitude gradient is relevant for predicting of *A. negundo* behavior in

the floodplain forests of Adygea and will be a basis for further study of *A. negundo* invasiveness in the North-West Caucasus.

Purpose. Identification of the morphological parameters variability of the leaf of *Acer negundo* L. populations in the altitudinal gradient of the North-West Caucasus (The Republic of Adygea).

Materials and methods. Four populations of the invasive species *A. negundo*, growing in the Republic of Adygea territory (North-West Caucasus) at a height of 120 to 600 metres above sea level were the research material. Morphological features of the leaf (maximum length of the leaf blade, maximum width, angle between the central and lateral vein of the upper leaf) were measured with a caliper with an accuracy of ± 0.01 mm and a protractor with an accuracy of 1° ; leaf thickness – by a Turgoromer-1 device with a measuring head of the TN10-60T system; leaf area calculation – using algorithms in Python 3.1. Statistical analysis of the morphological features variability was performed by means of descriptive statistics methods, principal component analysis, correlation analysis, variance and cluster analysis and linear regression with the programming language Python 3.11.1.

Results. Intrapopulation variability of morphological parameters of the four populations leaf of *A. negundo* in the altitudinal gradient of the North-West Caucasus (Republic of Adygea) at a height of 120 to 600 metres above sea level was at medium and high levels.

The interpopulation variability of morphological features of *A. negundo* (maximum length, width of the leaf blade, index of the leaf blade and fluctuating asymmetry) had a weak influence of the altitudinal gradient. Of all the natural and climatic factors, the morphological features of the *A. negundo* leaf are considerably influenced by altitude and precipitation, which is confirmed by the results of linear regression. The morphological differences of the populations most strongly differing in altitude and precipitation were confirmed by the method of principal components and cluster analysis.

Conclusion. The higher variability of traits for populations of *A. negundo* in different environmental conditions determined by the altitudinal gradient can be considered as a manifestation of adaptive morphogenesis, that indicates the high ecological plasticity of *A. negundo* and the ability to withstand the influence of changing environmental factors.

Keywords: leaf morphological variability; *Acer negundo*; altitudinal gradient; North-West Caucasus; adaptation; invasive species

For citation. Ednich E.M., Chernyavskaya I.V., Tolstikova T.N., Khagur M.N., Aliev M.V. Morphological Variability of Leaves of *Acer negundo* L. Populations

in the Altitudinal Gradient of the North-West Caucasus (Republic of Adygea). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 142-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-874

Введение

В настоящее время актуальной экологической проблемой является расселение чужеродных видов во вторичном ареале [8]. Их способность проникать в естественные растительные сообщества может приводить к вытеснению автохтонных растений и сокращению биологического разнообразия. Одним из таких агрессивных видов является клен ясенелистный (*A. negundo* L.), включенный в Черную книгу РФ как инвазионный [7; 22; 28].

В работах А.С. Зернова, И.Н. Тимухина, Акатова В.В., Акатовой Т.В. рассматривается высотное распространение чужеродных видов растений в горной части Западного Кавказа [3; 14]. Показаны различия в высотном распространении чужеродных видов на южном (причерноморском) и северном (кубанском) макросклонах Западного Кавказа. *A. negundo* на южном макросклоне достигает до 200 м н.у.м., а на северном до 600-800 м н.у.м. Авторы отмечают его произрастание в нарушенных низкогорных лесах, на опушках и во вторичных остепенённых лугах, в пойменных и прирусловых лесах предгорного пояса. Такое распространение *A. negundo* обусловлено климатическими условиями, степенью нарушенности территорий, разным прессом антропогенной нагрузки.

В связи с этим важно выявление биологических особенностей видов, которые способствуют потенциальному успеху инвазии [8; 22; 26]. Изучение морфологической структуры растений и изменчивости отдельных признаков дает представление об их адаптивных механизмах в условиях действия факторов среды. При изучении изменчивости растений в качестве объекта исследований часто используют лист, обеспечивающий протекание важных физиологических процессов [1].

Различные экологические факторы окружающей среды могут приводить к варьированию морфологических признаков растений, повышая их изменчивость [11; 19; 23; 25; 29].

В литературе достаточно широко представлены результаты исследований влияния антропогенной нагрузки на морфометрические показатели листьев *A. negundo* [5; 16], рассмотрен биоиндикационный аспект изменчивости листьев в урбаносреде [21; 25].

В Адыгее путем изучения состояния популяций двух адвентивных видов деревьев (*Robinia pseudoacacia* L. и *A. negundo* L.) на разных участ-

ках высотного градиента (70–700 м н.у.м) оценены тенденции изменения верхних пределов их распространения в долине р. Белая (Западный Кавказ). В качестве анализируемых параметров использованы жизненность и возраст деревьев, диаметр стволов и радиальный годовой прирост [2], в то время как оценка внутри- и межпопуляционной изменчивости морфологических признаков листа практически не проводилась, хотя многими авторами [6; 15; 17; 18; 20] подчеркивается важность исследования морфологической изменчивости для выявления характера микроэволюционных процессов, в частности адаптаций связанных с более широким спектром эколого-географических факторов. Эти данные необходимы для расширения представлений о механизмах, лежащих в основе адаптивных стратегий инвазивных видов, в том числе *A. negundo*, что позволит прогнозировать поведение *A. negundo* в пойменных лесах Адыгеи, и дать рекомендации по использованию *A. negundo*, распространение которого угрожает биобезопасности, ведет к сокращению биоразнообразия региона.

Цель работы – выявление изменчивости морфологических показателей листа популяций *Acer negundo* L. в высотном градиенте Северо-Западного Кавказа (Республика Адыгея).

Материал и методы исследования

Исследования проводились в летний период 2022-2023 гг. на территории Республики Адыгея. Материалом исследований послужили четыре популяции *Acer negundo*, произрастающих на участках: Гиагинский район, окрестности ст. Гиагинская (G); г. Майкоп (M); Майкопский район, х. Красный мост (K); Майкопский район, окрестности ст. Даховской (D).

Районы исследования были выбраны по высотному градиенту в пределах от 120 до 600 м н.у.м. согласно имеющимся литературным данным по распространению *A. negundo* на Северо-Западном Кавказе [3] (Рисунок 1, Таблица 1). Анализ метеоусловий осуществлялся по данным www.pogodaklimat.ru.

Исследуемые популяции входят в состав пойменных лесов малых рек Северо-Западного Кавказа (река Белая, река Курджипс, река Дах, река Гиага).

Сбор растительного материала осуществляли в середине вегетационного периода из нижней части кроны древесных растений одного возраста на генеративной стадии развития с четырех сторон экспозиции, используя случайный выбор из полного множества возможных вариантов, что позволяет корректно оперировать с вероятностями событий и вычислять значения статистических критериев, а также распространять полученные

выводы на всю исследуемую популяцию. Повторность отбора листьев и лабораторных анализов трехкратная.



Рис. 1. Схема расположения районов исследования на территории Республики Адыгея.

G – Гиагинский район, окрестности ст. Гиагинская, М – Майкоп, К – Майкопский район, х. Красный мост, D – Майкопский район, окрестности ст. Даховской

Таблица 1.

**Природно-климатическая характеристика районов исследования
(июль, 2022-2023 гг.)**

Районы исследования	Широта	Долгота	Высота н.у.м.	Средне-месячная температура, °С	Среднее кол-во осадков, мм	Средне-месячная влажность, %
Майкоп	44° 35' 26''	40° 06' 22''	212	27	59,5	60
Майкопский район, х. Красный мост	44° 32' 10''	40° 06' 34''	238	24	83	62

Гиагинский район, окрестности ст. Гиагинская	44° 50' 24"	40° 05' 37"	129	27	79,3	57
Майкопский район, окрестности ст. Даховской	44° 14' 14"	40° 12' 21"	570	23,5	94,4	62

Материал фиксировали методом гербаризации. Листья сканировали с адаксиальной стороны с помощью многофункционального устройства Samsung SCX-3400 при разрешении 1275×1755 пикселей. Вычисление площади листьев проводили по алгоритмам на языке Python 3.1. Толщину листьев измеряли прибором Тургоромер-1 с измерительной головкой системы ТН10-60Т и ценой деления 0,01 мм, показания даны в мм. Измерение морфологических признаков листа проводили штангенциркулем с точностью $\pm 0,01$ мм. Измеряли следующие параметры: L_1 – максимальная длина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_2 – максимальная ширина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_3 – площадь листовой пластинки верхнего листочка, см^2 ; L_4 – толщина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_5 – угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка; L_6 – индекс листовой пластинки (ИЛП) – отношения длины и ширины верхней непарной лопасти сложного листа *A. negundo*; L_7 – флуктуирующая асимметрия (ФА) [4].

Флуктуирующую асимметрию листьев определяли по общепринятой методике [9; 13]. Измерения осуществляли на верхней непарной листовой пластинке с помощью штангенциркуля и транспортира с точностью 1° . В качестве флуктуирующих признаков билатеральной структуры листа рассматривали парные признаки: ширина половинки листовой пластинки, измеренная на середине ее длины; ширина половинки листовой пластинки, измеренная от основания третьей жилки второго порядка; длина второй жилки второго порядка; расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; расстояние от основания второй жилки второго порядка до вершины листовой пластинки; расстояние от основания третьей жилки второго порядка до вершины листовой пластинки; угол между центральной жилкой и второй жилкой второго порядка.

Статистический анализ изменчивости морфологических признаков выполнен методами описательной статистики, анализа главных компонент, корреляционного, дисперсионного, кластерного анализов, и линейной регрессии. Дисперсионный анализ, линейная регрессия выполнены

с использованием языка программирования Python 3.11.1 и библиотеки statsmodels 0.14.0; метод главных компонент, кластерный анализ – с помощью библиотеки scikit-learn 1.3.1 для языка программирования Python 3.11.1; корреляции посчитаны при помощи библиотеки numpy 1.24.2 для языка программирования Python 3.11.1.

Уровни варьирования приняты по Зайцеву: $CV < 10\%$ – низкий, $CV = 10-20\%$ – средний, $CV > 20\%$ – высокий [12]. Сила корреляции оценена в величинах: 0,7 (сильная), 0,3-0,7 (средняя), меньшая 0,3 (слабая) [10].

Статистически значимой принята значимость различия между средними значениями при $p \leq 0,05$. Результаты исследования выражены в виде средней арифметической величины со стандартным отклонением.

Результаты исследования

Результаты исследований морфологических признаков листа *A. negundo* по объединенной выборке для показателей максимальная длина и толщина листовой пластинки верхнего листочка показали средний уровень изменчивости ($CV=11,5$ и $15,7\%$, соответственно) (Таблица 2).

Все остальные морфологические признаки листа, такие как максимальная ширина, площадь листовой пластинки, угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка, индекс листовой пластинки, флуктуирующая асимметрия в объединенной выборке показали высокий уровень варьирования ($21,7-46,7\%$). Максимальная длина листовой пластики верхнего листочка (L_1) у популяции М наблюдалась на низком уровне варьирования признака ($8,1\%$), а у остальных популяций – на среднем уровне ($11,5-13,5\%$). Такая же тенденция прослеживалась по варьированию признака L_4 . Варьирование признаков L_2 , L_3 , L_5 , L_6 у всех популяций на высоком уровне ($18,1-42,1\%$), но у Даховской популяции *A. negundo* внутрипопуляционная изменчивость признака L_5 регистрировалась на среднем уровне ($15,4\%$).

Таблица 2.

Средние показатели морфологических признаков листа *A. negundo* по популяциям

При- знаки	Популяции									
	G, 129 м		M, 212 м		K, 238 м		D, 570 м		Объединенная выборка	
	$\bar{x} \pm s_x$	$CV, \%$	$\bar{x} \pm s_x$	$CV, \%$	$\bar{x} \pm s_x$	$CV, \%$	$\bar{x} \pm s_x$	$CV, \%$	$\bar{x} \pm s_x$	$CV, \%$
L_1	11,1 $\pm$ 0,30	12,1	11,3 $\pm$ 0,20	8,1	11,4 $\pm$ 0,29	11,5	10,7 $\pm$ 0,32	13,5	11,1 $\pm$ 0,14	11,5
L_2	7,7 $\pm$ 0,35	20,7	8,2 $\pm$ 0,64	34,5	9,2 $\pm$ 0,66	32,2	7,3 $\pm$ 0,35	21,5	8,1 $\pm$ 0,27	29,7
L_3	43,5 $\pm$ 2,02	20,8	43,5 $\pm$ 2,74	28,1	56,7 $\pm$ 4,6	36,3	63,2 $\pm$ 5,29	37,4	51,7 $\pm$ 2,14	37,0

L ₄	0,1±0,003	12,1	0,1±0,005	18,3	0,1±0,004	14,7	0,1±0,003	11,8	0,1±0,002	15,7
L ₅	55,1±2,88	23,3	43,3±2,21	22,8	53±2,15	18,1	52,3±1,79	15,4	50,9±1,23	21,7
L ₆	1,5±0,008	24,7	1,5±0,11	32,3	1,4±0,13	42,1	1,5±0,10	29,5	1,5±0,05	31,9
L ₇	0,088±0,008	40,2	0,085±0,008	43,7	0,076±0,008	48,6	0,061±0,007	49,7	0,078±0,004	46,7

Примечание: L₁ – максимальная длина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L₂ – максимальная ширина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L₃ – площадь листовой пластинки верхнего листочка, см²; L₄ – толщина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L₅ – угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка; L₆ – индекс листовой пластинки; L₇ – флуктуирующая асимметрия.

Средние значения показателя L₇ уменьшались по мере увеличения высоты над уровнем моря: от 0,088±0,008 на высоте 129 м н.у.м. до 0,061±0,007 на высоте 570 м н.у.м., а признак L₃ увеличивался с набором высоты от 212 м н.у.м. (от 43,5±2,02 до 63,2±5,29).

Анализ изменчивости изучаемых морфологических параметров листа проводился при помощи дисперсионного анализа (при уровне значимости p≤0,05). Дисперсионный анализ включал проверку гипотезы о том, что различия между популяциями по изучаемым параметрам листа отсутствуют. Соответственно, если р-значение меньше уровня значимости, данная гипотеза отвергалась (Таблица 3).

Таблица 3.

Результаты дисперсионного анализа морфологических параметров листа популяций *A. negundo*

Параметры листа	р-значения
максимальная длина листовой пластинки верхнего листочка	0,306721
максимальная ширина листовой пластинки верхнего листочка	0,063514
площадь листовой пластинки верхнего листочка	0,000619
толщина листовой пластинки верхнего листочка	0,000478
угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка	0,002409
индекс листовой пластинки	0,792109
флуктуирующая асимметрия	0,081077

Примечание: жирным шрифтом в таблице выделены параметры, имеющие р-значения < 0,05.

Наиболее существенные различия между популяциями наблюдались в параметрах L₃, L₄, L₅.

Для определения морфологических признаков, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа *A. negundo*, был применен метод

главных компонент. В таблице 4 приведены результаты, отражающие вклад межгрупповых компонент дисперсии в общую вариабельность признаков.

Таблица 4.

Характеристики главных компонент

Компоненты	Значение	Дисперсия (%)	Кумулятивная дисперсия (%)
1	12,825620	29,374379	29,374379
2	10,480822	19,615648	48,990027
3	9,346298	15,598800	64,588827
4	8,709548	13,545756	78,134583
5	8,197941	12,001113	90,135696
6	7,261898	9,416992	99,552688
7	1,582702	0,447312	100,000000

Таблица 5.

Корреляция главных компонент с морфологическими параметрами листьев *A. negundo*

Морфологические параметры	Главные компоненты						
	1	2	3	4	5	6	7
L_1	0,46	-0,13	-0,56	0,61	-0,092	0,28	-0,051
L_2	-0,89*	0,097	-0,28	0,24	0,02	0,23	0,11
L_3	-0,25	-0,72*	-0,21	0,2	-0,11	-0,57	0,011
L_4	-0,15	-0,61*	0,42	-0,048	-0,55	0,36	-0,0045
L_5	-0,018	0,038	0,69	0,66	0,28	-0,057	0,0041
L_6	0,98*	-0,12	0,032	-0,014	-0,53	-0,018	0,13
L_7	-0,013	0,67*	0,052	0,21	-0,66	-0,26	0,04

Примечание: L_1 – максимальная длина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_2 – максимальная ширина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_3 – площадь листовой пластинки верхнего листочка, см²; L_4 – толщина листовой пластинки верхнего листочка, мм; L_5 – угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка; L_6 – индекс листовой пластинки (ИЛП) – отношения длины и ширины верхней непарной лопасти сложного листа *A. negundo*; L_7 – флуктуирующая асимметрия (ФА)

Статистический анализ подтвердил семь значимых главных компонент со значениями выше 1. Распределение дисперсии различно в каждой из главных компонент, причем первая объясняет большую часть морфологической изменчивости (29,4%). Вторая компонента определяет наибольшую долю оставшейся общей дисперсии (19,6%).

Для первой компоненты сильная корреляция ($>0,7$) была отмечена для двух параметров – L_2 и L_6 (Таблица 5). Для второй компоненты – только для одного признака L_3 . Для третьей, четвертой, пятой и шестой компоненты сильные корреляции не выявлены, а для седьмой компоненты сила корреляции слабая по всем параметрам листа.

При использовании метода главных компонент каждая компонента строилась так, чтобы при проекции на нее разброс был наибольшим, поэтому в первых двух компонентах содержится наибольшее количество информации.

Структура морфологической изменчивости в изученных популяциях по двум главным компонентам представлена на рисунке 2.

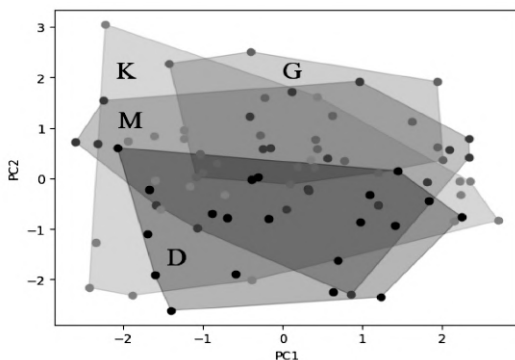


Рис. 2. Морфологическая изменчивость популяций *A. negundo* по первой и второй главной компоненте.

G – Гиагинский район, окрестности ст. Гиагинская, M – Майкоп, K – Майкопский район, х. Красный мост, D – Майкопский район, окрестности ст. Даховской

Для изучения влияния природно-климатических факторов на морфологические параметры листьев была проведена линейная регрессия и посчитаны р-значения ее коэффициентов (Таблица 6).

Таблица 6.

Р-значения, полученные в результате линейной регрессии

Факторы	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Высота	0,11350	0,02447	0,62252	0,01594	0,08920	0,37181	0,28911
Температура	0,34268	0,11290	0,16239	0,69109	0,37678	0,12327	0,22163
Осадки	0,73129	0,71822	0,25999	0,19344	0,00003	0,81820	0,90930
Влажность	0,00195	0,00170	0,06188	0,00450	0,97685	0,94427	0,90908

Примечание: жирным шрифтом выделены р-значения $<0,05$.

Высота над уровнем моря оказывала влияние на L_2 и L_4 , влажность - на L_1 , L_2 , L_4 , количество осадков - на L_5 . На рисунке 3 приведена регрессионная линия, которая визуальнo отражает влияние количества осадков на L_5 .

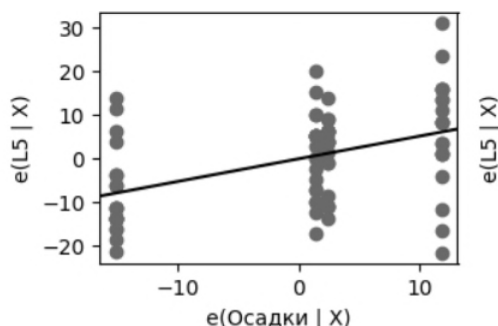


Рис. 3. Регрессионная модель, описывающая влияние количества осадков на угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка (L_5) *A. negundo*

Обсуждение

Изучение изменчивости морфологических признаков листьев обеспечивает понимание того, как растения реагируют на изменения спектра эколого-климатических условий, дает представление о приспособленности видов, динамике сообществ и функционировании экосистем [30; 31; 32].

Согласно полученным данным (Таблица 2), морфологические признаки листа *A. negundo* характеризовались средним и высоким уровнем изменчивости. Вероятно, это связано с влиянием комплекса природно-климатических условий, обусловленных высотным градиентом на рост и развитие растений. Внутрипопуляционная изменчивость варьировала на низком и среднем уровне у таких показателей, как максимальная длина и толщина листовой пластинки верхнего листочка у всех изученных популяций, что указывает на стабильность данных признаков. Более чувствительными к действию набора экологических факторов являлись признаки с высоким уровнем изменчивости: максимальная ширина, площадь листовой пластинки, угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка, индекс листовой пластинки.

Вклад высотного градиента в изменчивость признака «площадь листовой пластинки верхнего листочка» неоднозначен. Средние значения данного признака увеличивались с высотой н.у.м., что, возможно, было бы объяснить повышением количества осадков, но проведенный анализ изменчивости изучаемого параметра с учетом линейной регрессии не вы-

явил достоверного влияния природно-климатических факторов (высота, температура, осадки, влажность) на данный признак ($p > 0,05$).

На уровень стабильности развития ФА *A. negundo* в период наблюдений природные факторы не оказывали существенного влияния ($p > 0,05$). Вероятно, уменьшение средних значений данного показателя по мере увеличения высоты н.у.м. зависит от степени антропогенного воздействия.

Дисперсионный анализ выявил достоверные различия между популяциями по следующим признакам: толщина листовой пластинки, площадь листовой пластинки верхнего листочка, угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка *A. negundo*. Отсутствие различий между популяциями по максимальной длине, ширине листовой пластинки, ИЛП и ФА говорит о слабо выраженном влиянии высотного градиента на изменчивость данных параметров.

Методом главных компонент определены морфологические признаки, которые вносят наибольший вклад в изменчивость листа у растений *A. negundo* в исследуемых популяциях. В большей степени в изменчивость листа вносили вклад такие мерные признаки как: ширина и площадь листовой пластинки и аллометрический признак – индекс листовой пластинки. Анализ морфологической изменчивости популяций *A. negundo* по первой и второй главной компоненты (Рисунок 2) показал различие между Гиагинской и Даховской популяциями по второй главной компоненте, так как у них наименьшие области перекрытия в отношении переменных в исходном наборе данных.

По первой главной компоненте исследуемые факторы популяции находились близко друг к другу и образовывали однородную группу. Различие популяций Даховской и Гиагинской по второй главной компоненте частично можно объяснить влиянием высоты и влажности на толщину листовой пластинки, где корреляция второй компоненты с данным признаком составила – 0,61.

Для определения сходства между популяциями использована агломеративная кластеризация. Для каждой популяции параметры усреднялись, т.е. каждая популяция представлялась вектором средних. Далее каждая популяция принималась за отдельный кластер, а за расстояние между кластерами – максимальное расстояние между их показателями. Пара кластеров с наименьшим расстоянием объединялась в один. Графическим изображением результатов кластеризации методом ближнего соседа является построение дендрограммы (Рисунок 4).

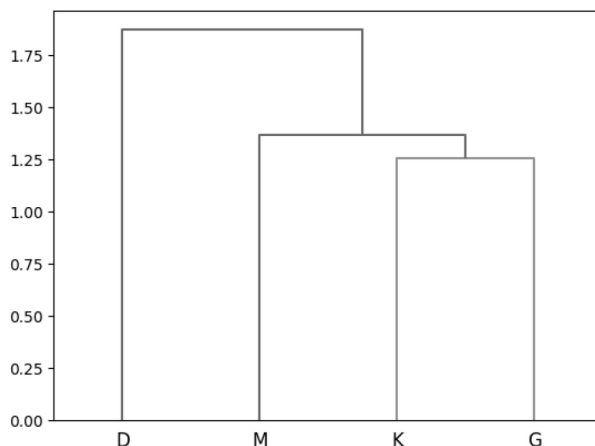


Рис. 4. Дендрограмма сходства популяций *A. negundo* на основе морфологических признаков листьев.

G – Гиагинский район, окрестности ст. Гиагинская, М – Майкоп, К – Майкопский район, х. Красный мост, D – Майкопский район, окрестности ст. Даховской

На первом этапе кластеризации Гиагинская популяция объединилась в кластер с популяцией Красный мост. На последнем этапе в отдельный кластер выделилась Даховская популяция, наиболее отличающаяся по совокупности морфологических показателей листа от остальных популяций. Кластерный анализ подтвердил результаты t-теста и метода главных компонент, где Гиагинская и Даховская популяции имели существенное различие по второй компоненте.

Из всех природно-климатических факторов высотного градиента достоверно влияли на морфологические признаки листа *A. negundo* высота над уровнем моря и количество осадков, что подтвердилось результатами линейной регрессии. Методом главных компонент и кластерным анализом были подтверждены морфологические различия в популяциях (G и D), наиболее сильно отличающихся по высоте над уровнем моря и количеству осадков.

Заключение

Адаптивная стратегия инвазивных видов обусловлена совокупностью морфологических признаков, которые позволяют успешно конкурировать как между собой, так и с аборигенными видами.

Сравнительный анализ изменчивости морфологических показателей листьев четырех популяций *A. negundo* в высотном градиенте Се-

веро-Западного Кавказа (Республика Адыгея) в пределах от 120 до 600 м н.у.м. показал средний уровень внутривнутрипопуляционной изменчивости длины и толщины листовой пластинки верхнего листочка и указывает на стабильность данных признаков. Мерные признаки (максимальная ширина, площадь листовой пластинки, угол между центральной и боковой жилкой верхнего листочка) и аллометрические признаки (индекс листовой пластинки, флуктуирующая асимметрия) показали высокую степень варьирования (21,7-46,7%) и более чувствительны к действию набора экологических факторов. На межпопуляционную изменчивость морфологических признаков листьев *A. negundo* (максимальная длина, ширина листовой пластинки, индекс листовой пластинки и флуктуирующая асимметрия) слабовыраженное влияние оказывал высотный градиент.

Наибольший вклад в изменчивость морфологических параметров листьев популяций *A. negundo* вносят ширина и площадь листовой пластинки, индекс листовой пластинки. На изменчивость морфологических признаков листьев популяций *A. negundo* достоверно влияют высота над уровнем моря и количество осадков. Более высокая изменчивость признаков листьев для популяций *A. negundo* Даховской и Гиагинской в разных экологических условиях, определяемых высотным градиентом, можно рассматривать как проявление адаптивного морфогенеза. Следовательно, *A. negundo* обладает высокой экологической пластичностью, высоким экологическим потенциалом и способен выдержать влияние спектра эколого-климатических условий.

Результаты исследований по морфологической изменчивости листьев могут послужить основой для дальнейшего изучения инвазионности *A. negundo* на Северо-Западном Кавказе.

Информация о конфликте интересов. Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

Список литературы

1. Абдуллаева С.Д. Изменчивость количественных признаков листа *Rubus idaeus* L // Труды Дагестанского отделения Русского ботанического общества. Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников М. А.), 2008. С. 34–37.
2. Акатов В.В., Акатова Т.В., Грабенко Е.А. Изменения верхней границы распространения акации белой и клена ясенелистного в долине реки Белая (Западный Кавказ) // Лесоведение. 2014. № 1. С. 21-33.

3. Акатова Т.В., Акатов В.В. Высотное распространение чужеродных видов растений на Западном Кавказе // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12, № 2. С. 25-29.
4. Баранов С.Г., Бурдакова Н.Е. Оценка стабильности развития. Методические подходы. Владимир: Изд-во ВлГУ. 2015. 72 с.
5. Башмаков Д.И. Морфологические индексы листьев *Betula pendula* roth. как индикаторы загрязнения почв тяжелыми металлами // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 4(32). С. 28-35. <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2022.4.28.35>
6. Викторов В.П. Внутривидовая изменчивость растений. М.: МПГУ, 2016. 174 с.
7. Виноградова Ю.К. Генотипическая изменчивость *Acer negundo* L. на протяжении Транссибирской магистрали // Российский журнал биологических инвазий. 2023. Т. 16. № 3. С. 19-29. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-16-3-19-29>
8. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Костина М.В. Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.): морфология, биология и оценка инвазивности. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2022. 2018 с.
9. Гелашвили Д.Б., Чупрунов Е.В., Иудин Д.И. Структурные и биоиндикационные аспекты флуктуирующей асимметрии билатерально симметричных организмов // Журнал общей биологии. 2004. Т. 65(5). С. 433–444.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
11. Жуйкова Т.В., Мелинг Э.В., Попова А.С. Групповая изменчивость морфологических признаков листа *Betula pendula* Roth (Betulaceae, Magnoliopsida) в градиентах погодных условий и техногенной трансформации почв // Поволжский экологический журнал. 2023. № 1. С. 37-57. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>
12. Зайцев Г.М. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
13. Захаров В.М., Зюганов В.В. К оценке асимметрии билатеральных признаков как популяционной характеристики // Экология. 1980. N1. С. 10–16.
14. Зернов А.С. Материалы к флоре российского Западного Кавказа. Сообщение 3. // Бюл. Моип, отд. Биол. 2003. Т. 108, вып. 3. С. 92–93.
15. Корона В.В., Васильев А.Г. Строение и изменчивость листьев растений: основы модульной теории. Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2007. 280 с.
16. Кулахметов Р.М., Башмаков Д.И. Флуктуирующая асимметрия листьев кле-на американского в условиях г. Рузаевки // Промышленная ботаника. 2019. Т. 19. № 3. С. 59-63.

17. Майр Э. Популяция, виды и эволюция. М.: Мир, 1974. 460 с.
18. Мамаев С.А., Горчаковский С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства *Pinaceae* на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
19. Оценка состояния растений по стабильности развития в естественных и антропогенных условиях (флуктуирующая асимметрия признаков листа березы повислой *Betula pendula* Roth) / В.М. Захаров, Е.Г. Шадрина, Н.В. Турмухаметова [и др.] // Известия РАН. Серия биологическая, 2020. №2. С. 191–196. <https://doi.org/10.31857/S0002332920020113>
20. Ростова Н.С. Корреляции: структура и изменчивость. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 308 с.
21. Савинов А.Б., Никитин Ю.Д., Ерофеева Е.А. Биоиндикационный аспект изменчивости листьев *Acer negundo* L. при загрязнении городских почв тяжелыми металлами// Проблемы региональной экологии. 2018. № 5. С. 45-47. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-15045>
22. Соколова В. В. Инвазионный потенциал растений экспозиции флоры Кавказа в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН // Российский журнал биологических инвазий. 2022. Т. 15. № 4. С. 55-68. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-4-55-68>
23. Тихонова Н.А., Тихонова И.В., Ямских И.В. Морфологическая изменчивость популяций *Rhododendron dauricum* L. в горах Южной Сибири // Turczaninowia. 2012. Т. 15. № 1. С. 40-44.
24. Уровень видовой полнотченности и потенциал инвазибельности растительных сообществ Западного Кавказа: введение в проблему / В.В. Акатов, Т.В. Акатова, Ю.С. Загурная [и др.] // Проблемы устойчивости экономических и экологических систем: Региональный аспект. Майкоп: ООО «Качество», 2007. С. 84-100.
25. Чудновская Г.В., Чернакова О.В. Флуктуирующая асимметрия листа *Acer negundo* L. как индикатор состояния организма и качества городской среды // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023. 28(2). 293-302. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-293-302>
26. Biology of the invasive species *Acer negundo* L. in the conditions of the north-west caucasus foothills / E.M. Ednich, I.V. Chernyavskaya, T.N. Tolstikova, S.I. Chitao // Indian Journal of Science and Technology. 2015. Vol. 8. No. 30. P. 85426. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i30/85426>
27. Chernyavskaya I., Ednich E., Belous O. Indicators of adaptability of representatives of the genus *Acer* in an urban environment // BIO Web of Conferences 67, 01007 (2023) <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236701007>

28. Ex Situ Plant Conservation and Beyond / Havens K., Vitt P., Maunder M., Guerrant E.O., Dixon K. // *BioScience*. 2006. Vol. 56. Is. 6. P. 525–531. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56)
29. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications / J.H. Graham, S. Raz, H. Hel-Or, E. Nevo // *Symmetry*. 2010. Vol. 2. P. 466–540. <https://doi.org/10.3390/sym2020466>
30. Kvesić S, Hodžić MM, Čater M, Ballian D. Morphologic variability of the *Acer campestre* L. populations in Bosnia and Herzegovina // *Acta Biologica Sibirica*, 2021, Is. 7. P. 327–343. <https://doi.org/10.3897/abs.7.e73001>
31. Li Y.-Q., Wang Z.-H Leaf morphological traits: ecological function, geographic distribution and drivers // *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2021, vol.45, Iss. 10. pp. 1154–1172. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0405>
32. Solomentseva A.S. Adaptive potential and phenotypic variability of *Ribes* species in the Lower Volga Region // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Vol. 14. No. 6. P. 338–355. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-338-355>

References

1. Abdullaeva S.D. *Trudy Dagestanskogo otdeleniya Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Dagestan Branch of the Russian Botanical Society]. Makhachkala: ALEF (IP Ovchinnikov M. A.), 2008, pp. 34–37.
2. Akatov V.V., Akatova T.V., Grabenko E.A. *Lesovedenie* [Forestry], 2014, no. 1, pp. 21–33.
3. Akatova T.V., Akatov V.V. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy* [Russian Journal of Biological Invasions], 2019, vol. 12, no. 2, pp. 25–29.
4. Baranov S.G., Burdakova N.E. *Otsenka stabil'nosti razvitiya. Metodicheskie podkhody* [Assessing development stability. Methodological approaches]. Vladimir: Izd-v VISU, 2015, 72 p.
5. Bashmakov D.I. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian Journal of Applied Ecology], 2022, no. 4(32), pp. 28–35.
6. Viktorov V.P. *Vnutrividovaya izmenchivost' rasteniy* [Intraspecific variability in plants]. Moscow: MPGU, 2016, 174 p.
7. Vinogradova Yu.K. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy* [Russian Journal of Biological Invasions], 2023, vol. 16, no. 4, pp. 19–29. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-16-3-19-29>
8. Vinogradova Yu.K., Mayorov S.R., Kostina M.V. *Klen yasenelistnyy (Acer negundo L.): morfologiya, biologiya i otsenka invazivnosti* [Ash maple (*Acer negundo* L.): morphology, biology and invasiveness assessment]. Moscow: KMK Publ., 2022, 2018 p.

9. Gelashvili D.B., Chuprunov E.V., Iudin D.I. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology], 2004, vol. 65(5), pp. 48-56.
10. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
11. Zhuykova T.V., Meling E.V., Popova A.S. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Volga Ecological Journal], 2023, no. 1, pp. 37-57. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-1-37-57>
12. Zaytsev G.M. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Science, 1984, 424 p.
13. Zakharov V.M., Zyuganov V.V. *Ekologiya* [Ecology], 1980, no. 1, pp. 10-16.
14. Zernov A.S. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biologicheskoy* [Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Biological Series], 2003, vol. 108, no. 3, pp. 92-93.
15. Korona V.V., Vasil'ev A.G. *Stroenie i izmenchivost' list'ev rasteniy: osnovy modul'noy teorii* [Plant leaf structure and variability: foundations of modular theory]. Ekaterinburg: Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 280 p.
16. Kulakhmetov R.M., Bashmakov D.I. *Promyshlennaya botanika* [Industrial botany], 2019, vol. 19, no. 3, pp. 59-63.
17. Mayr E. *Populyatsiya, vidy i evolyutsiya* [Population, species and evolution]. Moscow: World, 1974, 308 p.
18. Mamaev S. A., Gorchakovskiy S. A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy (na primere semeystva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the *Pinaceae* family in the Urals)]. Moscow: Science, 1972, 284 p.
19. Zakharov V.M., Shadrina E.G., Turmukhametova N.V., Ivantsova E.N., Shikailova E.A., Soldatova V.Yu., Sharova N.A., Trofimov I.E. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 2020, no. 2, pp. 191-196. <https://doi.org/10.31857/S0002332920020113>
20. Rostova N.S. *Korrel'yatsii: struktura i izmenchivost'* [Correlations: structure and variability]. St. Petersburg: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2002, 308 p.
21. Savinov A.B., Nikitin Yu.D., Erofeeva E.A. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], 2018, no. 5, pp. 45-47. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-15045>
22. Sokolova V.V. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy* [Russian Journal of Biological Invasions], 2022, vol. 15, no. 4, pp. 55-68. <https://doi.org/10.35885/1996-1499-15-4-55-68>

23. Tikhonova N.A., Tikhonova I.V., Yamskikh I.V. *Turczaninowia* [Turczaninowia], 2012, vol. 15, no. 1, pp. 40-44.
24. Akatov V.V., Akatova T.V., Zagurnaya Yu.S., Mukhin I.N., Tuniev B.S., Chefranov S.G. *Problemy ustoychivosti ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem: Regional'nyy aspekt* [Problems of sustainability of economic and ecological systems: Regional aspect]. Maykop: LLC "Quality", 2007, pp. 84-100.
25. Chudnovskaya G.V., Chernakova O.V. *Prirodnye resursy Arktiki i Subarktik* [Arctic and Subarctic Natural Resources], 2023, 28(2), pp. 293-302. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-293-302>
26. Ednich E.M., Chernyavskaya I.V., Tolstikova T.N., Chitao S.I. Biology of the invasive species *Acer negundo* L. in the conditions of the north-west caucasus foothills. *Indian Journal of Science and Technology*, 2015, vol. 8, no. 30, pp. 85426. <https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i30/85426>
27. Chernyavskaya I., Ednich E., Belous O. Indicators of adaptability of representatives of the genus *Acer* in an urban environment. *BIO Web of Conferences* 67, 01007 (2023). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236701007>
28. Havens K., Vitt P., Maunder M., Guerrant E.O., Dixon K. Ex Situ Plant Conservation and Beyond. *BioScience*, 2006, vol. 56, no. 6, pp. 525–531. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56)
29. Graham J.H., Raz S., Hel-Or H., Nevo E. Fluctuating asymmetry: methods, theory, and applications. *Symmetry*, 2010, vol. 2, pp. 466–540. <https://doi.org/10.3390/sym2020466/>
30. Kvesić S, Hodžić MM, Čater M, Ballian D. Morphologic variability of the *Acer campestre* L. populations in Bosnia and Herzegovina. *Acta Biologica Sibirica*, 2021, no. 7, pp. 327-343. <https://doi.org/10.3897/abs.7.e73001>
31. Li Y.-Q., Wang Z.-H Leaf morphological traits: ecological function, geographic distribution and drivers. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2021, vol. 45, no. 10, pp. 1154–1172. <https://doi.org/10.17521/cjpe.2020.0405>
32. Solomentseva A.S. Adaptive potential and phenotypic variability of *Ribes* species in the Lower Volga Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 6, pp. 338-355. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-6-338-355>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Еднич Евгения Михайловна, ст. преподаватель кафедры физиологии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Адыгейский государственный университет»

*ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
ednich@mail.ru*

Чернявская Ирина Владимировна, заведующий кафедрой ботаники,
канд. биол. наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
chernyav.iv@mail.ru*

Толстикова Татьяна Николаевна, директор ботанического сада
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
mekedaherb@inbox.ru*

Хагур Мариет Нурдиновна, доцент кафедры ботаники, канд. с.-х. наук
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
hagur.mariet@yandex.ru*

Алиев Марат Вячеславович, заведующий кафедрой прикладной матема-
тики, информационных технологий и информационной безопасно-
сти, канд. физ.-мат. наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-
ние высшего образования «Адыгейский государственный университет»
ул. Первомайская, 208, г. Майкоп, 385000, Российская Федерация
alievmarat@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Evgenia M. Ednich, Senior Instructor, Department of Physiology
*Adyghe State University
208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation
ednich@mail.ru
SPIN-code: 3774-5641
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9425-309X>
Scopus Author ID: 57189345758*

Irina V. Chernyavskaya, Associate Professor, Head of the Department of Botany, Candidate of Biological Sciences

Adyghe State University

208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation

chernyav.iv@mail.ru

SPIN-code: 7089-7875

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5175-9883>

ResearcherID: HDM-3615-2022

Scopus Author ID: 57189346675

Tatyana N. Tolstikova, Director of the Botanical Garden

Adyghe State University

208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation

mekedaherb@inbox.ru

SPIN-code: 1967-8632

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7086-407X>

Scopus Author ID: 57189341715

Mariet N. Khagur, Associate Professor, Department of Botany, Candidate of Agricultural Sciences

Adyghe State University

208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation

hagur.mariet@yandex.ru

SPIN-code: 5132-5776

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3073-4645>

Marat V. Aliev, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, Information Technologies and Information Security, Candidate of Physics and Mathematics Sciences

Adyghe State University

208, Pervomaiskaya, Str., Maikop, 385000, Russian Federation

alievmarat@mail.ru

SPIN-code: 4054-3049

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7676-1127>

ResearcherID: K-8013-2012

Scopus Author ID: 16201718500

Поступила 21.12.2023

После рецензирования 10.01.2024

Принята 26.01.2024

Received 21.12.2023

Revised 10.01.2024

Accepted 26.01.2024

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-858

УДК 579



Научная статья

АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ ТОКСИНОВ *ESCHERICHIA COLI*, *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS*, *C. DIFFICILE* В ОБЪЕМИСТЫХ КОРМАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.А. Филиппова, Е.А. Йылдырым, Л.А. Ильина, Г.Ю. Лаптев,
А.В. Дубровин, В.А. Заикин, К.А. Калиткина, А.С. Дубровина,
И.Г. Малахов, И.А. Ключникова**

Обоснование. Во время заготовки объемистых кормов нежелательная микрофлора может попадать на кормовые культуры во время уборки с почвой, которая может содержать различные патогенные микроорганизмы, в том числе клостридии и энтеробактерии, попадающие в нее при внесении на поля навоза в качестве удобрения. В результате силос может становиться непригодным для использования в качестве корма для животных.

Цель. Оценить наличие в консервированных кормах в хозяйствах Ленинградской области генов токсинов бактерий: шигатоксина (*stx1*, *stx2*), интимина (*eae*), энтерогемоллизина (*ehxA*) энтеробактерий; альфа токсина (*cpa*), бета токсина (*cpb*) и эпсилон токсина (*etx*) *C. perfringens*; бинарного токсина (*cdtB*), токсина А (*tcdA*) и В (*tcdB*) *C. difficile*.

Материалы и методы. В исследовании использованы методы молекулярной биологии: высокопроизводительное секвенирование фрагмента гена *16S rRNA* для оценки микробного сообщества силоса и ПЦР для оценки при-

сутствия генов токсинов в силосном сообществе. На основании полученных данных проведен биоинформатический анализ.

Результаты. В результате анализа проб силосов из большинства районов Ленинградской области на присутствие генов шигатоксина (*stx1*, *stx2*), интимина (*eae*), энтерогемолизина (*ehxA*) энтеробактерий; альфа токсина (*cpa*), бета токсина (*cpb*) и эпсилон токсина (*etx*) *C. perfringens*; бинарного токсина (*cdtB*), токсина А (*tcdA*) и В (*tcdB*) *C. difficile* при помощи метода ПЦР было показано, что образцы силоса загрязнены некоторыми генетическими детерминантами токсичности бактерий. Гены интимина, бета токсина и бинарного токсина не были выявлены ни в одном из исследованных образцов. Сильно загрязненными токсинами были около 32% исследованных кормов. Без присутствия токсинов было выявлено 23% силосов.

Заключение. Полученные данные свидетельствуют о том, что быстрое закисление лактобактериями силосуемой массы способствует снижению развития патогенных энтеробактерий и клостридий.

Ключевые слова: силос; бактериальные токсины; ПЦР; *E. coli*; *Clostridium* sp.

Для цитирования. Филиппова В.А., Йылдырым Е.А., Ильина Л.А., Лаптев Г.Ю., Дубровин А.В., Заикин В.А., Калиткина К.А., Дубровина А.С., Малахов И.Г., Ключникова И.А. Анализ присутствия токсинов *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *C. difficile* в объемистых кормах Санкт-Петербурга и Ленинградской области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 164-185. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-858

Original article

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF TOXINS FROM *ESCHERICHIA COLI*, *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS*, *C. DIFFICILE* IN BULK FEEDS OF SAINT-PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

V.A. Filippova, E.A. Yildirim, L.A. Ilina, G.Yu. Laptev,
A.V. Dubrovin, V.A. Zaikin, K.A. Kalitkina, A.S. Dubrovina,
I.G. Malakhov, I.A. Klyuchnikova

Background. Undesirable microflora can enter forage crops during harvesting with soil, which can contain various pathogenic microorganisms, including clostrid-

ia and enterobacteria, which enter it when manure is applied to fields as fertilizer. As a result, the silage may become unsuitable for use as animal feed.

Purpose. Assess the presence of bacterial toxin genes in canned food on farms in the Leningrad region: shiga toxin (*stx1*, *stx 2*), intimin (*eae*), enterohemolysin (*ehxA*) of enterobacteria; alpha toxin (*cpa*), beta toxin (*cpb*) and epsilon toxin (*etx*) *C. perfringens*; binary toxin (*cdtB*), toxin A (*tcdA*) and B (*tcdB*) *C. difficile*.

Materials and methods. The study used molecular biology methods: high-throughput sequencing of a fragment of the 16S rRNA gene to assess the microbial community of silage and PCR to assess the presence of toxin genes in the silage community. Based on the data obtained, a bioinformatics analysis was carried out.

Results. As a result of the analysis of silage samples from most districts of the Leningrad region for the presence of genes for shiga toxin (*stx1*, *stx 2*), intimin (*eae*), enterohemolysin (*ehxA*) of enterobacteria; alpha toxin (*cpa*), beta toxin (*cpb*) and epsilon toxin (*etx*) *C. perfringens*; binary toxin (*cdtB*), toxin A (*tcdA*) and B (*tcdB*) *C. difficile*, silage samples were shown to be contaminated by several genetic determinants of bacterial toxicity using PCR. The genes for intimin, beta toxin and binary toxin were not identified in any of the samples examined. About 32% of the tested feeds were heavily contaminated with toxins. 23% of silos were found to be free of toxins.

Conclusion. The data obtained indicate that rapid acidification of the silage mass by lactobacilli helps to reduce the development of pathogenic enterobacteria and clostridia.

Keywords: silage; bacterial toxins; PCR; *E. coli*; *Clostridium* sp.

For citation. Filippova V.A., Yildirim E.A., Ilina L.A., Laptev G.Yu., Dubrovin A.V., Zaikin V.A., Kalitkina K.A., Dubrovina A.S., Malakhov I.G., Klyuchnikova I.A. Analysis of the Presence of Toxins From *Escherichia coli*, *Clostridium Perfringens*, *C. difficile* in Bulk Feeds of Saint-Petersburg and Leningrad Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 164-185. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-858

Введение

Силосование растительного сырья является основным биологическим методом его сохранения, который тысячелетиями использовался для длительного хранения кормов. В норме консервация достигается за счет быстрого снижения pH среды, которое обеспечивается при помощи молочнокислых бактерий. Эпифитные молочнокислые бактерии утилизируют простые углеводы, содержащиеся в силосованных растениях и метаболизируют их до молочной кислоты и в меньшей степени до уксус-

ной кислоты, что предотвращает порчу силоса и позволяет ему храниться длительное время. Производство силосованных кормов имеет важное значение в странах с суровыми зимними сезонами, где животные не могут круглый год получать необходимое им количество энергии или питательных веществ с выпаса, а также в регионах с влажным климатом, где трудно заготавливать и хранить сено [16]. При нормальном развитии процессов силосования получается качественный и безопасный корм для животных. Однако при нарушении процессов, когда закисление среды происходит недостаточно быстро, начинают размножаться патогенные и условно-патогенные микроорганизмы.

Некачественный силос может содержать патогенные микроорганизмы [20], которые снижают продуктивность животных [9], вызывают болезни крупного рогатого скота [17] и представляют угрозу для здоровья человека [15; 20]. Большое количество исследований в настоящее время посвящено загрязнению кормов микотоксинами, в то время как исследования контаминации кормов животных бактериальными токсинами находится в тени, хотя данные исследования, несомненно, могут оказать значительное положительное влияние, как на здоровье сельскохозяйственных животных, так и непосредственно на здоровье человека [11].

Корма обычно заражаются патогенами при внесении на поля навоза в качестве удобрения или вследствие переноса через почву во время сбора урожая [19]. Крупный рогатый скот является основным резервуаром некоторых патогенных микроорганизмов, таких как *Escherichia coli* O157:H7 [7], которые могут попадать в навозные отстойники с навозом крупного рогатого скота и впоследствии попадать на сельскохозяйственные культуры. Следовательно, силос, как и другие корма для скота, может быть важным средством передачи возбудителей болезней на ферме [17]. Неадекватная ферментация силоса и плохое управление кормлением силоса способствуют размножению патогенов в силосе [17]. Наиболее распространенными патогенными микроорганизмами, обнаруживаемыми в силосе, являются *Escherichia coli*, особенно *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus sp.*, *Salmonella sp.* и *Clostridium sp.* [23].

На сегодняшний день хорошо известно, что основными возбудителями инфекций крупного рогатого скота являются следующие виды клостридий: *C. perfringens*, *C. botulinum*, *C. chauvoei*, *C. septicum*, *C. oedematiens*, *C. tetani*, *C. sordellii*, продуцирующие ряд опасных токсинов, интоксикация организма которыми нередко сопровождается летальным исходом [13]. Существует 5 определенных типов или генотипов *C. perfringens*: А, В, С, D, Е,

которые идентифицируются на основе токсинов, которые они продуцируют. Например, альфа-токсин (CPa), продуцируемый *Clostridium perfringens* типа А, вызывает газовую гангрену и мионекроз в инфицированных тканях, обладает гемолитической активностью. Клаудин 4 (CLDN4), продуцируемый *Clostridium perfringens*, вызывает накопление жидкости в кишечном тракте за счет изменения проницаемости мембран эпителиальных клеток кишечника. Токсин А *Clostridium difficile* (TcdA) представляет собой токсин, который обладает цитотоксичностью. Токсин действует путем модификации белков GTPase клетки-хозяина путем гликозилирования, что приводит к изменениям клеточной активности. Увеличение концентрации эндотоксинов в крови животных выше физиологической нормы приводит к патологическому состоянию — эндотоксиновой агрессии [13].

Важно отметить также отсутствие эффективных методов профилактики клостридиозов. Использование веществ, ингибирующих активность токсинов клостридий, таких, как 4-бромбензальдегид N-(2,6-диметилфенил) семикарбазон и аптамеров, уникальных олигонуклеотидов с высоким сродством к белкам организма - мишеням клостридий, слишком дорогостоящие методы для использования в животноводстве.

Цель исследования. Оценить наличие в консервированных кормах в хозяйствах Ленинградской области генов токсинов бактерий: шигатоксина (stx1, stx 2), интимина (eae), энтерогемолизина (ehxA) энтеробактерий; альфа токсина (cpa), бета токсина (cpb) и эпсилон токсина (etx) *C. perfringens*; бинарного токсина (cdtB), токсина А (tcdA) и В (tcdB) *C. difficile*.

Материалы и методы исследования

Пробы силоса были отобраны на территории большинства районов в 17 хозяйствах Ленинградской области в Волосовском, Волховском, Всеволожском, Выборгском, Гатчинском, Киришском, Кировском, Тосненском и в Пушкинском районе г. Санкт-Петербурга. Отбор проб силоса из траншеи проводили с применением пробоотборника с максимально возможным при данных методах соблюдением условий асептики. Образцы были заморожены (-20°C) и переданы на сухом льду в лабораторию. Был проведен биохимический анализ кормов, оценены сырой протеин (ГОСТ 10846-91), клетчатка (ГОСТ 13496.2-91) и зола (ГОСТ 10847-74). Анализ проводили для среднесмешанной пробы из 3 точек отбора.

Тотальную ДНК из образцов силоса выделяли с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («ThermoFisher Scientific, Inc.», США)

согласно прилагаемой инструкции. Реакции амплификации проводили на амплификаторе DT Light («ДНК-Технология», Россия).

Праймеры для детекции генов токсинов энтеробактерий и клостридий в содержимом рубца и микроорганизмов в пробах кормов были разработаны с использованием программы NCBI/Primer-BLAST (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>).

Анализ бактерий в пробах силоса проводили методом ПЦР с помощью «Набора реактивов для проведения ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя EVA Green» (ЗАО «Синтол», Россия) и праймеров (табл. 1)

Таблица 1.

Последовательности праймеров, использованных в исследовании

Название	Последовательность (5'-3')	Длина п.н.
ehxA	GCATCATCAAGCGTACGTTCC AATGAGCCAAGCTGGTTAAGCT	534
eae	GGAACGGCAGAGGTTAATCTGCAG GGCGTCATCA TAGTCTTTC	346
stx1a	CCTTTCCAGGTACAACAGCGGTT GGAAACTCATCAGATGCCATTCTGG	478
stx2b	AAATATGAAGAAGATATTTGTAGCGGC CAGCAAATCCTGAACCTGACG	251
cpb	TCCTTCTTTGAGGGAGGATAAA TGAACCTCCTATTTGTATCCCA	611
etx	TGGGAACCTTCGATACAAGCA TTAACTCATCTCCATAACTGCAC	396
cpa1	GCTAATGTTACTGCCGTTGA CCTCTGATACATCGTGTAAG	324
tcdA	GCATGATAAGGCAACTTCAGTGGTAa AGTTCCTCCTGCTCCATCAAATG	629
tcdB	CCAAARTGGAGTGTTACAAACAGGTG GCATTCTCCTATTCTCAGCAAAGTA	410
ctdB	TTGACCCAAAGTTGATGTCTGATTG CGGATCTCTTGCTTCAGTCTTTATAG	262

Силос был проверен на присутствие генов шигатоксина (stx1, stx 2), интимина (eae), энтерогемолизина(ehxA) энтеробактерий; альфатоксина (cpa), бетатоксина (cpb) и эпсилон токсина (etx) *C. perfringens*; бинарного токсина (cdtB), токсина А (tcdA) и В (tcdB) *C. difficile*.

Амплификацию для последующего проведения NGS-секвенирования проводили с использованием ДНК-амплификатора Verity («Life Technologies, Inc.», США) с помощью зубактериальных прай-

меров (IDT), 343F (5'-CTCCTACGRRSGCAGCAG-3') и 806R (5'-GGACTACNVGGGTWTCTAAT-3'), фланкирующих участок V1V3 гена 16S рРНК. Метагеномное секвенирование осуществляли на геномном секвенаторе MiSeq («Illumina, Inc.», США) с набором MiSeq Reagent Kit v3 («Illumina, Inc.», США). Максимальная длина полученных последовательностей составила 2 x 300 нт. Химерные последовательности были исключены из анализа с помощью программы «USEARCH 7.0» (<http://drive5.com/usearch/>). Обработка полученных ридов 2 x 300 нт происходила с помощью биоинформатической платформы «CLC Bio GW 7.0» («Qiagen», Нидерланды) и включала в себя перекрывание, фильтрацию по качеству (QV>15), триммирование праймеров. Определение таксономической принадлежности микроорганизмов до рода проводили с применением программы RDP Classifier. Статистическую обработку данных, построение диаграмм проводили с использованием программ Microsoft Excel и Past. Heatmap по семействам построен с учетом представленности при $p \leq 0,05$ (рассчитано в пакете limma, в RStudio) при модерируемом t-тесте.

Результаты исследования

При помощи метода ПЦР силос был исследован на присутствие генов шигатоксина (stx1, stx 2), интимина (eae), энтерогемолизина (ehxA) энтеробактерий; альфа токсина (сра), бета токсина (срб) и эпсилон токсина (etx) *C. perfringens*; бинарного токсина (cdtB), токсина А (tcdA) и В (tcdB) *C. difficile* (Рис.1). В результате гены интимина, бета токсина и бинарного токсина не были выявлены ни в одном из исследованных образцов. Наиболее загрязненными образцами, в которых были найдены 50% от общего числа исследованных токсинов, оказались образцы силосов №1 и №13 (были выявлены гены шигатоксинов обоих типов, энтерогемолизина, альфа токсина и токсинов А и В) и № 5 (были выявлены гены шигатоксинов обоих типов, энтерогемолизина, токсинов А и В. Нагрузкой в три разных токсина (или 30 % от общего числа проверенных токсинов) обладали силоса № 3, № 8, № 9 и № 10. Токсины не были выявлены в силосах № 6, №7, №11, № 14 и №16. Таким образом, значительно загрязненными токсинами были около 32% исследованных кормов (содержали в себе 3-5 генетических детерминант токсинов). Без токсинов было выявлено порядка 23% силосов.

Секвенирование микробного сообщества силоса показало, что в 73% исследованных силосов (№ 1-4, 9-11, 13-16 и 18-22) более 30% бактерий, входящих в сообщество, было представлено представителями филы Firmicutes, куда относятся молочные кислые лактобактерии. Высокая доля

Proteobacteria (более 30%) была выявлена в силосах №6, №9, №10, №12, №14, №17 и №18.

Более детальный анализ микробиоты силоса на уровне семейств показал, что Lactobacillaceae были доминирующим семейством в силосах №2, 4, 14, 15, 16, 19-22. Их доля варьировала в образцах от 35 до 99 %. Доминантным был род *Lactobacillus* во всех указанных выше образцах. Семейство порядка Lactobacilli Leuconostocaceae (род *Weissella*) доминировало в силосах №1 (67,6%), №3 (74,1%) и №13 (77,6%).

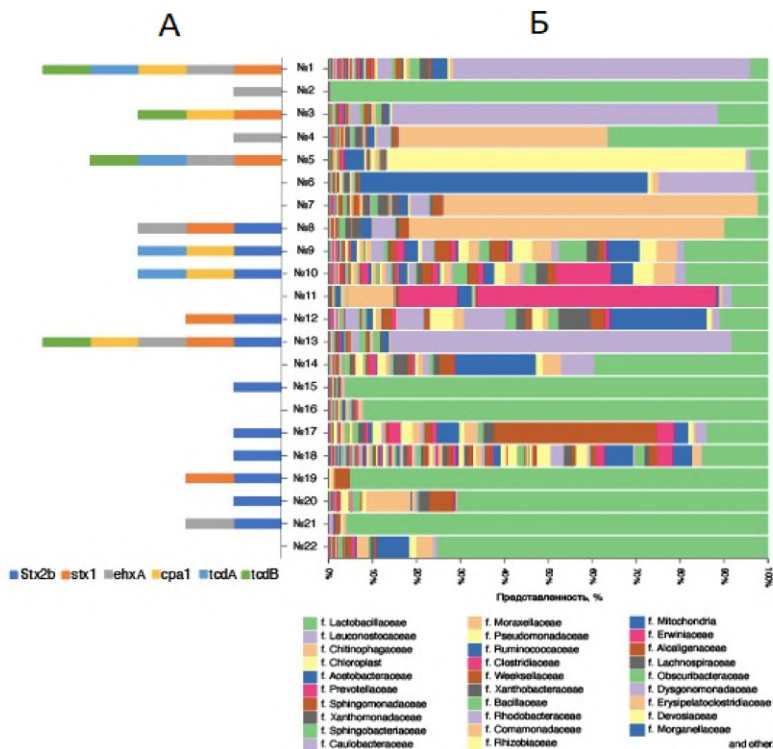


Рис. 1. А) Присутствие токсинов в силосах по результатам ПЦР, Б) Таксономическое разнообразие микробного сообщества силоса, полученного методом NGS секвенирования фрагмента гена 16S рРНК в хозяйствах Санкт-Петербурга и Ленинградской области. №1-22: номера образцов силоса.

В остальных силосах не было отмечено доминирование молочнокислых бактерий в эпифитном сообществе силоса. Представители сем.

Chitinophagaceae доминировали в силосе №4 (47,7%), №7 (71,6%) и №8 (71,7%). В силосе №11 доминировали представители сем. Prevotellaceae (54,6%). В силосе № 17 доминировали представители Sphingomonadaceae (37,0%).

Таблица 2.

Биохимическая характеристика образцов силоса

№ пробы	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырая зола, %
1	7,89	32,81	6,93
2	12,56	30,46	6,65
3	8,40	29,15	7,95
4	7,80	28,30	4,29
5	17,94	30,67	8,07
6	8,62	32,80	6,8
7	18,00	23,30	7,50
8	12,80	21,70	5,70
9	18,19	18,86	8,04
10	16,70	18,95	9,89
11	11,38	28,66	8,26
12	9,18	32,34	8,81
13	8,62	30,60	8,70
14	16,50	30,48	8,20
15	16,39	32,16	7,51
16	15,80	26,80	-
17	11,90	28,40	-
18	12,00	28,00	-
19	10,70	33,60	-
20	14,59	30,00	8,6
21	11,97	27,90	-
22	9,40	32,57	5,5

Согласно ГОСТ 55986—2014, некоторые силоса были определены как силоса 3 класса (табл.2), обладающие более низким качеством, по сравнению с другими силосами 1-2 класса. Наиболее низкими показателями качества обладали силоса № 1, 3, 6, 12, 13, 19 и 22. В них было выявлено низкое количество сырого протеина (менее 10%) и высокое содержание сырой клетчатки (более 31 %).

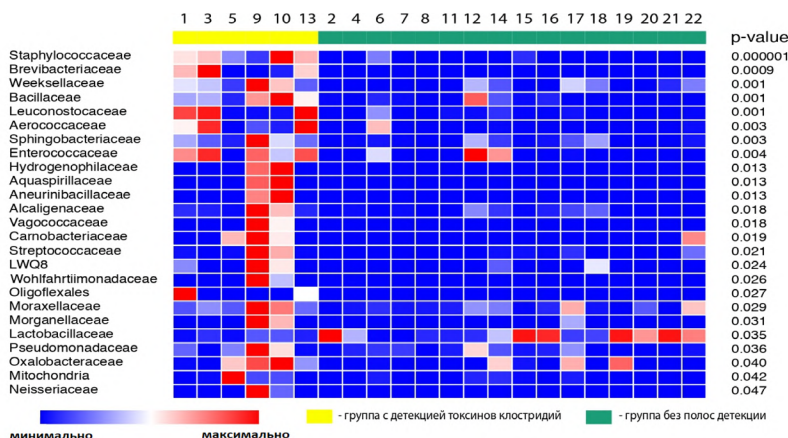


Рис. 2. Анализ достоверности взаимосвязи между таксономическим разнообразием эпифитного сообщества силоса и наличием/отсутствием генетических детерминант токсинов клостридий

Высокая нагруженность клостридиальными токсинами образцов силоса имела достоверную взаимосвязь с присутствием некоторых патогенных (*Staphylococcaceae*, $p=0,000001$) и непатогенных микроорганизмов (*Brevibacteriaceae*, $p=0,0009$; *Weeksellaceae*, $p=0,001$; *Bacillaceae*, $p=0,001$; *Leuconostocaceae*, $p=0,001$; *Aerococcaceae*, $p=0,003$; *Sphingobacteriaceae*, $p=0,003$; *Enterococcaceae*, $p=0,004$). Отсутствие молочнокислых бактерий сем. *Lactobacillaceae* также способствовало обнаружению большего числа бактериальных токсинов в силосе ($p=0,04$).

Обсуждение

Силос в настоящее время является наиболее распространенным консервированным кормом для скота во многих странах, включая Россию. Общий принцип силосования заключается в быстрой инактивации ферментных растительных систем и прекращении нежелательной микробной активности за счет создания анаэробных условий, развития молочнокислой микрофлоры и быстрого подкисления.

Нежелательная микрофлора может попадать на кормовые культуры во время уборки с почвой, которая может содержать различные патогенные микроорганизмы, в том числе клостридии и энтеробактерии, попадающие в нее при внесении на поля навоза в качестве удобрения [19]. Наиболее распространенными патогенными микроорганизмами, обнару-

живаемыми в силосе, являются *Escherichia coli*, особенно *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus sp.*, *Salmonella sp.* и *Clostridium sp.* [25].

Следует отметить, что в 64 % образцов силоса нами были выявлены гены токсинов энтеробактерий – шигатоксинов 1 и 2 типов. По мнению исследователей, наличие данных токсинов в кормах не всегда связано с заболеваниями животных. В Европе проводились исследования для оценки распространенности и свойств патогенных энтеробактерий у здоровых видов домашних животных, не страдающих диареей [2; 3]. Они показали, что крупный рогатый скот часто является носителем таких патогенных штаммов как STEC. Поэтому считается, что жвачные животные с бессимптомно протекающей инфекцией: крупный и мелкий рогатый скот являются главным резервуаром патогенных энтеробактерий [3]. Механизм передачи патогенных энтеробактерий между животными - фекальнооральный, реализуется при прямом контакте животных, через воду, при совместном кормлении, через зараженные пастбища и другие объекты окружающей среды.

Типичные штаммы патогенных энтеробактерий содержат ген *eae*, кодирующий синтез интимина (белка внешней мембраны клетки), участвующего в адгезии возбудителя к поверхности кишечного эпителия, а также ген *hly*, контролирующий продукцию энтерогемолизина.

В исследованных нами образцах силоса не был выявлен такой фактор вирулентности, как интимин (*eae*). Интимин представляет собой белок адгезина, необходимый для плотного присоединения энтеропатогенных штаммов кишечной палочки к клеткам-хозяевам в местах поражений. Он необходим для полной вирулентности при инфекциях человека и других животных. Исследования, проведенные на отдельных стадах или популяциях сельскохозяйственных животных, показали, что большинство изолятов крупного рогатого скота лишены основного дополнительного фактора вирулентности *eae* и *ehx* и, следовательно, не представляют потенциальной опасности для здоровья человека.

Таким образом, наличие только плазмидных генов шигатоксинов в образцах силоса не говорит об обязательной опасности данного корма в отношении зараженности патогенными для человека энтеробактериями.

Хорошо известно, что молочнокислые бактерии играют важную роль в ферментации силоса. Эпифитная микрофлора, микроорганизмы, естественным образом присутствующие в кормовых культурах, ответственны за ферментацию силоса, а также влияют на качество силоса [14].

Согласно полученным нами данным силоса, в основе микробного сообщества которых доминировали молочнокислые бактерии сем.

Lactobacillaceae, были наиболее безопасными с точки зрения нахождения в них генетических детерминант токсичности и лучшими по качеству кормов с биохимической точки зрения. Данные силоса или не содержали их совсем, или содержали в себе не более 1-2 детерминант токсичности. В то же время, отсутствие молочнокислых бактерий сем. Lactobacillaceae достоверно связано с обнаружением большего числа бактериальных токсинов в силосе ($p=0,04$). Это еще раз подтверждает то, что силос может быть заражен патогенными штаммами *E. coli* [19], но быстрое падение pH во время силосования убивает *E. coli* в силосе, зараженном патогеном перед силосованием.

Клостридиоз – одна из распространенных инфекций у крупного рогатого скота [21]. К заражению восприимчивы телята до шести месяцев и высокопродуктивные животные после первого и второго отелов [6]. Клостридиоз чаще встречается в крупных молочных стадах, чем в мясных или смешанных.

Альфа-токсин *C. perfringens* является основным фактором патогенности газовой гангрены. Кодированный ген (сра) расположен в хромосомах, высококонсервативен и поэтому присутствует во всех штаммах *C. perfringens* [8]. Он был выявлен нами в 5 образцах силоса, большинство из которых (№1, 3 и 13) отличались более низкими показателями качества. Известно, что *C. perfringens* типа А повсеместно встречается в пищеварительной системе коров и считается нормальной микрофлорой при низких уровнях у здоровых жвачных [20]. Другие токсинотипы не обнаруживаются столь часто в окружающей среде или в образцах фекалий жвачных животных.

Второй основной токсин *C. perfringens*, кодируемый геном сrb, – это бета-токсин. Он важен, поскольку участвует в некротическом энтерите у нескольких видов, включая крупный рогатый скот, и энтеротоксемии, такой как дизентерия ягнят [6]. Данный токсин не был выявлен ни в одном из исследованных образцов.

Clostridium difficile вызывает заболевания у разных видов животных, включая собак, лошадей, а также у молодняка – телят, ягнят, новорожденных поросят. Поражения у млекопитающих животных сходны с таковыми у человека, но их тяжесть и локализация в ЖКТ в значительной степени варьируются. Вирулентные штаммы *C. difficile* вырабатывают три токсина: энтеротоксин TcdA (токсин А), цитотоксин TcdB (токсин В) и бинарный токсин [1]. Гены бинарного токсина (cdtB) *C. difficile* не были выявлены ни в одном из исследованных образцов. Другие токсины *C. difficile*: токсин А (tcdA) и токсин В (tcdB) были выявлены в 27% образцах силоса.

Интересно отметить, что в наиболее загрязненных силосах доминировали представители семейства *Leuconostocaceae* порядка *Lactobacilli*, включающие в себя молочнокислые лактококки. Анализ показал, что высокая нагруженность клостридиальными токсинами имела прямую зависимость с *Leuconostocaceae* ($p=0,001$). Доля бактерий сем. *Leuconostocaceae* достигала в образце №1 - 67,6%, №3 - 74,1% и №13 - 77,6%. Лактококки были представлены родами *Weissella* и *Leuconostoc* в этих образцах силоса. Доля *Leuconostoc* sp. была незначительной и не превышала 0,1%. Род *Weissella* включает грамположительные, каталазоотрицательные и неэндоспорообразующие кокковидные или палочковидные молочнокислые бактерии [4]. Обнаружено, что некоторые штаммы *Weissella* обладают пробиотической активностью [12]. Несмотря на эту положительную роль, было продемонстрировано, что штаммы *W. viridescens*, *W. cibaria* и *W. confusa* способны действовать как условно-патогенные микроорганизмы у человека, в то время как штаммы *W. paramesenteroides* и *W. cibaria* были изолированы из молока коров с клиническим маститом [24].

В целом лактококки, продуцирующие молочную кислоту, такие как, *Weissella*, являются основными компонентами микробной флоры различных типов кормовых культур. Цай и др. [5] исследовали большое количество кормовых культур и трав, а также обнаружили, что преобладающими LAB были кокки, продуцирующие молочную кислоту.

Присутствие бактерий, входящих в филу *Bacteroides* сем. *Weeksellaceae* и *Sphingobacteriaceae*, достоверно имели взаимосвязь с высоким уровнем токсинов в кормах ($p=0,001$, $p=0,003$ соответственно).

Высокая нагруженность клостридиальными токсинами образцов силоса также имела достоверную взаимосвязь с увеличением доли патогенных бактерий сем. *Staphylococcaceae* ($p=0,000001$). В исследовании [22] было показано, что увеличение доли представителей сем. *Lactobacillaceae* привело к снижению относительной численности патогенных микроорганизмов, таких как *Escherichia coli* (<0,1% против 9,68%), *Staphylococcus epidermidis* (<0,1% против 9,46%) и *Streptococcus pneumoniae* (<0,1% против 8,53%) во время процесса силосования.

Заключение

В результате анализа проб силосов из большинства районов Ленинградской области на присутствие генов шигатоксина (*stx1*, *stx2*), интимина (*eae*), энтерогемолизина (*ehxA*) энтеробактерий; альфа токсина (*cpa*), бета токсина (*cpb*) и эpsilon токсина (*etx*) *C. perfringens*; бинарного токсина

(cdtB), токсина А (tcdA) и В (tcdB) *C. difficile* при помощи метода ПЦР было показано, что образцы силоса загрязнены некоторыми генетическими детерминантами токсичности бактерий. Гены интимина, бета токсина и бинарного токсина не были выявлены ни в одном из исследованных образцов. Сильно загрязненными токсинами были около 32% исследованных кормов (содержали в себе 3-5 генетических детерминант токсинов). Без присутствия токсинов было выявлено 23% силосов.

Анализ микробного сообщества силосов показал, что в силосах, содержащих наибольшую долю молочнокислых бактерий *Lactobacillus* sp., выявлялось меньшее число генов токсичности или они отсутствовали полностью. Силос обладал хорошим качеством, в отличие от силосов с высоким разнообразием генов токсичности. В силосах с высоким содержанием генов токсинов доля лактобацилл была минимальной, а доминирующими представителями были молочнокислые лактококки рода *Weissella*. Вероятно, бактерии рода *Lactobacillus* обладали высокой скоростью закисления среды, что способствовало снижению роста патогенной и нежелательной микрофлоры в силосе и, как следствие, отсутствию в нем токсинов.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-16-20007, <https://rscf.ru/project/23-16-20007/> и за счет гранта Санкт-Петербургского научного фонда №23-16-20007.

Список литературы / References

1. Baker A.A., Davis E., Rehberger T., Rosener D. Prevalence and diversity of toxigenic Clostridium perfringens and Clostridium difficile among swine herds in the Midwest. *Appl. Environm. Microbiol.*, 2010, vol. 76(9), pp. 2961–2967. <https://doi.org/10.1128/AEM.02459-09>
2. Beutin L., Geier D., Zimmermann S., Aleksic S., Gillespie H.A., Whittam T.S. Epidemiological relatedness and clonal types of natural populations of Escherichia coli strains producing Shiga toxins in separate populations of cattle and sheep. *Appl Environ Microbiol.*, 1997, vol. 63, no. 6, pp. 2175–2180. <https://doi.org/10.1128/aem.63.6.2175-2180.1997>
3. Blanco M., Blanco J.E., Blanco J., Gonzalez E.A., Mora A., Prado C., Fernández L., Rio M., Ramos J., Alonso M.P. Prevalence and characteristics of Escherichia coli serotype O157:H7 and other verotoxin-producing E. coli in healthy cattle.

- Epidemiol Infect.*, 1996, vol. 117, no.2, pp. 251-257. <https://doi.org/10.1017/s0950268800001424>
4. Björkroth J. A., Dicks L. M. T. D., Endo A. The genus *Weissella*. *Lactic Acid Bacteria, Biodiversity and Taxonomy*, 2014, pp. 418–428. <https://doi.org/10.1002/9781118655252>
 5. Cai Y., Ohmomo S., Kumai S. Distribution and lactate fermentation characteristics of lactic acid bacteria on forage crops and grasses. *J Jpn Soc Grassl Sci.*, 1994, vol. 39(4), pp. 420–428. <https://doi.org/10.14941/grass.39.420>
 6. Chakravorty A. The pore-forming α -toxin from *Clostridium septicum* activates the MAPK pathway in a Ras-c-Raf-dependent and independent manner. *Toxins (Basel)*, 2015, vol. 7(2), pp. 516–534. <https://doi.org/10.3390/toxins7020516>
 7. Chapman P.A., Siddons C.A., Cerdan Malo A.T., Harkin M.A. A 1-year study of *Escherichia coli* O157 in cattle, sheep, pigs and poultry. *Epidemiol. Infect.*, 1997, vol. 119(2), pp. 245-250. <https://doi.org/10.1017/S0950268897007826>
 8. Cocolin L., Innocente N., Biasutti M., Comi G. The late blowing in cheese: a new molecular approach based on PCR and DGGE to study the microbial ecology of the alteration process. *International journal of food microbiology*, 2004, vol. 90(1), pp. 83-91. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(03\)00296-4](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(03)00296-4)
 9. Driehuis F. Silage and the safety and quality of dairy foods: A review. *Agricultural and Food Science*, 2013, vol. 22(1), pp. 16-34. <https://doi.org/10.23986/afsci.6699>
 10. Driehuis F., Wilkinson J.M., Jiang Y., Ogunade I., Adesogan A.T. Silage review: Animal and human health risks from silage. *J. Dairy Sci.*, 2018, vol. 101, pp. 4093-4110. <https://doi.org/10.3168/10.316/jds.2017-13836>
 11. Fabiszewska A.U., Zielińska K.J., Wróbel B. Trends in designing microbial silage quality by biotechnological methods using lactic acid bacteria inoculants: a minireview. *World J Microbiol Biotechnol.*, 2019, vol. 35(5). pp.76. <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2649-2>
 12. Fusco V., Quero G.M., Cho G.S., Kabisch J., Meske D., Neve H., Bockelmann W., Franz C.M. The genus *Weissella*: taxonomy, ecology and biotechnological potential. *Front Microbiol.*, 2015, vol. 6, pp. 155. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00155>
 13. McGuirk S.M. Disease management of dairy calves and heifers. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.*, 2008, vol. 24(1), pp.139-53. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.003>
 14. Muck R.E., Nadeau E.M.G., McAllister T.A., Contreras-Govea F.E., Santos M.C., Kung L. Jr. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *J Dairy Sci.*, 2018, vol. 101(5), pp. 3980-4000. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>

15. Ogunade I.M., Kim D.H., Jiang Y., Weinberg Z.G., Jeong K.C., Adesogan A.T. Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. *J. Dairy Sci.*, 2016, vol. 99(6), pp. 4427-4436. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10766>
16. Pahlow G., Muck R.E., Driehuis F., Elferink S., Spoelstra S.F. Microbiology of ensiling. *Silage science and technology*, 2003.
17. Pedroso A.F., Adesogan A.T., Queiroz O.C.M., Williams S. Control of *Escherichia coli* O157:H7 in corn silage with or without various inoculants: Efficacy and mode of action. *J. Dairy Sci.*, 2010, vol. 93(3), pp. 1098-1104. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2433>
18. Reich L.J., Kung Jr., L. Effects of combining *Lactobacillus buchneri* 40788 with various lactic acid bacteria on the fermentation and aerobic stability of corn silage. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2010, vol. 159(3-4), pp.105-109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.06.002>
19. Russell J.B., Diez-Gonzalez F., Jarvis G.N. Potential effects of cattle diets on the transmission of pathogenic *Escherichia coli* to humans. *Microbes Infect.*, 2000, vol. 2(1), pp. 45-53. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(00\)00286-0](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(00)00286-0)
20. Schlegel, B.J. Nowell V.J., Parreira V.R. Toxin-associated and other genes in *Clostridium perfringens* type A isolates from bovine clostridial abomasitis (BCA) and jejunal hemorrhage syndrome (JHS). *Canadian journal of veterinary research*, 2012, vol. 76(4), pp. 248–254.
21. Simpson K.M., Callan R.J., Van Metre D.C. Clostridial Abomasitis and Enteritis in Ruminants. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*, 2018, vol. 34(1), pp. 155–184. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.10.010>
22. Yin X., Fan Y., Tian R. Improving the quality and reducing harmful microbes of total mixed ration silage with dried soybean curd residue. *Chem. Biol. Technol. Agric.*, 2023, vol. 10, pp. 86. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00461-0>
23. Vilar M.J., Yus E., Sanjuan M.L., Diequez F.J., Rodriguez-Otero J.L. Prevalence of and risk factors for *Listeria* species on dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 90(11), pp. 5083-5088. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0213>
24. Wald R., Baumgartner M., Urbantke V., Wittek T., Stessl B. Detection of *Weissella* spp. in milk samples of two dairy cows with clinical mastitis. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*, 2016, vol. 44(5), pp. 307-312. <https://doi.org/10.15653/TPG-160047>
25. Wilkinson J.M. Silage and health. Silage production in relation to animal performance, animal health, meat and milk quality. Proceedings of the 12th International Silage Conference, July 5–7, Uppsala, Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 1999, pp. 67-81.

ВКЛАД АВТОРОВ

Филиппова В.А.: интерпретация результатов, подготовка текста статьи.

Йылдырым Е.А.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.

Ильина Л.А.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.

Лаптев Г.Ю.: общее руководство направлением исследования, интерпретация результатов.

Дубровин А.В.: отбор образцов, лабораторные исследования.

Заикин В.А.: лабораторные исследования.

Калиткина К.А.: лабораторные исследования.

Дубровина А.С.: лабораторные исследования.

Малахов И.Г.: отбор образцов, лабораторные исследования.

Ключникова И.А.: лабораторные исследования.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Valentina A. Filippova: interpretation of results, preparation of the text of the article.

Elena A. Yildirim: general management of the research direction, interpretation of the results.

Larisa A. Ilina: general management of the research direction, interpretation of the results.

Georgy Yu. Laptev: general management of the research direction, interpretation of results.

Andrey V. Dubrovin: sampling, laboratory studies.

Vasiliy A. Zaikin: laboratory studies.

Ksenia A. Kalitkina: laboratory studies.

Alisa S. Dubrovina: laboratory studies.

Ivan G. Malakhov: sampling, laboratory studies.

Irina A. Klyuchnikova: laboratory research.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Филиппова Валентина Анатольевна, заведующий лабораторией кафедр крупного животноводства

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»

*Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация; б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация
filippova@biotrof.ru*

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

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

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

Дубровин Андрей Валерьевич, кандидат ветеринарных наук, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории

*Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»
б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская
Федерация
dubrovin@biotrof.ru*

Заикин Василий Александрович, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
*Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»
б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская
Федерация
dfcx@biotrof.ru*

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

Дубровина Алиса Сергеевна, биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории
*Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»
б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская
Федерация
dasvet@biotrof.ru*

Малахов Иван Георгиевич, аспирант факультета зооинженерии и биотехнологий
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, 196601, Российская Федерация
yo.vanya@mail.ru*

Ключникова Ирина Александровна, магистрант факультета зооинженерии и биотехнологий

Общество с ограниченной ответственностью «БИОТРОФ»

б-р Загребский, 19, к. 1, г. Санкт-Петербург, 192284, Российская Федерация

klyuchnikova.irinaa@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina A. Filippova, Head of the Laboratory of the Department of Large Animal Husbandry

St. Petersburg State Agrarian University; LLC "BIOTROF"

2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

filippova@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8789-9837>

Elena A. Yildirim, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Livestock Husbandry

St. Petersburg State Agrarian University; LLC "BIOTROF"

2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

deniz@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>

Larisa A. Ilina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry

St. Petersburg State Agrarian University; LLC "BIOTROF"

2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

ilina@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

Georgy Yu. Laptev, Doctor of Biological Sciences; Director

St. Petersburg State Agrarian University; LLC "BIOTROF"

2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Fed-

eration; 19, build. 1, Zagrebky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

georg-laptev@rambler.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>

Andrey V. Dubrovin, Candidate of Veterinary Sciences, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory

LLC "BIOTROF"

19, build. 1, Zagrebky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

dubrovin@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8424-4114>

Vasily A. Zaikin, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory

LLC "BIOTROF"

19, build. 1, Zagrebky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

dfcx@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8029-9955>

Ksenia A. Kalitkina, Graduate Student of the Faculty of Animal Engineering and Biotechnology

St. Petersburg State Agrarian University; LLC "BIOTROF"

2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; 19, build. 1, Zagrebky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

kalitkina.xeniya@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9541-6839>

Alisa S. Dubrovina, Biotechnologist of the Molecular Genetic Laboratory

LLC "BIOTROF"

19, build. 1, Zagrebky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation

dasvet@biotrof.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1879-7497>

Ivan G. Malakhov, Postgraduate Student of the Faculty of Animal Engineering and Biotechnology

*St. Petersburg State Agrarian University
2, Petersburg highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation
yo.vanya@mail.ru*

Irina A. Klyuchnikova, Master's Student at the Faculty of Animal Engineering and Biotechnology
*LLC "BIOTROF"
19, build. 1, Zagrebsky Blvd., St. Petersburg, 192284, Russian Federation
klyuchnikova.irinaa@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6484-1235>*

Поступила 15.11.2023

После рецензирования 16.02.2024

Принята 26.02.2024

Received 15.11.2023

Revised 16.02.2024

Accepted 26.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

УДК 636.3.035



Научная статья

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОВЕЦ БУУБЭЙ И ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ ПО ГЕНАМ *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* И ИХ СВЯЗЬ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

*Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хамируев, С.М. Дашиинимаев,
Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина, Н.Б. Гришина*

*Целью исследования является выявление полиморфизма генов *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* и изучение их влияния на живую массу и шерстную продуктивность овец забайкальской тонкорунной породы и грубошерстной буубэй.*

Научная новизна заключается в том, что впервые проведена сравнительная оценка генотипических особенностей овец по SNP-маркерам и их ассоциативным связям с продуктивностью в породах. Объектом исследования были овцы забайкальской тонкорунной (100 голов), грубошерстной буубэй (60 голов). В результате исследований установлено, что по генам *GDF9/G1* и *CAST* породы имеют практически одинаковое соотношение генотипов и аллелей, по генам *KRT1.2* и *KAP1.3* выявлены значительные различия. Порода буубэй характеризуется более высоким на 17,7 % содержанием генотипа *KRT1.2^{MM}* и более низкой на 15,7 % частотой генотипа *KRT1.2^{MN}*, по сравнению с забайкальской тонкорунной породой. Частота генотипов гена *KAP1.3* в породе буубэй выявлена в соотношении (26,7:46,6:26,7), в забайкальской (61,6:36,0:3,0). Генное равновесие в стадах не нарушено, ($\chi^2 = 0,006 - 0,713$). Инбридинг в стадах отсутствует (*Fis* - 0,0037 до +0,066), *PIC* находится в пределах 0,192. и 0,203. Коэффициент гомозиготности *SH* - 17,7 и 9,5 %, *Naj* -1,32 и 1,27.

Установлено, что бараны с генотипом *CAST^{MM}* имеют более высокую живую массу на 20,2 кг, по сравнению с гетерозиготными животными. У овец породы буубэй с генотипом *KRT1.2^{MM}* пух был длиннее на 0,58 см, чем у животных с гетерозиготным генотипом *KRT1.2^{MN}*. В забайкальской породе приоритетных генотипов, связанных с продуктивностью не выявлено. Сложившаяся структура забайкальской породы и буубэй может служить базой для мониторинга генотипической структуры этих пород и в сравни-

тельной оценке с другими породами Сибири. Выявленные ассоциативные связи генетических маркёров с шерстной продуктивностью могут успешно использоваться в качестве дополнительных критериев для отбора овец по селекционным признакам.

Ключевые слова: овца; порода; генотип; аллель; полиморфизм; инбридинг; гомо и гетерозиготность; генное равновесие; генетическая изменчивость; живая масса; шерстная продуктивность

Для цитирования. Гончаренко Г.М., Хамируев Т.Н., Дашинимаяев С.М., Хорошилова Т.С., Халина О.Л., Гришина Н.Б. Генотипическая структура овец буубэй и забайкальской породы по генам *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* и их связь с продуктивностью // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 186-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

Original article

GENOTYPIC STRUCTURE OF THE BUUBEI AND ZABAIKALSKAYA BREED SHEEP ACCORDING TO THE GENES *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* AND THEIR RELATIONSHIP WITH PRODUCTIVITY

**G.M. Goncharenko, T.N. Khamiruev, S.M. Dashinimaev,
T.S. Khoroshilova, O.L. Khalina, N.B. Grishina**

The **purpose** of this study is to identify the polymorphism of the *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* genes and to study their influence on the live weight and wool productivity of the Zabaikalskaya fine-wool breed and coarse-wooled Buubei sheep.

The **scientific novelty** lies in the fact that for the first time a comparative evaluation of the genotypic features of sheep by SNP-markers and their association with productivity in the breeds has been carried out. The object of the study were sheep of the Zabaikalskaya fine-wool breed (100 heads) and coarse-wooled Buubei breed (60 heads). As a result of the research, it was found that for the genes *GDF9/G1* and *CAST* the breeds have almost the same ratio of genotypes and alleles, for the genes *KRT1.2* and *KAP1.3* significant differences were found. The Buubei breed is characterized by a 17.7 % higher content of the *KRT1.2^{MM}* genotype and a 15.7 % lower frequency of the *KRT1.2^{MN}* genotype compared to the Zabaikalskaya fine-wool breed. The genotype frequency of the *KAP1.3* gene in the Buubei breed was found

in the ratio (26.7:46.6:26.7), in the Zabaikalskaya breed (61.6:36.0:3.0). The gene equilibrium in the herds is not disturbed ($\chi^2 = 0,006 - 0,713$). There is no inbreeding in the herds ($Fis = -0.0037$ to $+0.066$), PIC is in the range from 0.192. to 0.203. The homozygosity coefficient $SH = 17,7$ and $9,5 \%$, $Naj = 1,32$ and $1,27$. It was found that rams with $CAST^{MM}$ genotype have higher live weight by 20.2 kg compared to the heterozygous animals. Buubei sheep with the $KRT1.2^{MN}$ genotype had 0.58 cm longer down than the animals with the $KRT1.2^{MN}$ heterozygous genotype. No priority genotypes associated with productivity have been identified in the Zabaikalskaya breed. The established structure of the Zabaikalskaya and Buubei breeds can serve as a basis for monitoring the genotypic structure of these breeds and in comparative evaluation with other Siberian breeds. The identified associative relationships of the genetic markers with wool productivity can be successfully used as additional criteria for selection of sheep for breeding traits.

Keywords: sheep; breed; genotype; allele; polymorphism; inbreeding; homo and heterozygosity; gene equilibrium; genetic variability; live weight; wool productivity

For citation. Goncharenko G.M., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Khoro-shilova T.S., Khalina O.L., Grishina N.B. Genotypic Structure of the Buubei and Zabaikalskaya Breed Sheep According to the Genes $GDF9$, $CAST$, $KRT1.2$, $KAP1.3$ and their Relationship with Productivity. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 186-207. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-868

Введение

Овцеводство, несмотря на общее снижение поголовья, остаётся востребованной отраслью, особенно в горных, предгорных и степных зонах. В России по данным Ежегодника [2] разводят 49 пород овец, среди которых есть малочисленные, к которым относится грубошерстная порода буубэй, занимающая 0,4 % удельного веса всего поголовья овец. Порода имеет отличительные биологические и фенотипические особенности от аборигенных бурятских овец, обусловленные наследственной компонентой.

Порода была создана под руководством Лхасаранова Б.Б. и включена в реестр в 2008 г. Овцы отличаются крепкой конституцией. Плодовитость маток составляет 108-115 ягнят. Средняя живая масса баранов-производителей 67 кг, овцематок – 52 кг. По данным бонитировки 2022 г. настриг шерсти в племенных хозяйствах составляет 1,0 кг [2]. Содержание животных круглогодично-пастбищное. Для улучшения мясной продуктивности овец буубэй скрещивают с мясо-сальными породами, такими как, калмыц-

кая курдючная порода, полученные помеси отличаются более высокой живой массой при снятии с нагула и лучшими убойными качествами мяса [6].

Тонкорунная забайкальская порода по численности составляет 3,5 % от всего поголовья в России. По данным бонитировки за 2022 год средний настриг шерсти в племенных заводах составляет 2,4 кг. Живая масса баранов 100-108 кг, овцематок – 56-60 кг [2].

С целью повышения генетического потенциала необходимо привлекать новые технологии, в том числе оценку по генетическим маркерам, эффективность использования которых в практической селекции зависит от ассоциативных связей с хозяйственно ценными признаками [13]. Генетические особенности забайкальской породы и буубэй изучены крайне недостаточно. Порода буубэй представляет интерес как автохтонная порода усовершенствованная длительной народной селекцией. В сравнительной оценке с другими заводскими породами, в частности с тувинской, она не имеет хорошего генетического разнообразия и не отличается высокой полиморфностью локусов [12]. Как показали исследования микросателлитного анализа 25 отечественных пород буубэй тесно связана своим происхождением с забайкальской тонкорунной и тувинской, с которыми она образует единый подкластер [3].

В практической селекции большой интерес представляют гены, связанные с энергией роста, мясной продуктивностью, качеством шерсти, и другими селекционно-значимыми признаками, полиморфизм которых в забайкальской породе и буубэй не изучен. Полученные обнадёживающие данные ассоциативных связей генов *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* с важнейшими экономически значимыми признаками овец, позволяют вести дальнейший поиск генов-маркёров, вовлекая в него другие породы.

Ген *GDF9* в организме овец, по мнению [16] оказывает влияние на репродуктивную способность маток, их плодовитость. Его полиморфизм имеет некоторые различия по породам, но в основном, наиболее часто встречающимся генотипом является *GDF9^{GG}*, который, по-видимому, и связан с ростом молодняка, молочной, мясной продуктивностью, хотя данные противоречивые [19; 29].

Мясная продуктивность и качество мяса, важнейшие характеристики при выборе породы. Для улучшения этих признаков используется гены кальпаина и кальпастина. Приоритетным генотипом в гене *CAST* у большинства пород овец является *CAST^{MM}*, частота которого находится в пределах 70-90 % [5,8,20], за исключением калмыцкой курдючной породы и их помесей с Дорпер, где этот показатель составляет 30,0 % [7].

Для улучшения качества шерсти, одного из главных коммерческих признаков, наряду с традиционными методами селекции, используется ген *KRT1.2*, *KAP1.3*, синтез белков которых оказывает влияние на качественные показатели шерстяного волокна: тонины, длину, извитость, прочность. Как показывают исследования [27] в большинстве пород преобладающим генотипом в гене *KRT1.2* был *KRT1.2^{MM}*, частота которого выше 70 %.

В российских породах овец частота генотипов и аллелей гена *KAP1.3* сильно варьируется. В дагестанской горной породе генотип *KAP1.3^{YY}* встречается крайне редко (0,1 %), тогда как в грозненской тонкорунной породе этот генотип выявлен у 25 % животных [9]. В породах овец Индии преобладающим был гетерозиготный генотип, однако в некоторых породах отмечается высокая частота гомозиготного генотипа *KAP1.3^{YY}* (0,569) [10].

Цель наших исследований заключалась в выявлении частот генотипов и аллелей *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* генов и их связи с живой массой и качеством шерсти у овец забайкальской тонкорунной породы и грубошерстной буубэй.

Материал и методы исследования

Объектом исследования служили овцы забайкальской тонкорунной породы (100 голов), грубошерстной буубэй (60 голов). Молекулярно-генетические исследования проведены в лаборатории биотехнологий СибНИПТИЖ Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук.

Материалом для лабораторных исследований служили ушные выщипы овец, из которых выделяли геномную ДНК с применением набора экстракции из клинического материала «Ампли Прайм ДНК-сорб-С» по прописи изготовителя ООО «НекстБио» (Москва). Качество и концентрацию выделенной ДНК оценивали в 1% агарозном геле методом горизонтального электрофореза с использованием геля документирующей системы E-Box-CX5. TS-20.M (Франция), в проходящем ультрафиолетовом свете по флуоресценции бромистого этидия. Амплификацию проводили стандартным методом ПЦР анализа на ДНК-амплификаторе C 1000 Touch Thermal Cycler «BioRad» (Singapore). Генотипирование осуществляли согласно описанным и апробированным методикам ПЦР-ПДРФ: для гена *CAST* [22], *GDF9* – [24], *KRT1.2* [28], *KAP 1.3* [10], при этом использовали эндонуклеазы рестрикции производства СибЭнзим *Msp I* (*CAST*, и *KRT1.2*), *BseII* (*KAP1.3*) и *BstHH* (*GDF9*).

Частотную характеристику генотипов изучаемых генов оценивали по формуле Харди-Вайнберга для двух аллельных систем с использовани-

ем критерия χ^2 . Определение коэффициента гомозиготности (Ca) популяции, уровень полиморфности (Na), степень генетической изменчивости (V), меры информационного полиморфизма (PIC), выполнено в соответствии с рекомендациями [14].

Результаты исследований и обсуждение

При анализе частот генотипов исследуемых генов *GDF9/GI*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* обращает внимание сходство частот генотипов *GDF9/GI* и *CAST* генов, связанных с энергией роста молодняка и воспроизводительными способностями (табл.1). Несмотря на разное направление продуктивности – полугрубошерстное и тонкорунное, более 90 % животных в обеих породах имеют генотип *GDF9/GI^{GG}*. В настоящей выборке генотип *GDF9/GI^{GG}* не выявлен. Исходя из этого, можно предположить, что генотип *GDF9/GI^{GG}* вовлечён в селекционный процесс при оценке животных по энергии роста или воспроизводительным качествам овцематок. Аналогичные результаты получены нами ранее при исследовании овец алтайской тонкорунной породы и западно-сибирской мясной [1].

Таблица 1.

Частота генотипов *GDF9/GI*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* генов
у овец разных пород, %

Генотип	Буубэй (n=60)	χ^2	Забайкальская (n=100)	χ^2
<i>GDF9/GI^{AA}</i>	0,0±0,0	0,1159	0,0±0,0	0,1135
<i>GDF9/GI^{AG}</i>	10,0±2,74		7,0±1,80	
<i>GDF9/GI^{GG}</i>	90,0±2,74		93,0±1,80	
<i>CAST^{MM}</i>	90,0±2,74	0,1159	82,0±2,72	0,0135
<i>CAST^{MN}</i>	10,0±2,74		17,0±2,66	
<i>CAST^{NN}</i>	0,0±0,0		1,0±0,70	
<i>KRT1.2^{MM}</i>	91,7±2,52	0,1085	74,0±3,10	0,0058
<i>KRT1.2^{MN}</i>	8,3±2,52		24,0±3,02	
<i>KRT1.2^{NN}</i>	0,0±0,0		2,0±0,99	
<i>KAP1.3^{XX}</i>	26,7±4,04	0,2666	61,0±3,45	0,7130
<i>KAP1.3^{XY}</i>	46,6±4,55		36,0±3,39	
<i>KAP1.3^{YY}</i>	26,7±4,04		3,0±1,21	

В гене *CAST* выявлено 2 аллеля и 3 генотипа, частота которых в породах не имеет существенных различий. Генотип *CAST^{MM}* встречается у 82-90% животных. Подобные результаты получены при изучении полиморфизма этого гена у овец западно-сибирской мясной, кулундинской тонкорунной,

сальской и дагестанской горной пород [1,4.]. Так, в исследованиях [26] у овец частота генотипа $CAST^{MM}$ составляет 93,0%, генотипа $CAST^{NN}$ – 7,0%. Однако в мире есть породы с другим соотношением генотипов, например, у овец *Dalagh* частота гетерозиготного генотипа находится на уровне 0,891, а у овец в породе *Lori* – 0,630 [17; 30].

Соотношение генотипов $KRT1.2$, $KAP1.3$, связанных с количественными и качественными показателями шерсти в породах существенно отличаются. В породе буубэй более 90 % животных являются носителями генотипа $KRT1.2^{MM}$, что на 17,7 % больше, чем в забайкальской тонкорунной породе, которая характеризуется более высокой частотой гетерозиготного генотипа на 15,7 %, в сравнении с буубэй ($p \leq 0,001$). Генотип $KRT1.2^{NN}$ относится к редко встречаемым, его частота в породах не превышает 2%. Аналогичные результаты получены при исследовании отечественных пород: кавказская, эдильбаевская, черноземельный меринос, грозненская тонкорунная [9].

По частоте генотипа $KAP1.3$ в сравниваемых породах наблюдаются некоторые различия. У овец забайкальской породы довольно низкое значение генотипа $KAP1.3^{YY}$ (3,0 %), а преобладающим генотипом был $KAP1.3^{XX}$, что выше аналогичного генотипа в породе буубэй на 34,3 % ($p \leq 0,001$). Выявленные генотипические различия могут являться следствием ассоциативной связи его с качеством шерсти, обусловленной длительной селекцией по этому признаку в забайкальской породе. Следует отметить одинаковое число особей с гомозиготными генотипами этого гена в породе буубэй – 26,7 %. Высокая вариативность этого гена в отечественных породах отмечена в исследованиях [10]. Так, в тонкорунной дагестанской горной породе частота генотипа $KAP1.3^{XX}$ составляет 0,69, однако в другой тонкорунной породе грозненской его встречаемость только 0,25. В шубной романовской породе этот генотип выявлен уже на уровне 0,57.

Генное равновесие в стадах не нарушено, χ^2 находится в пределах 0,0058 - 0,713.

Аллельное разнообразие сравниваемых пород, представленное в таблице 2, показывает различие частот по генам $KRT1.2$, $KAP1.3$. Так, в породе буубэй более высокая частота аллеля $KRT1.2^M$ на 0,098, и наоборот, более низкая - $KAP1.3^Y$ на 0,290, чем у овец забайкальской породы ($p \leq 0,01$).

На основании частот генотипов и аллелей рассчитаны популяционно-генетические параметры исследуемых стад овец (табл. 3). Индекс Fis , показывающий отклонения фактически наблюдаемых гетерозигот от те-

оретически ожидаемого, имеет достаточно низкие значения в сравниваемых породах, что может свидетельствовать об отсутствии инбридинга и равновесии гомо и гетерозигот. Уровень полиморфности (N_a) по изученным генам находится на уровне 1,32 и 1,27, что может быть следствием специфичной частоты генотипов исследуемых генов.

Таблица 2.

Частота аллелей генов продуктивности у овец разных пород

Аллель	Буубэй (n=60)	Забайкальская (n=100)
<i>GDF9/GI^A</i>	0,050±0,0281	0,035±0,0184
<i>GDF9/GI^G</i>	0,950±0,0281	0,965±0,0184
<i>CAST^M</i>	0,950±0,0281	0,905±0,0293
<i>CAST^N</i>	0,050±0,0281	0,095±0,0293
<i>KRT1.2^M</i>	0,958±0,0259	0,860±0,0347
<i>KRT1.2^N</i>	0,042±0,0259	0,140±0,0347
<i>KAP1.3^X</i>	0,500±0,0645	0,790±0,0407
<i>KAP1.3^Y</i>	0,500±0,0645	0,210±0,0407

Коэффициент гомозиготности (*SH*) овец породы буубэй выше на 8,2%, чем у забайкальской породы. При этом степень генетической изменчивости *V*%, рассчитанная по коэффициенту Робертсона в породе буубэй составляет 63,1, что выше в 3 раза по сравнению с забайкальской. Мера информационного полиморфизма или генное разнообразие в породах не имеет существенного различия (*PIC* -0,193 и 0,200).

Таблица 3.

Популяционно-генетические параметры стад овец буубэй и забайкальской породы, %

Порода	Индекс <i>Fis</i>				<i>SH</i> , %	<i>V</i> , %	N_a	<i>PIC</i>
	<i>GDF9/GI</i>	<i>CAST</i>	<i>KRT1.2</i>	<i>KAP1.3</i>				
Буубэй	-0,052	-0,052	0,037	0,066	17,7	63,1	2,47	0,193
Забайкальская	-0,036	0,011	0,032	-0,084	10,6	19,8	1,27	0,200

Живая масса овец – один из главных показателей в селекции, так как он хорошо коррелирует с настригом шерсти, сохранностью молодняка, воспроизводительными способностями. В породе буубэй в связи с малочисленностью животных в группе баранов анализ не проводился. В забайкальской тонкорунной породе бараны с гомозиготным генотипом *CAST^{MM}* имеют более высокую живую массу на 20,2 кг, по сравнению с гетерози-

готными животными ($p \leq 0,01$) (табл. 4). По другим генам у баранов различий не выявлено. Также не выявлено ассоциативных связей генотипов исследуемых генов у овцематок забайкальской породы и буубэй.

Таблица 4.

Живая масса овцематок буубэй и забайкальской пород с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*, кг

Генотип	Порода буубэй		Порода забайкальская			
	п	матки	п	Бараны	п	матки
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	5	48,0 ± 2,3	-	-	5	58,0 ± 2,6
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	50	48,8 ± 0,6	29	90,7 ± 3,5	66	58,15 ± 0,86
<i>CAST^{MM}</i>	49	48,8 ± 0,6	25	93,2 ± 3,3	57	58,4 ± 0,95
<i>CAST^{MN}</i>	6	48,3 ± 1,6	4	73,0 ± 6,2	13	57,4 ± 1,63
<i>KRT1.2^{MM}</i>	50	48,7 ± 0,6	25	92,1 ± 3,5	49	58,2 ± 0,9
<i>KRT1.2^{MN}</i>	5	48,6 ± 1,7	4	80,0 ± 7,5	20	56,9 ± 1,4
<i>KAP1.3^{XX}</i>	25	49,3 ± 1,3	20	90,9 ± 4,0	41	56,9 ± 1,0
<i>KAP1.3^{XY}</i>	25	48,4 ± 0,8	9	89,3 ± 6,0	28	59,9 ± 1,5
<i>KAP1.3^{YY}</i>	15	48,7 ± 0,8	-	-		-

Шерстная продуктивность – селекционный признак, определяющий конкурентоспособность овец, особенно полутонкорунного и тонкорунного направления продуктивности. Эффективный подбор животных с учётом линейной принадлежности позволяет повысить настриг шерсти, улучшить соотношение «жир:пот», увеличить толщину ретикулярного слоя кожи [15]. Исследования шерстной продуктивности баранов породы буубэй не проводились в связи с малочисленностью животных в группах. У овцематок породы буубэй по длине пуха определены приоритетные генотипы *KRT1.2^{MM}* и *KAP1.3^{YY}*. Так, у животных с генотипом *KRT1.2^{MM}* пух длиннее на 0,58 см, чем у гетерозиготных по этому гену особей (табл. 5). Однако самый длинный пух был у животных с генотипом *KAP1.3^{YY}*, превосходящий на 1,2 см пух овец с альтернативным гомозиготным генотипом *KAP1.3^{XX}* ($p \leq 0,01$).

Связь генотипа *KRT1.2^{MM}* с длиной шерстного волокна не подтверждена в исследованиях на баранах забайкальской породы (табл. 6). Самое длинный штапель наблюдался у животных с генотипом *CAST^{MN}* (11,12). В то же время бараны с генотипом *KRT1.2^{MM}* отличались более высоким настригом шерсти 10,61, что чем у гетерозиготных животных на 1,19 кг ($p \leq 0,05$).

Таблица 5.

Шерстная продуктивность овцематок породы буубэй с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина, см	
			пух	ость
<i>GDF9/G1^{AG}</i>	5	2,28 ± 0,06	5,20 ± 0,66	13,20 ± 0,92
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	50	2,26 ± 0,03	5,34 ± 0,20	13,4 ± 0,30
<i>CAST^{MM}</i>	49	2,26 ± 0,03	5,18 ± 0,18	13,37 ± 0,30
<i>CAST^{MN}</i>	6	2,25 ± 0,08	6,50 ± 0,92	13,50 ± 1,12
<i>KRT1.2^{MM}</i>	50	2,27 ± 0,03	5,38 ± 0,21	13,44 ± 0,30
<i>KRT1.2^{MN}</i>	5	2,16 ± 0,07	4,80 ± 0,20	12,80 ± 1,16
<i>KAP1.3^{XX}</i>	15	2,25 ± 0,07	4,93 ± 0,40	13,20 ± 0,61
<i>KAP1.3^{XY}</i>	25	2,24 ± 0,03	5,08 ± 0,20	13,60 ± 0,36
<i>KAP1.3^{YY}</i>	15	2,29 ± 0,04	6,13 ± 0,43	13,2 ± 0,63

Таблица 6.

Шерстная продуктивность баранов забайкальской породы с учетом генотипов по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина шерсти, см	Качество тонины, %	
				класс 64	класс 60
<i>GDF9/G1^{GG}</i>	29	10,52 ± 0,22	10,91 ± 0,20	88,9	11,1
<i>CAST^{MM}</i>	25	10,56 ± 0,22	10,76 ± 0,22	88,0	12,0
<i>CAST^{MN}</i>	4	9,75 ± 0,70	11,12 ± 0,43	75,0	25,0
<i>KRT1.2^{MM}</i>	25	10,61 ± 0,23	10,90 ± 0,22	88,0	12,0
<i>KRT1.2^{MN}</i>	4	9,42 ± 0,36	10,25 ± 0,43	75,0	1,0
<i>KAP1.3^{XX}</i>	20	10,52 ± 0,26	10,85 ± 0,23	80,0	20,0
<i>KAP1.3^{YY}</i>	9	10,29 ± 0,42	10,72 ± 0,42	100,0	0,0

Однако у овцематок забайкальской породы генотипов, связанных с шерстной продуктивностью не выявлено, возможно, это явилось следствием выравнивания этого показателя у животных в результате длительного отбора по настигу и длине шерсти (табл. 7).

На современном этапе развития маркерной селекции в племенном овцеводстве накоплены определённые знания о полиморфизме структурных генов (SNP) в разных породах овец. При этом следует отметить, что сведений относительно их связи с хозяйственно-ценными признаками явно недостаточно, и они носят противоречивый характер. Так, например, в исследованиях [11], проведённых на овцах горноалтайской тонкорунной породы был выявлен желательный генотип *GDF9^{AA}*, оказывающий влия-

ние на мясные качества. У животных с этим генотипом была выше предубойная масса на 1,62 и 7,01 кг, масса туши на – 1,34 и 3,98 кг, выход мяса – 1,26-1,86 %, по сравнению с $GDF9^{AB}$ и $GDF9^{BB}$ генотипами. В волгоградской породе, по данным [18], живая масса при рождении ягнят с гетерозиготным генотипом была выше на 0,156 кг, в сравнении с другими генотипами этого гена. В этой же породе в гене $CAST$ был выявлен гетерозиготный генотип $CAST^{MN}$, носители которого превосходили своих сверстников по предубойной массе с генотипом $CAST^{MM}$ на 3,7 кг [20].

Таблица 7.

Шерстная продуктивность овцематок забайкальской породы с учетом генотипов по генам $GDF9/G1$, $CAST$, $KRT1.2$, $KAP1.3$

Генотип	n	Настриг шерсти, кг	Длина шерсти, см	Качество тонины, %	
				класс 64	класс 60
$GDF9/G1^{AG}$	5	$4,80 \pm 0,17$	$10,20 \pm 0,58$	40,0	60,0
$GDF9/G1^{GG}$	66	$4,74 \pm 0,06$	$9,82 \pm 0,09$	46,2	53,8
$CAST^{MM}$	57	$4,77 \pm 0,07$	$9,86 \pm 0,10$	44,6	55,4
$CAST^{MN}$	13	$4,65 \pm 0,08$	$9,69 \pm 0,24$	42,9	57,1
$KRT1.2^{MM}$	49	$4,70 \pm 0,07$	$9,89 \pm 0,11$	45,8	54,2
$KRT1.2^{MN}$	20	$4,78 \pm 0,09$	$9,68 \pm 0,18$	45,5	54,5
$KAP1.3^{XX}$	41	$4,68 \pm 0,07$	$9,85 \pm 0,13$	37,5	62,5
$KAP1.3^{YY}$	28	$4,83 \pm 0,10$	$9,78 \pm 0,15$	53,6	46,4

Существующие данные в мировой литературе по связи генов $KRT1.2$, $KAP1.3$ с настригом шерсти и качеством штапеля позволили выявить приоритетные генотипы для последующей селекции. Овцы породы Стоунхерст с гаплотипами $KAP1.1 B - KAP1.3 J - KRT1.2 D$ имели более длинное штапельное волокно, по сравнению с альтернативными генотипами. Напротив, аллель $KRT1.2 E$ был связан с наименьшей длиной штапеля и более ярким цветом шерсти [21].

Положительная связь генотипов гена $KRT 3.1$ с настригом шерсти и её качеством была показана в исследованиях на овцах новозеландских овцах Ромни, мериносов и белых дорперов. Животных с генотипом BC имели более высокий выход чистой шерсти, и более длинный штапель, чем, чем овцы $KRT 3.1^{AA}$, $KRT 3.1^{AB}$, AC и $KRT 3.1^{BB}$ [23; 25].

Заключение

В результате проведённых исследований установлена генотипическая структура забайкальской породы и буубэй по генам $GDF9/G1$, $CAST$, $KRT1.2$,

KAP1.3. Показано, что частота генотипов и аллелей генов *GDF9/G1* и *CAST* в изучаемых породах имеет высокое сходство. Более 90 % животных имеют генотип *GDF9/G1^{GG}* и в настоящих выборках пород генотип *GDF9/G1^{AA}* не выявлен, несмотря на разное направленное шерстной продуктивности. Аналогичная ситуация наблюдается и в отношении гена *CAST*, где на долю гомозиготного генотипа *CAST^{MM}* приходится также 82 и 90 %. Генотип *CAST^{NN}* выявляется крайне редко. Установленная нами генотипическая структура по этим генам в забайкальской породе и буубэй подтверждена нами ранее на других породах, что, видимо, связано с селекционным отбором по энергии роста молодняка или видовыми особенностями.

Несколько иная ситуация наблюдается по распределению генотипов генов *KRT1.2*, *KAP1.3*, связанных с шерстной продуктивностью и качеством шерсти. В породе буубэй более 90 % животных имеют генотип *KRT1.2^{MM}*, тогда как в забайкальской породе он выявлен только у 74 % овец. В то же время следует отметить низкую частоту генотипа *CAST^{NN}* в обеих породах (0,0% - 2,0 %).

Более значимые различия между породами определены по частотам генотипа гена *KAP1.3*, что, возможно, связано с селекционным давлением по качеству шерсти в забайкальской тонкорунной породе.

Значения популяционно-генетических параметров в сравниваемых породах по генам *GDF9/G1*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3* характеризуют особенности изучаемых пород, в которых генное равновесие не нарушено (χ^2 находится в пределах 0,0058 - 0,7130), инбридинга в стадах не наблюдается (*Fis* около нуля), генетическое разнообразие *PIC* составляет 0,193 и 0,200. Однако генетическая изменчивость выше в породе буубэй в 3 раза и гомозиготность на 7,1 %.

Проведённый анализ связи генотипов с настригом шерсти и длиной штапеля позволил выявить единичные ассоциативные связи. Так в забайкальской тонкорунной породе у баранов-производителей желательным генотипом по живой массе был *CAST^{MM}*, по длине пуха у овцематок породы буубэй – *KRT1.2^{MM}* и *KAP1.3^{YY}*, по настригу шерсти у баранов забайкальской породы генотип *CAST^{MM}*. Полученные данные в настоящем исследовании рассматриваются нами как предварительные, требующие уточнения в условиях увеличении выборки животных.

Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации Declaration of Helsinki and approved by the Institutional Review Board (приказ СФНЦА РАН № 198 от 05.09.2023).

Информационное согласие. Информационное согласие было получено от всех авторов, участвующих в исследовании.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

Информация о спонсорстве. Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ № 23-26-00014. <https://rscf.ru/project/23-26-00014/>

Список литературы

1. Генетическая структура овец западно-сибирской мясной и кулундинской тонкорунной пород по генам *CAST*, *GDF9* и *KRT1.2* / О.Л. Халина, С.Н. Магер, Г.М. Гончаренко, Т.С. Хорошилова, Н.Б. Гришина // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. Вып. 4. С. 103-116. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-103-116>
2. Ежегодник по племенной работе в овцеводстве и козоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2022 год) / Г.И. Шичкин, Г.Ф. Сафина, Х.А. Амерханов, В.В. Чернов, Л.Н. Григорян, Г.Н. Хмелевская, С.А. Хатагаев, А.В. Равичева, Н.Г. Степанова. Москва: Издательство ФГБНУ ВНИИплем, 2023. 324 с.
3. Изменчивость микросателлитов в породах овец, разводимых в России / Т.Е. Денискова, М.И. Селионова, Е.А. Гладырь, А.В. Доцев, Г.Т. Бобрышева, О.В. Костюнина, Г. Брэм, Н.А. Зиновьева // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 6. С. 801-810. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.801rus>
4. Колосов Ю.А., Гетманцева Л.В., Широкова Н.В. Полиморфизм гена *GDF9* у овец сальской породы // Ветеринарная патология. 2014. № 3-4. С. 78-81.
5. Лушников В.П., Фетисова Т.О., Стрильчик А.А. Полиморфизм гена *CAST* у овец татарстанской и эдильбаевской пород // Овцы, козы, шерстяное дело. 2020. № 2. С. 9-11.
6. Митыпова Е.Н., Цыбикова Р.Н. Совершенствование овец аборигенной бурятской грубошерстной породы в направлении повышения продуктивности // Вестник Алтайского государственного университета. 2017. № 1 (147). С. 104-110.
7. Погодаев В.А., Кононова Л.В., Адучиев Б.К. Полиморфизм генов кальпастатина и соматотропина у овец калмыцкой курдючной породы и помесей (1/2 калмыцкая курдючная + 1/2 Дорпер) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. N 3(47). С. 141-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>

8. Полиморфизм гена *CAST*, особенности жирнокислотного состава липидов крови овец разных генотипов в онтогенезе / Л.Н. Чинова, Е.С. Суржикова, Е.Д. Луцива, Н.И. Ефимова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. N 6. С. 47-51.
9. Полиморфизм гена *KRT1.2* у отечественных пород овец / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, М.Б. Павлов // Овцы, козы, шерстяное дело. 2018. №3. С. 20-23.
10. Полиморфизм гена *KAP 1.3* у отечественных пород овец разного направления продуктивности / Р.Ю. Сенина, Л.А. Калашникова, В.П. Лушников, К.К. Цой // Овцы, козы, шерстяное дело. 2019. №4. С. 10-12.
11. Селионова М.И., Евлагина Д.Д., Светличный С.И. Полиморфизм гена *GDF9* и его связь с молочной продуктивностью овец породы Лакон // Молекулярно-генетические технологии анализа экспрессии генов продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных: Материалы Третьей Международной научно-практической конференции в рамках года науки и технологий Российской Федерации по тематике «Генетика и качество жизни». 2021. С. 396-403.
12. Сравнительная оценка генофондов пород овец на основании ISSR-анализа / Л.В. Нестерук, Н.Н. Макарова, А.Н. Евсюков, С.Г. Рвищева, Б.Б. Лхасаранов, Ю.А. Столповский // Генетика. 2016. Т. 52. №3. С. 346-356. <https://doi.org/10.7868/S0016675816030115>
13. Формирование мясной продуктивности у бычков разных генотипов *DGATI* / Т.А. Седых, Л.А. Калашникова, И.Ю. Долматова, Р.С. Гизатуллин, В.И. Косилов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, № 3. С. 156-174. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174>
14. Чесноков Ю.В., Артемьева А.М. Оценка меры информационного полиморфизма генетического разнообразия // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 571-578. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.571rus>
15. Шерстная продуктивность и качество шерсти овец породы Российский мясной меринос от внутри-и межлинейного подбора / Е.Н. Чернобай, А.И. Суров, Н.А. Резун, О.Н. Онищенко, С.А. Олейник // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15. № 1. С. 179-206. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
16. A 5-Methylcytosine Site of Growth Differentiation Factor 9 (GDF9) Gene Affects Its Tissue-Specific Expression in Sheep / Z. Pan, X Wang., R Di., Q. Liu, W Hu., X. Cao, X Guo, X. He, S. Lv, F.Li, H. Wang, M. Chu // Animals. 2018. Vol. 8(11). <https://doi.org/10.3390/ani8110200>
17. Calpastatin (*CAST*) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds / M. Suleman, S.U. Khan, M.N. Riaz NRiaz M. Yousaf, Abdullah. Shah, R.

- Ishaq, A. Ghafoor // African Journal of Biotechnology. 2012. Vol. 47, № 11. P. 10655-10660. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2478>
18. Effect of the gene *GDF9* on the weight of lambs at birth / L. Getmantseva, N. Bakoev, N. Shirokova, M. Kolosova, S. Bakoev, A. Kolosov, A. Usatov, V. Shevtsova, Yu. Kolosov // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 25(1). P. 153-157. <https://www.agrojournal.org/25/01-21.pdf>
19. *GDF9* gene polymorphism and its association with litter size in two Russian sheep breeds / I.F. Gorlov, Y.A. Kolosov, N.V. Shirokova Lyubov V. Getmantse, M.I. Slozhenkina, N.I. Mosolova, N.F. Bakoev, M.A. Leonova, A. Yu. Kolosov, E.Yu. Zlobina // Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali. 2018. Vol. 29. P. 61-66. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
20. Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed / Yu.A. Kolosov, I.F. Gorlov, A. Yu. Kolosov, N.V. Shirokova, A.Ya. Kulikova, M.A. Kolosova, M.I. Slozhenkina, E.S. Vorontsova, N.N. Kolosova // IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies Agritech-iv-2020. IOP conference series: earth and environmental science, Krasnoyarsk. 2021. P. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052112>
21. Itege-Mweza T.O. Identification of genetic markers associated with wool quality traits in merino sheep. Ph.D. Thesis, Lincoln University, Christchurch, New Zealand. 2007. 225 p.
22. Khederzadeh S., Iranmanesh M., Motamedi-Mojdehi R. Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep // Journal of Livestock Science and Technologies. 2016. Vol. 4(1). P. 45–52. <https://en.civilica.com/doc/862246/>
23. *KRT 1.2* gene polymorphism & its association with wool traits in Rambouillet sheep / V.P. Singh, RK. Taggar, D. Chakraborty, B.P.Singh, P. Khajuria, S. Singh, P. Gupta // The Pharma Innovation Journal. 2022. Vol. 11(6). P. 2619-2621.
24. Mutations in the genes for oocytederived growth factors *GDF9* and *BMP15* are associated with both in-creased ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) / J.P. Hanrahan, S.M. Grogan, T.P. Milsan // Biology of Reproduction. 2004. Vol. 70 (4). P. 900-909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>
25. Nucleotide variation in the ovine *KRT3.1* promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs / W. Chai, H. Zhou, H. Gong, J. Wang, Y. Luo, J. Hickford // The Journal of Agricultural Science. 2019. Vol. 157(2). P. 182-188. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000406>
26. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed / A.A. Ozdermirov, L.N. Chizhova, A. A. Khozhokov, E.S. Surzhikova, G.D. Dogeev, S.Sh. Abdulmagomedov // South of Russia: ecology, develop-

- ment. 2021. Vol. 16. No 2. P. 39-44. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>
27. Polymorphism of the *KAP 1.1*, *KAP 1.3* and *K33* genes in merino sheep / T.O. Itenge-Mweza, R.H.J. Forbes, G.W. McKenzie, H. A., Abbot J., O. Amofo, J.G.H. Hickford // *Molecular and Cellular Probes*. 2007. Vol. 21. P. 338-342. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
28. Polymorphism of *KRT 1.2* and *KAP 1.3* genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R. Kumari, B. Jyotsana, L.L.L. Prince, S. Kumar // *Indian Journal of Small Ruminants*. 2016. Vol. 1(22). P. 28-31. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2016.00018.0>
29. Three complete linkage SNPs of gene *GDF9* affect the litter size probably mediated by OCT1 in hu sheep / Y. Li, W. Jin, Y. Wang, J. Zhang, C. Meng, H. Wang, Y. Qian, Q. Li, and S. Cao // *DNA and Cell Biology*. 2020. Vol. 39. № 4. P. 563-571. <https://doi.org/10.1089/dna.2019.4984>
30. Shahram N., Goodarzi M. Polymorphism of candidate genes for meat production in Lori sheep // *IERI Procedia*. 2014. Vol. 8. P. 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.004>

References

1. Genetic structure of sheep of West Siberian meat and Kulunda thin-cross breeds by genes CAST, GDF9 and KRT1.2 / O.L. Khalina, S.N. Mager, G.M. Goncharenko, T.S. Khoroshilova, N.B. Grishina. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2022, no. 4, pp. 103-116. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-4-103-116>
2. Yearbook on pedigree work in sheep and goat breeding in farms of the Russian Federation (2022) / G.I. Shichkin, G.F. Safina, H.A. Amerkhanov, V.V. Chernov, L.N. Grigoryan, G.N. Khmelevskaya, S.A. Khatataev, A.V. Ravilov. Chernov, L.N. Grigoryan, G.N. Khmelevskaya, S.A. Khatataev, A.V. Ravicheva, N.G. Stepanova. Moscow, 2023, 324 p.
3. Variability of microsatellites in sheep breeds bred in Russia / T.E. Deniskova, M.I. Selionova, E.A. Gladyr, A.V. Dotsev, G.T. Bobrysheva, O.V. Kostyunina, G. Bram, N.A. Zinovieva. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 6, pp. 801-810. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.6.801rus>
4. Kolosov Yu.A., Getmantseva L.V., Shirokova N.V. Polymorphism of the GDF9 gene in sheep of the Salish breed. *Veterinary Pathology*, 2014, no. 3-4, pp. 78-81.
5. Lushnikov V.P., Fetisova T.O., Strilchik A.A. Polymorphism of the CAST gene in sheep of Tatarstan and Edilbaev breeds. *Sheep, goats, wool business*, 2020, no. 2, pp. 9-11.

6. Mitypova E.N., Tsybikova R.N. Improvement of sheep of aboriginal Buryat rough-wooled breed in the direction of increasing productivity. *Bulletin of Altai State University*, 2017, no. 1 (147), pp. 104-110.
7. Pogodaev V.A., Kononova L.V., Aduchiev B.K. Polymorphism of calpastatin and somatotropin genes in sheep of Kalmykian Kurdy breed and ponies (1/2 Kalmykian Kurdy + 1/2 Dorper). *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 3(47), pp. 141-145. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2019-3-141-145>
8. CAST gene polymorphism, features of fatty acid composition of blood lipids of sheep of different genotypes in ontogenesis / L.N. Chizhova, E.S. Surzhikova, E.D. Lutsiva, N.I. Efimova. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2020, no. 6, pp. 47-51.
9. KRT1.2. gene polymorphism in domestic breeds of sheep / R.Yu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov, M.B. Pavlov. *Sheep, goats, wool business*, 2018, no. 3, pp. 20-23.
10. KAP 1.3 gene polymorphism in domestic breeds of sheep of different productivity direction / R.Yu. Senina, L.A. Kalashnikova, V.P. Lushnikov, K.K. Tsoi. *Sheep, goats, wool business*, 2019, no. 4, pp. 10-12.
11. Selionova M.I., Evlagina D.D., Svetlichnyi S.I. Polymorphism of the gene GDF9 and its relationship with milk productivity of sheep breed Lakon. *Molecular genetic technologies for analyzing gene expression of productivity and resistance to diseases in animals: Proceedings of the Third International Scientific and Practical Conference in the framework of the Year of Science and Technology of the Russian Federation on "Genetics and quality of life"*, 2021, pp. 396-403.
12. Comparative evaluation of gene pools of sheep breeds based on ISSR-analysis / L.V. Nesteruk, N.N. Makarova, A.N. Evsyukov, S.G. Rvisheva, B.B. Lhasaranov, Yu.A. Stolpovsky. *Genetics*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 346-356. <https://doi.org/10.7868/S0016675816030115>
13. Formation of meat productivity in steers of different DGAT1 genotypes / T.A. Sedykh, L.A. Kalashnikova, I.Yu. Dolmatova, R.S. Gizatullin, V.I. Kosilov. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 156-174. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-155-174>
14. Chesnokov Yu.V., Artemieva A.M. Evaluation of the measure of information polymorphism of genetic diversity. *Agricultural Biology*, 2015, vol. 50, no. 5, pp. 571-578. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.571rus>
15. Wool productivity and wool quality of Russian meat merino sheep from intra- and inter-line selection / E.N. Chernobay. Chernobay, A.I. Surov, N.A. Rezun,

- O.N. Onishchenko, S.A. Oleinik. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 179-206. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-179-207>
16. A 5-Methylcytosine Site of Growth Differentiation Factor 9 (GDF9) Gene Affects Its Tissue-Specific Expression in Sheep / Z. Pan, X Wang., R Di., Q. Liu, W Hu., X. Cao, X Guo, X. He, S. Lv, F.Li, H. Wang, M. Chu. *Animals*, 2018, vol. 8(11). <https://doi.org/10.3390/ani8110200>
 17. Calpastatin (CAST) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds / M. Suleman, S.U. Khan, M.N. Riaz NRiaz M. Yousaf, Abdullah. Shah, R. Ishaq, A. Ghafoor. *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 47, no. 11, pp. 10655-10660. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2478>
 18. Effect of the gene *GDF9* on the weight of lambs at birth / L. Getmantseva, N. Bakoev, N. Shirokova, M. Kolosova, S. Bakoev, A. Kolosov. A. Usatov, V. Shevtsova, Yu. Kolosov. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 25(1), pp. 153-157. <https://www.agrojournal.org/25/01-21.pdf>
 19. *GDF9* gene polymorphism and its association with litter size in two Russian sheep breeds / I.F. Gorlov, Y.A. Kolosov, N.V. Shirokova Lyubov V. Getmantse, M.I. Slozhenkina, N.I. Mosolova, N.F. Bakoev, M.A. Leonova, A.Yu. Kolosov, E.Yu. Zlobina. *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 2018, vol. 29, pp. 61-66. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
 20. Determination of CAST gene polymorphism in sheep of the Volgograd breed / Yu.A. Kolosov, I.F. Gorlov, A.Yu. Kolosov, N.V. Shirokova, A.Ya. Kulikova, M.A. Kolosova, M.I. Slozhenkina, E.S. Vorontsova, N.N. Kolosova. *IV international conference on agribusiness, environmental engineering and biotechnologies Agritech-iv-2020. IOP conference series: earth and environmental science*. Krasnoyarsk, 2021, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052112>
 21. Itenge-Mweza T.O. *Identification of genetic markers associated with wool quality traits in merino sheep*. Ph.D. Thesis, Lincoln University, Christchurch, New Zealand, 2007, 225 p.
 22. Khederzadeh S., Iranmanesh M., Motamedi-Mojdehi R. Genetic diversity of myostatin and calpastatin genes in Zandi sheep. *Journal of Livestock Science and Technologies*, 2016, vol. 4(1), pp. 45–52. <https://en.civilica.com/doc/862246/>
 23. *KRT 1.2* gene polymorphism & its association with wool traits in Rambouillet sheep / V.P. Singh, RK. Taggar, D. Chakraborty, B.P Singh, P. Khajuria, S. Singh, P. Gupta. *The Pharma Innovation Journal*, 2022, vol. 11(6), pp. 2619-2621.
 24. Mutations in the genes for oocytederived growth factors *GDF9* and *BMP15* are associated with both in-cressed ovulation rate and sterility in Cambridge and belclare ship (*Ovis aries*) / J.P. Hanrahan, S.M. Gregan, T.P. Milsan. *Biology*

- of Reproduction*, 2004, vol. 70 (4), pp. 900-909. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023093>
25. Nucleotide variation in the ovine *KRT3.1* promoter region and its association with variation in wool traits in Merino-cross lambs / W. Chai, H. Zhou, H. Gong, J. Wang, Y. Luo, J. Hickford. *The Journal of Agricultural Science*, 2019, vol. 157(2), pp. 182-188. <https://doi.org/10.1017/S0021859619000406>
 26. Polymorphism of genes *CAST*, *GH*, *GDF9* of sheep of the Dagestan mountain breed / A.A. Ozdermirov, L.N. Chizhova, A. A. Khozhokov, E.S. Surzhikova, G.D. Dogeev, S.Sh. Abdulmagomedov. *South of Russia: ecology, development*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 39-44. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-2-39-44>
 27. Polymorphism of the *KAP 1.1*, *KAP 1.3* and *K33* genes in merino sheep / T.O. Itenge-Mweza, R.H.J. Forres, G.W. McKenzie, H. A., Abbot J., O. Amofo, J.G.H. Hickford. *Molecular and Cellular Probes*, 2007, vol. 21, pp. 338-342. <https://doi.org/10.1007/s12210-017-0659-2>
 28. Polymorphism of *KRT 1.2* and *KAP 1.3* genes in Indian sheep breeds / R. Kumar, A.S. Meena, R. Kumari, B. Jyotsana, L.L.L. Prince, S. Kumar. *Indian Journal of Small Ruminants*, 2016, vol. 1(22), pp. 28-31. <https://doi.org/10.5958/0973-9718.2016.00018.0>
 29. Three complete linkage SNPs of gene *GDF9* affect the litter size probably mediated by OCT1 in hu sheep / Y. Li, W. Jin, Y. Wang, J. Zhang, C. Meng, H. Wang, Y. Qian, Q. Li, and S. Cao. *DNA and Cell Biology*, 2020, vol. 39, no. 4, pp. 563-571. <https://doi.org/10.1089/dna.2019.4984>
 30. Shahram N., Goodarzi M. Polymorphism of candidate genes for meat production in Lori sheep. *IERI Procedia*, 2014, vol. 8, pp. 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.004>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Гончаренко Галина Моисеевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
gal.goncharenko@mail.ru

Хаамируев Тимур Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник

*Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
ул. Кирова, 49, г. Чита, 672010, Российская Федерация
tnik0979@mail.ru*

Солбон Мункуевич Дашинимаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник
*Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири – филиал ФГБУН Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
ул. Кирова, 49, г. Чита, 672010, Российская Федерация
solbonmd@mail.ru*

Хорошилова Татьяна Сергеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
tatagoryacheva@mail.ru*

Халина Ольга Леонидовна, научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
halinaolga@mail.ru*

Гришина Наталья Борисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
р.п. Краснообск, Новосибирский район, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация
natalja.grishina@gmail.com*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Galina M. Goncharenko, Doctor of Science in Biology, Chief Researcher of the Laboratory of Biotechnology
Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
gal.goncharenko@mail.ru
SPIN-code: 7129-7759
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6248-0167>
ResearcherID: K-8079-2017

Timur N. Khamiruev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher
Research Institute of Veterinary of Eastern Siberia – a branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
49, Kirova Str., Chita, 672010, Russian Federation
tnik0979@mail.ru
SPIN-code: 4899-2519
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0147-2929>
ResearcherID: Q-2628-2016

Solbon M. Dashinimaev, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
Research Institute of Veterinary of Eastern Siberia – a branch of the Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
49, Kirova Str., Chita, 672010, Russian Federation
solbonmd@mail.ru
SPIN-code: 5237-7529
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1294-5963>
ResearcherID: I-2806-2018

Tatyana S. Khoroshilova, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher at the Laboratory of Biotechnology
Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences (SFSCA RAS)
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
tatagoryacheva@mail.ru

Olga L. Khalina, Researcher at the Laboratory of Biotechnology
*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian
Academy of Sciences (SFSCA RAS)*
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
halinaolga@mail.ru

Natalya B. Grishina, Candidate of Science in Biology, Senior Researcher at
the Laboratory of Biotechnology
*Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian
Academy of Sciences (SFSCA RAS)*
Krasnoobsk, Novosibirsk Oblast, 630501, Russian Federation
natalja.grishina@gmail.com

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 22.01.2024

Принята 10.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 22.01.2024

Accepted 10.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1249

UDC 579



Reports

**FIRST REPORT OF CO-HARBORING
BLEOMYCIN RESISTANCE GENE (*ble_{MBL}*)
AND CARBAPENEMASE RESISTANCE
GENE (*bla_{NDM-1}*) KLEBSIELLA PNEUMONIAE
IN IRAQ WITH COMPARISON STUDY
AMONG THE SENSITIVITY TEST, THE BD PHOENIX
CPO DETECT TEST, AND THE RAPIDEC® CARBA NP
TEST FOR DETECTING CARBAPENEM RESISTANT
GRAM NEGATIVE BACTERIA**

Sarah Ahmed Hasan, Waad Mahmood Raoof, Khaled Khalil Ahmed

Two hundred and fifty samples were collected from burn and wound patients between January and July 2023 in Plastic Reconstructive and Burn Surgery Hospital at Sulaymaniyah city/Kurdistan region of Iraq, in addition to the Burn Unit and Wound Care Units of the Azadi Teaching Hospital in Kirkuk, Iraq. We performed a comparison study among (Antibiotic sensitivity test, BD Phoenix CPO detect test and RAPIDEC CARBA NP test), this was the first study of its kind to be performed in Iraq. The findings were supported by molecular detection of two of the most common major carbapenemases in the country, NDM-1 and OXA-48, as well as this study detected five of the recently identified minor/rare carbapenemases worldwide for the first time in Middle East (BKC-1, FRI-1, LMB-1, OXA-426, and OXA-198). We recorded five isolates containing chromosomal NDM-1 and OXA-48 genes. The findings indicated that the RAPIDEC CARBA NP test serves as a quick, accurate and sensitive means of detecting all five isolates containing the *bla_{NDM-1}* and *bla_{OXA-48}* genes. The antibiotic sensitivity test was insufficient in detecting the CPOs while phoenix NMIC-413 AST panel was revealed to be more reliable and accurate in identifying carbapenem resistant isolates in clinical settings than antibiotic sensitivity test and the BD Phoenix CPO detect test report was found to have low detection specificity, further confirmatory tests are required. The current study recorded first report of co-harboring bleomycin resistance gene (*ble_{MBL}*) and

carbapenemase resistance gene (*bla_{NDM-1}*) *Klebsiella pneumoniae* in Iraq with accession NO. PP411935. The development of new routine tests for identifying isolates resistant to carbapenem in Iraqi hospitals and other developing countries is very essential. Gram-negative isolates from Iraq that were resistant to carbapenem did not harbor the recently found minor carbapenemase.

Keywords: OXA-48; OXA-426; BKC-1; FRI-1; OXA-198; Brilliance CRE Agar; report

For citation. Sarah Ahmed Hasan, Waad Mahmood Raoof, Khaled Khalil Ahmed. First Report of Co-Harboring Bleomycin Resistance Gene (*bleMBL*) and Carbapenemase Resistance Gene (*bla_{NDM-1}*) *Klebsiella Pneumoniae* in Iraq with Comparison Study among the Sensitivity Test, the BD Phoenix CPO Detect Test, and the RAPIDEC® CARBA NP Test for Detecting Carbapenem Resistant Gram Negative Bacteria. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 208-237. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1249

Introduction

There has been an alarming rise in the prevalence of carbapenemase-producing gram-negative bacteria throughout the world over the last ten years [1]. Carbapenems (such as imipenem, meropenem, doripenem and ertapenem) are highly effective and safe antibiotics and used as last-line drugs for controlling multidrug-resistant gram-negative pathogens (including extended-spectrum beta-lactamase-producing *Enterobacteriaceae*) [2]. Carbapenem antibiotics are often used to treat serious infections because of their broad-spectrum activity, but the resistance towards carbapenem has increased significantly because of the overprescription of these antibacterial drugs, and this considered as a main cause of the carbapenemase gene expression in members of this family [3; 4]. Carbapenemase enzymes considered as major and most common mechanism of carbapenem resistance [3; 5].

There are two types of these wide-ranging enzymes, namely by “Big Five” carbapenemases and the “rare” carbapenemases, and this has been evidenced in 30 years of carbapenemase epidemiology, according to David et al. (2019) [6] the term “Big Five” refers to the five primary carbapenemases that identified globally, the Ambler classes A, B, and D beta-lactamases; class A carbapenemases, *Klebsiella pneumoniae* carbapenemase (KPC) enzymes; class B metallo-beta-lactamases (MBLs) such as New Delhi metallo-beta-lactamases (NDM), Verona integron-encoded metallo-beta-lactamase (VIM), and imipenemase (IMP) type enzymes; and class D carbapenem-hydrolyzing oxacillinase (OXA) such as OXA-48 enzymes.

The four classes of β -lactamases include a broad set of enzymes including the rare carbapenemases, their lower prevalence may be caused by underdetection since there are no specific diagnostic tests that target these rare enzymes, also, it could be due to genetic features leading to a lower spread [7].

Brazilian *Klebsiella carbapenemase*, BKC-1 is a newly-discovered carbapenemase, it was first identified in São Paulo, Brazil in three *K. pneumoniae* strains [8]. The synthesis of BKC-1 enzyme causes a reduction in susceptibility to carbapenems and resistance to aztreonam, penicillins and broad-spectrum cephalosporins. BKC-1 is similar to ESBLs; it has no effect on the effectiveness of cefoxitin. The reported phenotype with hydrolysis of penicillins, carbapenems and cephalosporins (but not cefoxitin) could be validated by purifying this enzyme [9].

French imipenemase FRI-1 gene is considered as another class A carbapenemase family present in Enterobacterales, which is resistant to imipenem [10]. The blaFRI-1 gene was detected in an *E. cloacae* obtained from a patient in Paris who had previously visited Switzerland, the production of FRI-1 reduced resistance to many antimicrobial agents such as penicillins, aztreonam, cephalosporins, and carbapenems. The results indicated that all of the tested β -lactams were hydrolyzed by the purified FRI-1 enzyme with the exception of ceftazidime. At present time, a total of nine variants were reported, FRI-1 has been discovered in France [10], FRI-2 is present in the United Kingdom [11], FRI-3 has been identified in Germany [12], FRI-4 in Japan [13], FRI-5 in Japan too (MH208723), FRI-6 in Canada [14], and FRI-7/-8/-9 in Japan (with accession numbers AP019534, AP019635, AP019633) [7].

Linz metallo- β -lactamase LMB-1 is the latest metallo- β -lactamase that present in Enterobacterales [15]. In 2013, this enzyme was initially identified in Salzburg/Austria from *E. cloacae* isolate, LMB-1 is reported to have high resistance to penicillins, broad-spectrum cephalosporins and carbapenems. Recently, this carbapenemase is detected in Buenos Aires, Argentina in the *C. freundii* isolate [16]. Various kinds of tests revealed that all β -lactams were hydrolyzed by the LMB-1, with the exception of cefepime and aztreonam [7].

As reported by Garch et al. (2011) [17], the CHDL **OXA-198** is described in *P. aeruginosa*. Recently, it is detected in clinical isolate of *Citrobacter pasteurii* in France [18]. At present time, this kind of carbapenemase was only reported in France and Belgium, with MICs of 0.38 mg/L, 0.5 mg/L, and 1 mg/L for meropenem, ertapenem and imipenem, respectively, *C. pasteurii* clinical isolate reported to confer a slight decrease in susceptibility against carbapenems. Furthermore, this kind of carbapenemases preserves ceftazidime but conferring resistance against penicillin/inhibitor combinations.

The last CHDL family reported in Enterobacterales is **OXA-427** [19]. In Belgium, this kind of carbapenemase was isolated from a number of various kinds of Enterobacterales, including *K. pneumoniae*, *K. oxytoca*, *E. coli*, *Providencia rettgeri*, and *S. marcescens*. Moreover, this carbapenemase is widely resistant to penicillin (i.e., ceftazidime, temocillin, aztreonam, and ertapenem), but not cefotaxime. Bogaerts et al. (2017) [19] conducted a biochemical analysis and found that ceftazidime and imipenem can be hydrolysed by OXA-427 but Frère et al. (2020) [20] found that it was inhibited by avibactam.

Most beta-lactam antimicrobial drugs (including carbapenems) are hydrolyzed by MBLs. At present time, there are no clinically effective inhibitors for MBLs, based on their sequence, structure, and zinc ion site(s), MBLs are further divided into B1, B2, and B3 subclasses. They also have different substrate profiles or β -lactam specificities [21; 22; 23]. The subclass B2 enzymes contain a narrow substrate spectrum towards the carbapenem antibiotics, B1 and B3 MBLs have a large substrate spectrum; including the carbapenems and other β -lactam antibiotics [24], B1 enzyme subclass is considered as the most clinically prevalent MBL, which includes imipenemase (IMP), New Delhi metallo- β -lactamase (NDM) and Verona integron-encoded metallo- β -lactamase (VIM) [25].

Recently, a new gene identified from *Acinetobacter baumannii* and carbapenem-resistant *Enterobacteriaceae*, named bleomycin resistance gene (ble_{MBL}) which located downstream of the bla_{NDM-1} gene as part of the same operon, this gene coded for protein, called by BRP_{MBL} which recently demonstrated its function in decreasing the susceptibility against bleomycin and bleomycin-like molecules (zeocin)[26]. Dortet et al. (2017) [26] has shown that bleomycin-like molecules are inactivated by (i) bleomycin hydrolases; (ii) bleomycin N-acetylating enzymes; and (iii) bleomycin-binding proteins (BMLA and BMLT), which work by trapping the bleomycin-like molecules.

This study aimed to determine the prevalence of carbapenem resistance gram-negative bacteria in burn and wound patients, and determined the efficiency of some carbapenem resistant methods in detecting the carbapenemase-producing organisms (CPOs), so we performed a comparison study among (Antibiotic sensitivity test, BD Phoenix CPO detect test and RAPIDEC CARBA NP test), this was the first study of its kind to be performed in Iraq. The findings were supported by molecular detection of two of the most common major carbapenemases in the country (NDM-1 and OXA-48), as well as this study detected five of the recently identified minor/rare carbapenemases worldwide for the first time in Middle East (BKC-1, FRI-1, LMB-1, OXA-426,

and OXA-198) to provide information on the extent of these new minor genes from an epidemiological and microbiological perspective in Iraq.

Methodology

A cross-sectional study was carried out in the Plastic Reconstructive and Burn Surgery Hospital in Sulaymaniyah, in the Kurdistan region of Iraq, in addition to the Burn Unit and Wound Care Units of the Azadi Teaching Hospital in Kirkuk, Iraq. The study conducted on burn and wound patients between January and July 2023.

1. Sample Collection

Using a sterile cotton swab, 250 samples (110 burn swabs and 140 wound swabs) were collected, after which they were processed under aseptic conditions in the Microbiology Laboratory. Data on patients' gender, age, and type of burn and wound were recorded in current study.

2. Laboratory Analysis (Culturing)

The swabs were cultured on MacConkey agar, Cetrimide agar, and also on Drigalski Lactose agar upon arrival in the laboratory. This was the first study of its kind to use Drigalski Lactose agar in the context of Iraq. This medium is both selective and differential when isolating Enterobacteriaceae and specific non-fermenters from clinical samples. Subsequently, they were incubated for 18 to 24 hours at 37°C. The colour, form, and overall appearance of each colony on each plate were assessed after a 24-hour period, as part of the colonial morphology analysis.

3. The BD Phoenix™ M50 for chemical identification and Susceptibility testing:

Combination ID/AST panels are available with the BD Phoenix™, which uses 51 wells for identifying substrates. The majority of clinically relevant Gram-positive and Gram-negative bacteria and yeast can be quickly identified using this device. We picked colonies in the culture then suspended them in ID broth, recapped the tube to vortex them then inserted the tube and read with the BD phoenixSpect™ nephelometer then transported 25 micron into AST broth tube and added BD Phoenix AST indicator to AST broth tube, recapped the tube and inverted to mix then poured the content of ID broth and AST tube inside the panel, finally capped the panel and placed it in BD Phoenix instrument.

4. Carbapenem Detection Approaches

1- RAPIDEC® CARBA NP Test: This test was conducted according to the instructors of Kit. It provided accurate results in 30 minutes to 2 hours.

2- BD Phoenix CPO detect test NMIC/ID-431 was employed to detect carbapenemase-producing organisms (CPOs) in gram-negative bacteria depending on the report results of this device.

3- Susceptibility testing (Kirby Bauer disc diffusion method) was performed using imipenem, meropenem, ertapenem discs (10 µg) in accordance with the CLSI 2018 guidelines.

5. Genotypic Identification of Carbapenemase-Encoding Genes DNA and Plasmid Isolation of Bacteria

In accordance with the manufacturer's instructions, pure cultures of bacterial isolates were left overnight in a liquid nutrient broth medium (NB) to cultivate. The purpose of this was to isolate bacterial genomic DNA and plasmids using bacterial genomic DNA and plasmid purification kit (ADDBIO, Korea). Additionally, the PCR amplification method was employed to perform molecular screening on each isolate to identify genes encoding carbapenemase. In this work, carbapenemase-encoding genes from clinical isolates were identified using traditional PCR, and the PCR results were sequenced.

Polymerase Chain Reaction (PCR)

When carrying out this test, seven pairs of primers (Macrogen, Seoul, Korea) as seen in Table 1 were employed. 2 µl of template DNA, 12.5 µl of Master Mix, and 1 µl of each prime were used in the PCR reaction mixture. The volume was filled to 25 µl using nuclease-free water. The following cycle parameters were employed: five minutes at 95°C, followed by 39 amplification cycles of 20 seconds at 95°C, 30 seconds at 58°C, and 30 seconds at 72°C. The final extension lasted five minutes at 72°C. Electrophoresis was used to resolve the amplification products on a 1.5% agarose gel for 50 minutes at 90 volts. The ethidium bromide-stained gels were seen under UV light, displaying as a light fluorescent band, and visually captured and recorded on a high-resolution digital camera (Hasan et al., 2021).

Table 1.

The primers used in this study

Gene	Primer Sequence (5' - 3')	Product size (b)	Reference
<i>bla</i> _{NDM-1}	Forward AGCAAATGGAAACTGGCGAC Reverse AAAACGCCTCTGTACATCG	766	This study
<i>bla</i> _{OXA-48}	Forward TCATCAAGTTCAACCCAACCG Reverse GGTAGCAAAGGAATGGCAAGAA	629	This study
<i>bla</i> _{BKC-1}	Forward CGGCAATGCGACCAATCTC Reverse ATCACATTTTCGCGCCGG	925	This study

<i>bla</i> _{FRI-1}	Forward TTAAGTCTTCGTCATGTTTGTC Reverse GCTCTGTCTTCCATTGAACTCA	791	This study
<i>bla</i> _{LMB-1}	Forward AAGTTCGATGGCTATGCTGG Reverse CTCGAGCCGCTGTGTATC	837	This study
<i>bla</i> _{OXA-427}	Forward GTCCCGCATCTCTGTTATCCA Reverse AAACACCTCTTCCCTGGCC	760	This study
<i>bla</i> _{OXA-198}	Forward CTTTCTGCTGTCGGTGCC Reverse CGATGATCCCTTTGCTTGT	743	This study

6. Phylogenetic Analysis

The nucleotide sequences of the genes encoding carbapenemase were ascertained by DNA sequencing by Macrogen Company (South Korea). MEGA X was used to create a phylogenetic tree after the sequencing data were analysed using the NCBI-based BLAST website.

7. Genbank Accession Numbers

In this work, the *bla*_{OXA-48} gene and *bla*_{NDM-1} gene sequences were deposited in the Genbank database under accession numbers PP411933, PP411934, PP411935, PP411936 and PP411937.

8. Statistical Analysis

The 23rd edition of Statistical Package for Social Science (SPSS) was used in this work to analyse the data. Moreover, the gathered data was subjected to a chi-square test, where a P-value of < 0.05 was deemed to be statistically significant.

Results

1. Prevalence of Gram Negative Bacteria among Burn and Wound Patients

250 clinical samples were collected from the Burn Unit and wound units of Azadi Teaching Hospital in Kirkuk, Iraq and the Plastic Reconstructive and Burn Surgery Hospital in Sulaymaniyah, Kurdistan region, Iraq. 100 (40%) Gram negative bacteria were isolated from the total medical cases as mentioned below in Figure 1, distributed 42(42%) isolates from burn patients and 58(58%) from wound patients.

Table 2 showed the rate of gram negative bacteria isolates according to patients' gender and their age group in burn patients, the results demonstrated high rate of gram negative bacteria among the female than male (59.52% and 40.47% respectively), and the high prevalence of these isolates were reported among 1 to 10 years old group (30.95%) and the low prevalence among 51-60 years old group (2.38%). There was no a statistically significant difference in

rate of gram negative bacteria according to patients' gender and age group in burn patients ($p > 0.05$).

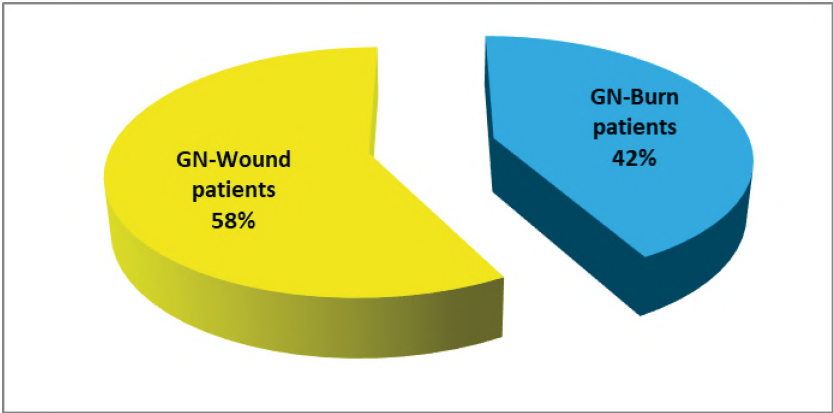


Fig. 1. Prevalence of Gram Negative Bacteria among total of positive isolates

Table 2.
The rate of gram negative bacteria according to patients' gender and age group in burn patients

Gender of Burn Patients	NO. of Burn Samples (total. No=110)	NO. of positive Samples(%) (total. No=42)
Male	44 (40%)	17(40.47%)
Female	66 (60%)	25(59.52%)
Age of Burn Patients	NO. of Burn Samples (total. No=110)	NO. of positive Samples(%) (total. No=42)
1-10 Years	37	13(30.95%)
11-20 Years	15	7(16.66%)
21-30 Years	23	7(16.66%)
31-40 Years	10	3(7.14%)
41-50 Years	12	6(14.28%)
51-60 Years	5	1(2.38%)
More than 61	8	5(11.9%)

Table 3 showed that the Scalds were the main cause of burn injuries in 62(56.36%) patients, while the highest rate of gram negative bacterial isolates were from patients with flame as the source of burn injuries 25 (59.52%) followed by scalds and electricity (38.09 and 2.38% respectively). The majority of gram negative isolates were from third burn degree (57.14%) followed by

second burn degree (40.47%) and first burn degree (2.38%). There was no a statistically significant difference in rate of gram negative bacteria according to source of burn ($p > 0.05$), but statistically significant difference was observed in rate of gram negative bacteria according to degree of burns ($p < 0.05$).

Table 3.

The rate of gram negative bacteria Mechanism of burn injury and type of burn degree

Source of Burn	NO. of Burn Samples (Total. No=110)	NO. of positive Samples(%) (Total. No=42)
Flame	45 (40.9%)	25(59.52%)
Scalds	62 (56.36%)	16(38.09%)
Electricity	3 (2.72%)	1(2.38%)
Degree of burns	NO. of Burn Samples (Total. No=110)	NO. of positive Samples(%) (Total. No=42)
First Degree	8 (7.72%)	1(2.38%)
Second Degree	71 (64.54%)	17(40.47%)
Third Degree	31 (28.18%)	24(57.14%)

Table 4 showed the rate of gram negative bacterial isolates according to patients' age group and their gender in wound patients. This study demonstrated high rate of isolated gram negative bacteria were among the male than female (58.62% and 41.37% respectively), and the high prevalence of these isolates were reported among more than 61 years old group (37.93%) and the low prevalence were among 1-10 years old group (1.72%). There was no a statistically significant difference in rate of gram negative bacteria according to patients' gender and age group in wound patients ($p > 0.05$).

Table 4.

The rate of gram negative bacteria according to patients' gender and age group in wound patients

Gender of Wound Patients	NO. of Wound Samples (Total. No=140)	NO. of positive Samples (%) (Total. No=58)
Male	99 (70.71%)	34(58.62%)
Female	41 (29.28%)	24(41.37%)
Age of Wound Patients	NO. of Wound Samples (Total. No=140)	NO. of positive Samples (%) (Total. No=58)
1-10 Years	9	1(1.72%)
11-20 Years	17	5(8.62%)

21-30 Years	19	7(12.06%)
31-40 Years	14	4(6.89%)
41-50 Years	13	3(5.17%)
51-60 Years	29	16(27.58%)
More than 61	39	22(37.93%)

Table 5 showed that the highest rate of isolated gram negative bacteria were from patients with Diabetic wound followed by Bed sore (29.31% and 24.13% respectively), while the lowest rate was from the dog bite wound (1.72%). There was no statistically significant difference in rate of gram negative bacteria according to wound specimens' types ($p > 0.05$).

Table 5.

The rate of gram negative bacteria according to wound specimens' types

Source of Wound specimens'	NO. of Wound Samples (Total. No=140)	NO. of positive Samples (%) (Total. No=58)
Accidents wound	21	4(6.89%)
Surgery wound	36	10(17.24%)
Diabetic wound	37	17(29.31%)
Bed sore	16	14(24.13%)
Plastic surgery	28	12(20.68%)
Dog bite wound	2	1(1.72%)

In this study and for the first time in Iraq, the BD Phoenix was used for accurate and timely identification of whole 100 gram negative bacterial isolates; we obtained 21 different species of gram negative bacteria as mentioned in Table 6. The highest rate of identified gram negative bacteria from burn and wound patients were *Pseudomonas aeruginosa* 31(31%) followed by *Escherichia coli* 16(16%), *Enterobacter cloacae* 13(13%) and *Klebsiella pneumonia* 11(11%) distributed in burn patients as 15(35.71%), 6(14.28%), 3(7.14%) and 5(11.9%) respectively, while distributed in wound patients as 16(27.58%), 10(17.24%), 10(17.24%) and 6(10.34%) respectively.

The other species of gram negative bacteria that isolated from burn patients were *Acinetobacter baumannii* 4(9.52%), *Klebsiella oxytoca* 2(4.76%), *Citrobacter koseri* 1(2.38%), *Acinetobacter calcoaceticus-baumannii* complex 1(2.38%), *Serratia marcescens* 1(2.38%), *Pantoea agglomerans* 1(2.38%), *Pasteurella pneumotropica* 1(2.38%), *Pseudomonas fluorescens* 1(2.38%) and *Klebsiella aerogenes* 1(2.38%). While the gram negative bacterial species that isolated from wound patients were *Proteus mirabilis* 4(6.89%), *Morganella mor-*

ganii 4(6.89%), *Citrobacter freundii* 2(3.44%), *Citrobacter koseri* 1(1.72%), *Citrobacter farmeri* 1(1.72%), *Stenotrophomonas maltophilia* 1(1.72%), *Kluyvera ascorbata* 1(1.72%), *Escherichia vulneris* 1(1.72%) and *Pseudomonas putida* 1(1.72%). There was no a statistically significant difference in rate of identified gram negative bacteria isolates by using BD Phoenix™ M50 ($p > 0.05$).

Table 6.

Identified gram negative bacteria isolates by using BD Phoenix™ M50

Isolated bacteria by BD phoenix	NO. of Isolated bacteria from Burn Patients (%)	NO. of Isolated bacteria from Wound Patients (%)	Total (%)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	15(35.71%)	16(27.58%)	31(31%)
<i>Escherichia coli</i>	6(14.28%)	10(17.24%)	16(16%)
<i>Enterobacter cloacae</i>	3(7.14%)	10(17.24%)	13(13%)
<i>Klebsiella pneumonia</i>	5(11.9%)	6(10.34%)	11(11%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	4(9.52%)	0	4(4%)
<i>Proteus mirabilis</i>	0	4(6.89%)	4(4%)
<i>Morganella morganii</i>	0	4(6.89%)	4(4%)
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2(4.76%)	0	2(2%)
<i>Citrobacter freundii</i>	0	2(3.44%)	2(2%)
<i>Citrobacter koseri</i>	1(2.38%)	1(1.72%)	2(2%)
<i>Citrobacter farmeri</i>	0	1(1.72%)	1(1%)
<i>Acinetobacter calcoaceticus–baumannii complex</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
<i>Serratia marcescens</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
<i>Pantoea agglomerans</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	0	1(1.72%)	1(1%)
<i>Kluyvera ascorbata</i>	0	1(1.72%)	1(1%)
<i>Pasteurella pneumotropica</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
<i>Escherichia vulneris</i>	0	1(1.72%)	1(1%)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
<i>Pseudomonas putida</i>	0	1(1.72%)	1(1%)
<i>Klebsiella aerogenes</i>	1(2.38%)	0	1(1%)
Total (%)	42	58	100

2. Prevalence of Carbapenem Resistance Gram Negative Bacteria among Burn and Wound Patients

The prevalence of carbapenem resistance gram negative bacteria were 23(23%), 21(21%) and 61(61%) by using various methods (antibiotic sensi-

tivity test, BD Phoenix CPO detect test NMIC/ID-431 and RAPIDEC CARBA NP Test) respectively, in this study, the total rate of carbapenem resistance was 66(66%) distributed as following: 24(77.41%), 10(62.5%), 6(15.38%), 5(45.45%) and 2(50%) for *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae* and *Proteus mirabilis* respectively, for the first time in Iraq, the results of RAPIDEC CARBA NP test recorded carbapenemase producing *Citrobacter freundii*, carbapenemase producing *Citrobacter farmeri*, carbapenemase producing *Escherichia vulneris* and carbapenemase producing *Pseudomonas putida* isolated from wound patients, carbapenemase producing *Acinetobacter calcoaceticus–baumannii* complex and carbapenemase producing *Pseudomonas fluorescens* isolated from Burn patients as mentioned in Table 7.

In current study four gram negative bacterial species were not carbapenemase producing organisms (*Klebsiella oxytoca*, *Citrobacter koseri*, *Pasteurella pneumotropica* and *Klebsiella aerogenes*), as mentioned in table 7. There was a statistically significant difference among the three methods that used to detect carbapenem resistant gram negative bacteria ($p < 0.05$).

Table 7.

The prevalence of carbapenem resistant gram negative bacteria by using antibiotic sensitivity test, BD Phoenix- CPO detect test and RAPIDEC CARBA NP Test

Carbapenem Resistant GN bacteria	Total	Detection method of Carbapenem Resistant bacteria			
		Sensitivity Test(Mero-penem 10ug)	BD Phoenix-CPO marker	RAPIDEC CARBA NP Test	Total (%)*
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	31(31%)	11(35.48%)	9(29.03%)	22(70.96%)	24(77.41%)**
<i>Escherichia coli</i>	16(16%)	1(6.25%)	1(6.25%)	10(62.5%)	10(62.5%)
<i>Enterobacter cloacae</i>	13(13%)	0	0	6(15.38%)	6(15.38%)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	11(11%)	2(18.18%)	2(18.18%)	5(45.45%)	5(45.45%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	4(4%)	4(100%)	4(100%)	3(75%)	4(100%)*
<i>Proteus mirabilis</i>	4(4%)	0	1(25%)	2(50%)	2(50%)
<i>Morganella morganii</i>	4(4%)	0	1(25%)	4(100%)	4(100%)
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2(2%)	0	0	0	0

<i>Citrobacter freundii</i>	2(2%)	1(50%)	1(50%)	2(100%)	2(100%)
<i>Citrobacter koseri</i>	2(2%)	0	0	0	0
<i>Citrobacter farmeri</i>	1(1%)	0	0	1(100%)	1(100%)
<i>Acinetobacter calcoaceticus–baumannii complex</i>	1(1%)	1(100%)	1(100%)	1(100%)	1(100%)
<i>Serratia marcescens</i>	1(1%)	0	0	1(100%)	1(100%)
<i>Pantoea agglomerans</i>	1(1%)	1(100%)	0	1(100%)	1(100%)
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	1(1%)	1(100%)	0	0	1(100%)
<i>Khuyvera ascorbata</i>	1(1%)	1(100%)	0	0	1(100%)
<i>Pasteurella pneumotropica</i>	1(1%)	0	0	0	0
<i>Escherichia vulneris</i>	1(1%)	0	1(100%)	1(100%)	1(100%)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1(1%)	0	0	1(100%)	1(100%)
<i>Pseudomonas putida</i>	1(1%)	0	0	1(100%)	1(100%)
<i>Klebsiella aerogenes</i>	1(1%)	0	0	0	0
Total (%)	100(100%)	23(23%) ***	21(21%)	61(61%)	66(66%)

* One isolate of *Acinetobacter baumannii* with** two isolates of *Pseudomonas aeruginosa* were resistant by sensitivity test but they gave negative results by RAPIDEC CARBA NP Test.

***Total results of sensitivity Test by using Imipenem and Ertapenem were 29(29%) and 38(38%) respectively.

The prevalence of carbapenem resistant gram negative bacteria according to the source of specimens among 66 CRGN isolates was distributed as following: 24(36.36%) from burn patients and 42(63.63%) from wound patients as mentioned in Figure 2.

The current study, for the first time reported the prevalence of carbapenem resistance GN isolates according to the cause of burn, degree of burns and the types of wounds, distributed as following: 12(50%), 12(50%) and 0% detected from Flame as cause of Burn in patients, scalds and electricity respectively, while 1(4.16%), 9(37.5%) and 14(58.33%) were determined from first degree,

second degree and third degree burn patients respectively. The highest rate of carbapenem resistance isolates were among third degree burn isolates

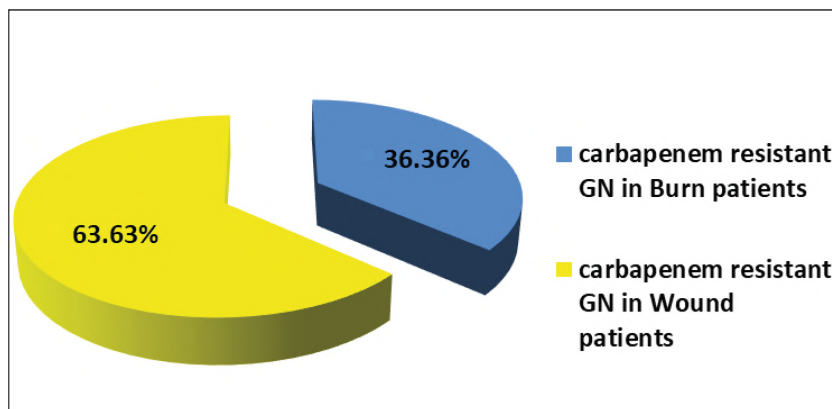


Fig. 2. Prevalence of carbapenem resistant gram negative according to the source of specimens

While 3(7.14%), 4(9.52%), 15(35.71%), 13(30.95%), 7(16.66%) and 0% of carbapenem resistance GN isolates detected from various kinds of wounds, distributed as accidents wound, surgery wound, diabetic wound, bed sore, plastic surgery and dog bite wound respectively. The highest rate of carbapenem resistance isolates were among diabetic wound isolates followed by bed sore isolates as mentioned in (Table 4.7). There was a statistically significant difference in the prevalence rates of CRGN bacteria according to cause of burns, degree of burns and source of wounds ($p < 0.05$).

Table 8.

The prevalence of carbapenem resistant gram negative bacteria according to Cause of Burns, degree of Burns and Source of Wounds

Source of specimens (Burn and Wound)	Gram negative isolates (%)	Carbapenem resistant GN isolates (%)
Cause of Burns	Total 42	Total 24
Flame	25(59.52%)	12(50%)
Scalds	16(38.09%)	12(50%)
Electricity	1(2.38%)	0
Degree of Burns	Total 42	24
First degree burn patients	1(2.38%)	1(4.16%)
Second degree burn patients	17(40.47%)	9(37.5%)

Third degree burn patients	24(57.14%)	14(58.33%)
Source of Wounds	Total 58	Total 42
Accidents wound	4(6.89%)	3(7.14%)
Surgery wound	10(17.24%)	4(9.52%)
Diabetic wound	17(29.31%)	15(35.71%)
Bed sore	14(24.13%)	13(30.95%)
Plastic surgery	12(20.68%)	7(16.66%)
Dog bite wound	1(1.72%)	0

3. Prevalence of Carbapenemase genes

All 100 gram negative bacterial isolates were detected genotypically based on the primers described previously for two common major carbapenemase genes in Iraq (NDM-1 and OXA-48), and five latest minor carbapenemases in the world BKC-1, FRI-1, MBL-1, OXA-426 and OXA-198 by PCR technique (Figure 3), 4/66 (6.06%) of the isolates were harboring *bla*_{NDM-1} gene among the overall carbapenem resistant gram negative (two isolates of *Pseudomonas aeruginosa* with two isolates of *Klebsiella pneumoniae*), and one isolate 1/66 (1.51%) of *Klebsiella pneumoniae* was carried *bla*_{OXA-48} gene. While the latest minor carbapenemase genes were absent in all of studied isolates.

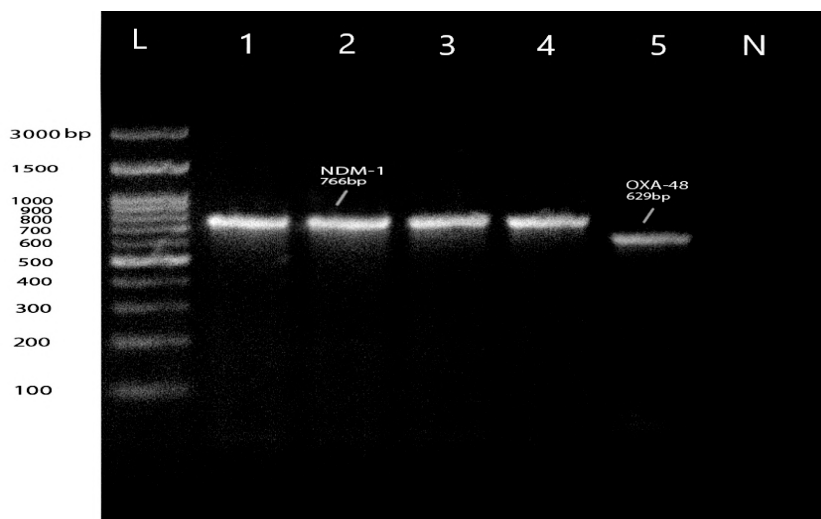


Fig. 3. PCR product of NDM-1 and OXA-48 genes isolated from carbapenem-resistant gram negative bacteria by gel electrophoresis. Lane L: 100bp DNA ladder; Lane N: negative control; Lanes 1-5: clinical isolates

These findings compared with the three tests' results that used in this study to detect the carbapenem resistant gram negative isolates, routine sensitivity test was able to detect two CPO isolates, BD Phoenix CPO detect test NMIC-431 was able to detect three carbapenemase producer, while all the 5 isolates that were carried bla_{NDM-1} gene and bla_{OXA-48} gene were detected by RAPIDEC CARBA NP Test.

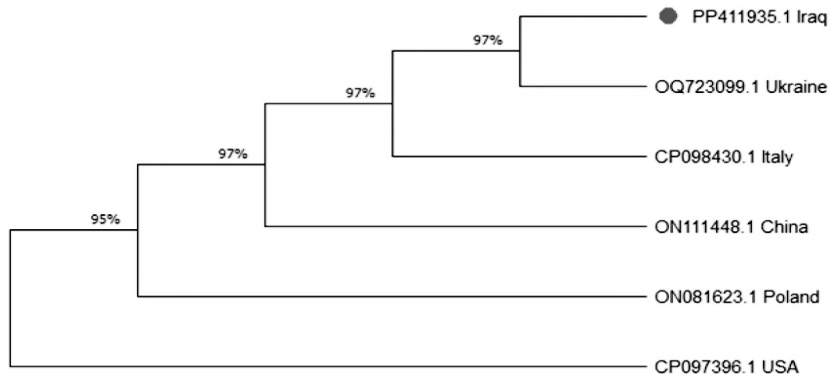


Fig. 4. The phylogenetic tree of bla_{MBL} and bla_{NDM-1} producing *Klebsiella pneumoniae*

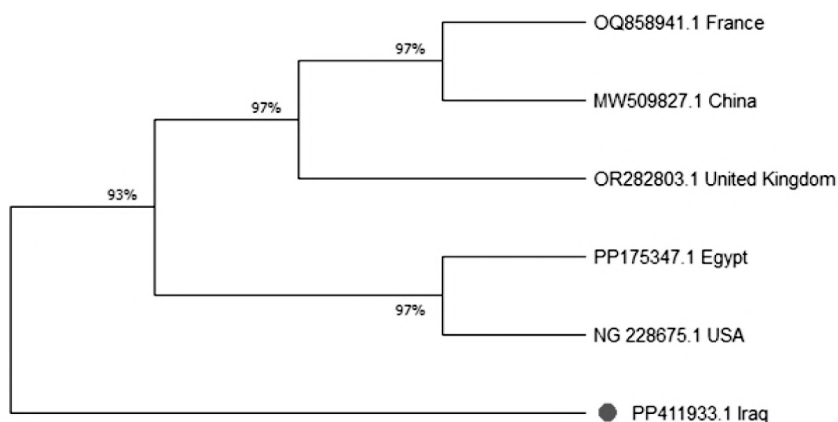


Fig. 5. The phylogenetic tree of bla_{OXA-48} producing *Klebsiella pneumoniae*

Discussion

1. Prevalence of Gram Negative Bacteria among Burn and Wound Patients

Morbidity and mortality are mainly caused by infectious diseases [27]. The skin and mucous membranes damaging can compromise the body's defense

and enable microbes to enter the body and cause infections [28]. Patients with burn injuries have more complications in infection, and wound infections can decrease the healing process of wound patients [29].

In current study, the most common gram-negative bacteria isolated from burn and wound patients were *Pseudomonas aeruginosa* due to its high antibiotic resistance and ability to thrive in different conditions, it raises mortality rates and hospitalizations [30; 31]. The results demonstrated higher rate of gram negative bacteria was among the female burn patients than male because the majority of studied burn specimens were collected from female patients, this agreed with the findings of other studies conducted in Iraq [32; 33], which revealed that burn injuries were more common in women than in men because women are more participated in cooking activities, which could explain why they have a comparatively higher risk of burn injuries [32]. The ages of studied burn patients were ranged from 1 to > 61 years; the age group of 1 to 10 years had the highest number of burn injuries, this is because of the risky behaviors of children when exploring their surrounding environment (i.e., playing with fire), and delayed defense reflex mechanisms [34]. This group was followed by the 21–30 age groups because they are the most age group that participated in outdoor activities.

This study showed higher rate of gram negative bacteria was among patients burned with flame, while the scalds were the main cause of burn injuries, this result disagreed with those of Hasan and Abass (2019) [32] because they recorded the flame as the main cause of burn injuries, this is because of their studied burn patients were adults with 21–30 age group who were suffered from flame burns, while in current study; the largest number of our studied burn patients were from children under 4 years and this agreed with the findings of Pruitt et al. (2012) [35], published in France, which showed children ages 4 and below who had been hospitalized for burn-related injuries were suffered from scald burns (65%) or contact burns (20%).

We in The current study recorded third burn degree patients with the majority of gram negative isolates followed by second burn degree and first burn degree. While, an Iraqi study performed in 2019 [32] found the majority of gram negative isolates was isolated from second-degree burns patients, followed by third-degree burns and lastly first-degree burns patients, the differences in results can be related to the timing of specimen collection from the burn patients under study, the bacterial growth is significantly more common in newer burns (burns less than 20 days old), than older burns [36].

While in wound patients, the highest rate of gram-negative bacteria was isolated from male patients because the majority of studied wound specimens

were collected from male patients with fewer samples taken from female wound patients. Also this study revealed the highest prevalence of these isolates in individuals over 61 years of age because of the declining immune responses in older individuals [37; 38].

According to type of wound, the highest rate of gram-negative bacteria was isolated from patients with diabetic wounds, because the diabetic patients tend to develop foot infections because of the neuropathy, diminished neutrophil function and vascular insufficiency. Between 30 and 50% of patients with diabetes develop foot ulcerations [39]. The second highest rate of gram-negative bacteria was identified in patients with bed sores because the bacterial infections were found to be the most common complication associated with pressure ulcers, and infections here can lead to soft tissue and bone infections, such as cellulitis, abscesses, bursitis, and osteomyelitis of the bone underneath the bed of the wound. Furthermore, pressure ulcers are a well-known cause of bacteremia [40]. While, dog bites were found to have the lowest rate of gram-negative bacteria, because there were only two studied patients with dog bite wound; one of them was dog bite wound patient with burn injury at the same site of dog biting. The findings of this study showed that *Pasteurella pneumotropica* was isolated from a dog bite patient with burn injury; this agreed with study of Lahlou et al. (2023) [41] revealed that the soft tissue infection after dog/cat bites or scratches is the most cause of pasteurellosis in humans.

2. Prevalence of Carbapenem Resistance Gram Negative Bacteria among Burn and Wound Patients

There are many reports of carbapenemases in Enterobacteriaceae in countries around the world [42], but not much research has been conducted in Iraq to study the gram-negative bacteria resistant to carbapenem. In order to study the efficacy of different techniques to detect the carbapenem resistant bacteria and provide important medical recommendations to improve the health situation in Iraq, we performed a comparison study among three medical methods: routine sensitivity tests, BD Phoenix CPO detect tests and RAPIDEC CARBA NP test for detecting carbapenem-resistant gram-negative bacteria, this was the first study of its kind to be performed in Iraq.

Based on the results of the RAPIDEC CARBA NP test (the most reliable, internationally-administered test), the carbapenemase production rate was 61 (61%), this rate is considered high and concerning rate, revealed that carbapenemase production plays a significant role in determining carbapenem resistance, these findings agreed with those revealed by other researchers in Spain [43], Iraq [44] and Italy [45]. Comparing the results of the most accurate test (RAPIDEC

CARBA NP) to those of the antibiotic sensitivity test using carbapenem discs revealed inefficiencies, it recorded 23(23%), 29(29%) and 38(38%) to meropenem, imipenem and ertapenem respectively, this agreed with the fact that the susceptibility pattern by disc diffusion was considered as first-line method for early detection of carbapenemases, our findings revealed Ertapenem as the most sensitive indicator for the activity of carbapenemases compared with Imipenem and Meropenem, this agreed with many studies [46; 47]. In contrast to disc diffusion method, BD phoenix reported 40 (61%), 35 (54%) and 28 (42%) resistance to ertapenem, imipenem and meropenem respectively; phoenix NMIC-413 AST panel was revealed to be more reliable and accurate in identifying carbapenem producing organisms (CPOs) in clinical settings, this agreed with study conducted by Zhang et al in 2021 [48], in addition to that, this device reported 21(21%) isolates as carbapenem producing organisms (CPOs), thus, this medical device was considered to be low specificity device for detecting carbapenemase-producing organisms (CPOs); when a carbapenemase-producer (CP) test yields positive results, the device quickly reports the data as “carbapenemase producer”. However, it needs to be confirmed by confirmatory tests because of its relatively low detection specificity. Furthermore the new panel of BD Phoenix NMIC-500 appeared significant potential for CPO and AST [49]; as well as the Phoenix NMIC-502 panel for detecting Ambler class carbapenemases in CPO isolates [50].

From the total rate of carbapenem resistance 66 (66%), two isolates of *P. aeruginosa* and one isolate of *Acinetibacter baumannii*, *Stenotrophomonas maltophilia*, and *Kluyvera ascorbata* were negative for the RAPIDEC CARBA NP test, they showed resistance towards carbapenem by the antibiotic sensitivity test, which indicates other mechanisms of carbapenem resistance these isolates own, such as loss of porins that work to reduce the uptake of carbapenems and/or efflux pump mechanism, which pumps the carbapenem drugs outside the cells [44; 45; 51].

As mentioned in Table 7, the results of RAPIDEC CARBA NP test recorded new bacterial species with carbapenemase enzyme in Iraq such as carbapenemase-producing *Citrobacter freundii*, carbapenemase-producing *Citrobacter farmeri*, carbapenemase-producing *Escherichia vulneris*, and carbapenemase-producing *Pseudomonas putida* isolated from wound patients, carbapenemase-producing *Acinetobacter calcoaceticus–baumannii* complex, and carbapenemase-producing *Pseudomonas fluorescens* isolated from Burn patients. These results demonstrate the extensive transmission of carbapenemase genes through transmissible genetic factors (i.e., insertion sequences and plasmids) between different genera and even between gram-negative bacteria species.

As mentioned in Table 8, the prevalence of carbapenem-resistant GN isolates has been determined for the first time in this study according to the cause of burns, degree of burns, and types of wounds (accident, surgery, diabetic, bed sore, plastic surgery, and dog bite wounds). The differences in the rate of carbapenem-resistant isolates among many local and international studies belong to many important points such as the geographic region, hospital cleanliness, infection type from which samples were obtained, the technique that used to detect carbapenem-resistant bacterial isolates, and the hygiene of the population under study [52; 53; 54].

3. Prevalence of Carbapenemase genes

In this study, Special primers were designed and employed in this work to detect the two major carbapenemase genes (NDM-1 and OXA-48) with the latest discover minor/rare carbapenemase genes (BKC gene, FRI gene, LMB-1, OXA-426 and OXA-198), making the present study the first of its kind to be performed in the Middle East. The findings revealed that the studied carbapenem resistant gram negative isolates were lacked the recently identified minor carbapenemase, this could indicate that the genes have been recently developed and less widely distributed among gram-negative bacteria, making them less transmitted by plasmids and transposons. Also, their lower prevalence is due to their genetic features which limited their spread [7]. This study chose two major carbapenemase genes (bla_{OXA-48} and bla_{NDM-1}) for molecularly detection because of the epidemiological fact that both of them are the most spread genes in Iraq, as reported in a systematic review on carbapenem resistance in Iraq [55], five bacterial isolates were found to be carrying these two genes in there chromosomes because of the fact that the two gene sequences employed in this study were not among the most common variant genes, the bla_{OXA-48} gene was detected from the *Klebsiella pneumoniae* in a third-degree burn patient from Sulaymaniyah City in Kurdistan region of Iraq (accession NO. PP411933). The two NDM-1-producing *Klebsiella pneumoniae* isolates were obtained from skin graft wounds in Sulaymaniyah City (accession NO. PP411934). While the other isolate was obtained from a hand-wound patient in Iraq's Kirkuk City, this isolate carried the chromosomal bla_{NDM-1} ble_{MBL} , revealed the coexistence of bla_{NDM-1} gene subclass B1 and the bleomycin binding protein gene (*ble*) as a first Iraqi report recorded in NCBI with accession NO. PP411935 (These two isolates; PP411934&PP411935 were carried the bla_{NDM-1} gene subclass B, which defined as gene subclass with a wide substrate spectrum towards carbapenems among other β -lactam antibiotics). The two isolates of NDM-1-producing *Pseudomonas aeruginosa* were taken from bed-sore patients, one of whom was from

Kirkuk city in Iraq (accession NO. PP411936). This isolate also contained the NDM-1 gene subclass B, while the other isolate was from a patient in Sulaymaniyah City (accession NO. PP411937).

In this study, the results of three methods: Antibiotic sensitivity test, BD Phoenix CPO detects test NMIC/ID-431, and RAPIDEC CARBA NP test were investigated with the results of the PCR method. The antibiotic sensitivity test identified two CPOs out of 5 isolates that were harboring carbapenemase gene according to the molecularly test (PCR), BD Phoenix CPO detect test NMIC 431 identified three CPOs, thus, this medical device was considered to be low specificity device for detecting carbapenemase-producing organisms (CPOs), so it is required to use additional confirmatory methods to detect CPO accurately, our findings agreed with many international studies including [50; 56; 57]. All five CPOs were identified using the RAPIDEC CARBA NP test making it a great option for use in clinical laboratories, this finding agreed with those revealed in a number of international studies [58; 59; 60].

High rates of morbidity and mortality are associated with carbapenem-resistant bacterial infections due to limited treatment options. Developing new routine method for detecting carbapenem-resistant organisms can help medical professionals to make important decisions about patient treatment and infection prevention. Therefore, this study recommended the Iraqi Ministry of Health to enter new, basic method to health system of laboratories in order to detect the carbapenem-resistant bacteria.

The RAPIDEC CARBA NP test is a great choice for clinical laboratories because it is an accurate method that can be completed in less than 2.5 hours, but it cost 15\$ for a single test, it is expensive. Therefore, we suggest the use of Brilliance CRE Agar in all Iraqi hospitals; this medium facilitates the growth of isolates that are resistant to carbapenems with low detection limits and it is considered as a useful screening tool for non-fermentative gram-negative strains of bacteria that are resistant to carbapenems as well as enterobacteria. The medium is less expensive than the RAPIDEC CARBA NP test and permitted the growth of nearly all carbapenem-resistant non-fermenting isolates. Also, non-fermenters were easily distinguished from Enterobacteriaceae based on colony colour and form [61; 62].

The *bla*_{OXA-48} gene is endemic in neighboring Turkey [63], whereas *bla*_{NDM-1} is endemic in India [64], and many cases have been reported from Saudi Arabia, Turkey, and Iran [65; 66; 67]. This has an impact on Iraqi people who are visiting these endemic nations for tourism, medical care, and pilgrimage as well as the acquisition of these resistance genes from hospital settings [68]. Also, every

year, over 10 million tourists visit Iraq each year to participate in the fortieth day, which is known as the “Arba’een of Imam Hussein (Peace Be Upon him).” This helps bring carbapenem resistance genes by sick visitors from different countries to Iraq. Therefore, it is necessary to consider wearing a mask and using alcohol to sterilize the hands, in addition to avoiding using other personal tools. There is an urgent need to find guidelines and appropriate infection control procedures to prevent such infections among patients.[69]

Conclusions

The findings of this study demonstrated a considerable rise in the percentage of gram-negative isolates that produce carbapenemase among burn and wound patients in Iraq. Therefore it is recommended that the Iraqi Ministry of Health include new routine method in health laboratory system for detecting the carbapenem resistant bacteria such as the Brilliance CRE Agar or RAPEDIC CARBA NP tests. Compared to RAPEDIC CARBA NP, Brilliance CRE Agar is less expensive and the Iraqi hospitals recommended to use ertapenem discs because ertapenem is most sensitive indicator for detecting the activity of carbapenemases compared with imipenem and meropenem. It is imperative that medical staff wash their hands before and after using the restroom and interacting with patients to minimize the transmission of infectious pathogens to patients. Contamination control measures should also be implemented to prevent the spread of these microorganisms.

References

1. Bourafa, Nadjette, Wafaa Chaalal, Sofiane Bakour, Rym Lalaoui, Nafissa Boutefnouchet, Seydina M. Diene, and Jean-Marc Rolain. Molecular characterization of carbapenem-resistant Gram-negative bacilli clinical isolates in Algeria. *Infection and drug resistance*, 2018, vol. 11, pp. 735-742. <https://doi.org/10.2147/IDR.S150005>
2. Armstrong, Tom, Samuel Jacob Fenn, and Kim R. Hardie. JMM Profile: Carbapenems: a broad-spectrum antibiotic. *Journal of medical microbiology*, 2021, vol. 70, no. 12, 001462. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001462>
3. Aruhomukama, Dickson, Christine F. Najjuka, Henry Kajumbula, Moses Okee, Gerald Mboowa, Ivan Sserwadda, Richard Mayanja, Moses L. Joloba, and David P. Kateete. bla VIM-and bla OXA-mediated carbapenem resistance among *Acinetobacter baumannii* and *Pseudomonas aeruginosa* isolates from the Mulago hospital intensive care unit in Kampala, Uganda. *BMC infectious diseases*, 2019, vol. 19, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4510-5>

4. Jalalvand, Kosar, Nasrin Shayanfar, Fereshteh Shahcheraghi, Elahe Amini, Mahsa Mohammadpour, and Pegah Babaheidarian. Evaluation of phenotypic and genotypic characteristics of carbapenemases-producing enterobacteriaceae and its prevalence in a referral hospital in Tehran city. *Iranian journal of pathology*, 2020, vol. 15, no. 2, pp. 86-95. <https://doi.org/10.30699/ijp.2020.111181.2188>
5. David, Sophia, Sandra Reuter, Simon R. Harris, Corinna Glasner, Theresa Feltwell, Silvia Argimon, Khalil Abudahab et al. Epidemic of carbapenem-resistant *Klebsiella pneumoniae* in Europe is driven by nosocomial spread. *Nature microbiology*, 2019, vol. 4, no. 11, pp. 1919-1929. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0492-8>
6. Bonnin, Rémy A., Agnès B. Jousset, Cécile Emeraud, Saoussen Oueslati, Laurent Dortet, and Thierry Naas. Genetic diversity, biochemical properties, and detection methods of minor carbapenemases in Enterobacterales. *Frontiers in Medicine*, 2021, vol. 7, 616490. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.616490>
7. Nicoletti, Adriana Giannini, Marcelo FM Marcondes, Willames MBS Martins, Luiz GP Almeida, Marisa F. Nicolás, Ana TR Vasconcelos, Vitor Oliveira, and Ana Cristina Gales. Characterization of BKC-1 class A carbapenemase from *Klebsiella pneumoniae* clinical isolates in Brazil. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2015, vol. 59, no. 9, pp. 5159-5164. <https://doi.org/10.1128/AAC.00158-15>
8. Partridge, Sally R. Mobilization of bla BKC-1 by IS Kpn23? *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2016, vol. 60, no. 8, pp. 5102-5104. <https://doi.org/10.1128/aac.00785-16>
9. Dortet, Laurent, Laurent Poirel, Samia Abbas, Saoussen Oueslati, and Patrice Nordmann. Genetic and biochemical characterization of FRI-1, a carbapenem-hydrolyzing class A β -lactamase from *Enterobacter cloacae*. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2015, vol. 59, no. 12, pp. 7420-7425. <https://doi.org/10.1128/AAC.01636-15>
10. Meunier, Danièle, Jacqueline Findlay, Michel Doumith, Daniel Godoy, Claire Perry, Rachel Pike, Firza Gronthoud et al. FRI-2 carbapenemase-producing *Enterobacter cloacae* complex in the UK. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2017, vol. 72, no. 9, pp. 2478-2482. <https://doi.org/10.1093/jac/dkx173>
11. Schauer, Jennifer, Sören G. Gatermann, Matthias Marschal, and Niels Pfennigwerth. Genetic and biochemical characterization of FRI-3, a novel variant of the Ambler class A carbapenemase FRI-1. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2019, vol. 74, no. 10, pp. 2891-2894. <https://doi.org/10.1093/jac/dkz295>
12. Kubota, Hiroaki, Yoshifumi Uwamino, Mari Matsui, Tsuyoshi Sekizuka, Yasunori Suzuki, Rumi Okuno, Yumi Uchitani et al. FRI-4 carbapenemase-producing

- Enterobacter cloacae complex isolated in Tokyo, Japan. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2018, vol. 73, no. 11, pp. 2969-2972. <https://doi.org/10.1093/jac/dky291>
13. Boyd, David A., Brigitte Lefebvre, Laura F. Mataseje, Simon Gagnon, Michel Roger, Patrice Savard, Jean Longtin, and Michael R. Mulvey. Enterobacter sp. N18-03635 harbouring bla FRI-6 class A carbapenemase, Canada. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2020, vol. 75, no. 2, pp. 486-488. <https://doi.org/10.1093/jac/dkz438>
 14. Lange, Felix, Niels Pfennigwerth, Rainer Hartl, Heidrun Kerschner, Dagmar Achleitner, Sören G. Gatermann, and Martin Kaase. LMB-1, a novel family of class B3 MBLs from an isolate of Enterobacter cloacae. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 2018, vol. 73, no. 9, pp. 2331-2335. <https://doi.org/10.1093/jac/dky215>
 15. Dabos, Laura, Carlos H. Rodriguez, Marcela Nastro, Laurent Dortet, Rémy A. Bonnin, Angela Famiglietti, Bogdan I. Iorga, Carlos Vay, and Thierry Naas. LMB-1 producing Citrobacter freundii from Argentina, a novel player in the field of MBLs. *International journal of antimicrobial agents*, 2020, vol. 55, no. 2, 105857. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2019.11.014>
 16. El Garch, Farid, Pierre Bogaerts, Carine Bebrone, Moreno Galleni, and Youri Glupczynski. OXA-198, an acquired carbapenem-hydrolyzing class D β -lactamase from Pseudomonas aeruginosa. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2011, vol. 55, no. 10, pp. 4828-4833. <https://doi.org/10.1128/AAC.00522-11>
 17. Bonnin, Rémy A., Agnès B. Jousset, Lauraine Gauthier, Cécile Emerald, Delphine Girlich, Aimie Sauvadet, Garance Cotellon, Thomas Jové, Laurent Dortet, and Thierry Naas. First occurrence of the OXA-198 carbapenemase in Enterobacterales. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 2020, vol. 64, no. 4, e01471-19. <https://doi.org/10.1128/AAC.01471-19>
 18. Bogaerts, Pierre, Thierry Naas, Veroniek Saegeman, Remy A. Bonnin, Annette Schuermans, Stéphanie Evrard, Warda Bouchahrouf et al. OXA-427, a new plasmid-borne carbapenem-hydrolysing class D β -lactamase in Enterobacteriaceae. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 2017, vol. 72, no. 9, pp. 2469-2477. <https://doi.org/10.1093/jac/dkx184>
 19. Frère, Jean-Marie, Pierre Bogaerts, Te-Din Huang, Patrick Stefanic, Joël Moray, Fabrice Bouillenne, and Alain Brans. Interactions between avibactam and ceftazidime-hydrolyzing class D β -lactamases. *Biomolecules*, 2020, vol. 10, no. 3, 483. <https://doi.org/10.3390/biom10030483>
 20. Palacios, Antonela R., María F. Mojica, Estefanía Giannini, Magdalena A. Taracila, Christopher R. Bethel, Pedro M. Alzari, Lisandro H. Otero et al. The re-

- action mechanism of metallo- β -lactamases is tuned by the conformation of an active-site mobile loop. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2019, vol. 63, no. 1, e01754-18. <https://doi.org/10.1128/aac.01754-18>
21. Behzadi, Payam, Herney Andrés García-Perdomo, Tomasz M. Karpiński, and Lernik Issakhanian. Metallo- β -lactamases: a review. *Molecular Biology Reports*, 2020, vol. 47, no. 8, pp. 6281-6294. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05651-9>
 22. Park, Yoon Sik, Tae Yeong Kim, Hyunjae Park, Jung Hun Lee, Diem Quynh Nguyen, Myoung-Ki Hong, Sang Hee Lee, and Lin-Woo Kang. Structural Study of Metal Binding and Coordination in Ancient Metallo- β -Lactamase PNGM-1 Variants. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, vol. 21, no. 14, 4926. <https://doi.org/10.3390/ijms21144926>
 23. Bahr, Guillermo, Lisandro J. Gonzalez, and Alejandro J. Vila. Metallo- β -lactamases in the age of multidrug resistance: from structure and mechanism to evolution, dissemination, and inhibitor design. *Chemical Reviews*, 2021, vol. 121, no. 13, pp. 7957-8094. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00138>
 24. F Mojica, Maria, Robert A Bonomo, and Walter Fast. B1-metallo- β -lactamases: where do we stand? *Current drug targets*, 2016, vol. 17, no. 9, pp. 1029-1050. <https://doi.org/10.2174/1389450116666151001105622>
 25. Dortet, Laurent, Delphine Girlich, Anne-Laure Virlovet, Laurent Poirer, Patrice Nordmann, Bogdan I. Iorga, and Thierry Naas. Characterization of BRPMBL, the bleomycin resistance protein associated with the Carbapenemase NDM. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2017, vol. 61, no. 3, e02413-16. <https://dx.doi.org/10.1128/AAC.02413-16>
 26. Nii-Trebi, Nicholas Israel. Emerging and neglected infectious diseases: insights, advances, and challenges. *BioMed research international*, 2017, vol. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5245021>
 27. Chia, Clemente, and Jason McClure. Protective mechanisms of the body. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 2020, vol. 21, no. 3, pp. 154-156. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2019.12.005>
 28. Alotaibi, Fawzia. Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: an update narrative review from Saudi Arabia. *Journal of infection and public health*, 2019, vol. 12, no. 4, pp. 465-471. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2019.03.024>
 29. Igbalajobi, O. A., A. O. Oluyeye, A. C. Oladeji, and J. A. Babalola. Antibiotic resistance pattern of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from clinical samples in Ekiti State University teaching hospital, Ado-Ekiti, Ekiti State of Nigeria. *British Microbiology Research Journal*, 2016, vol. 12, no. 4, pp. 1-6. <https://doi.org/10.9734/BMRJ/2016/22515>

30. Hasan, Sarah Ahmed. Pseudomonas aeruginosa and the multifactorial antibiotic resistance. *Eurasian Medical Research Periodical*, 2022, vol. 11, pp. 85–94. <https://geniusjournals.org/index.php/emrp/article/view/2096>
31. Hasan, Sarah Ahmed, and Kasim Sakran Abass. Prevalence of Gram Negative Bacteria Isolated from Patients with Burn Infection and their Antimicrobial Susceptibility Patterns in Kirkuk City, Iraq. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 2019, vol. 10, no. 8, pp. 2197-2201.
32. Hasoon, N. A., and S. L. Hamed. Molecular characterization of carbapenemase-producing Gram-negative bacteria isolated from clinical specimens in Baghdad. *Iraq. J Pure Appl Microbiol* 2019, vol. 13, no. 2, pp. 1031-1040. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.2.41>
33. Samhan, Ahmed F., Nermeen M. Abdelhalim, and Ragab K. Elnaggar. Effects of interactive robot-enhanced hand rehabilitation in treatment of paediatric hand-burns: a randomized, controlled trial with 3-months follow-up. *Burns*, 2020, vol. 46, no. 6, pp. 1347-1355. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2020.01.015>
34. Pruitt, Basil A., Steven E. Wolf, and Arthur D. Mason. Epidemiological, demographic, and outcome characteristics of burn injury. *Total burn care*, 2012, vol. 4, pp. 15-45. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2786-9.00003-5>
35. Livimbi, O. M., and I. O. Komolafe. Epidemiology and bacterial colonization of burn injuries in Blantyre. *Malawi medical journal*, 2007, vol. 19, no. 1, pp. 25-27. <https://doi.org/10.4314/mmj.v19i1.10929>
36. Fuentes, Eduardo, Manuel Fuentes, Marcelo Alarcón, and Iván Palomo. Immune system dysfunction in the elderly. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2017, vol. 89, pp. 285-299. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720160487>
37. Falcone, Marco, and Giusy Tiseo. Skin and soft tissue infections in the elderly. *Current Opinion in Infectious Diseases*, 2023, vol. 36, no. 2, pp. 102-108. <https://doi.org/10.1097/QCO.0000000000000907>
38. Oyeboode, Olajumoke Arinola, Sandy Winfield Jere, and Nicolette Nadene Houreld. Current therapeutic modalities for the management of chronic diabetic wounds of the foot. *Journal of diabetes research*, 2023, vol. 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/1359537>
39. Dana, Ali N., and William A. Bauman. Bacteriology of pressure ulcers in individuals with spinal cord injury: What we know and what we should know. *The journal of spinal cord medicine*, 2015, vol. 38, no. 2, pp. 147-160. <https://doi.org/10.1179/2045772314Y.00000000234>
40. Lahlou, Yassine Ben, Abdelouahab Erraji, Elmostapha Benaissa, Mariama Chadli, Mostapha Elouennass. Isolation of Pasteurella pneumotropica in a Hand

- Phlegmon Following a Human Bite. *Cureus*, 2023, vol. 15, no. 12. <https://doi.org/10.7759/cureus.51408>
41. Mahrach, Y., N. Mourabit, A. Arakrak, M. Bakkali, and A. Laglaoui. Phenotypic and molecular study of carbapenemase-producing Enterobacteriaceae in a regional hospital in northern Morocco. *J Clin Med Sci.*, 2019, vol. 3, 113. <https://doi.org/10.35248/2593-9947.19.3.113>
 42. Suay-García, Beatriz, and María Teresa Pérez-Gracia. Present and future of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae infections. *Advances in clinical immunology, medical microbiology, COVID-19, and big data*, 2021, pp. 435-456.
 43. Haji, Sayran Hamad, Safaa Toma Hanna Aka, and Fattma A. Ali. Prevalence and characterisation of carbapenemase encoding genes in multidrug-resistant Gram-negative bacilli. *PLoS One*, 2021, vol. 16, no. 11, e0259005. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259005>
 44. Aurilio, Caterina, Pasquale Sansone, Manlio Barbarisi, Vincenzo Pota, Luca Gregorio Giaccari, Francesco Coppolino, Alfonso Barbarisi, Maria Beatrice Passavanti, and Maria Caterina Pace. Mechanisms of action of carbapenem resistance. *Antibiotics*, 2022, vol. 11, no. 3, 421. <https://doi.org/10.3390/antibiotics11030421>
 45. Kruse, Eva-Brigitta, Ute Aurbach, and Hilmar Wisplinghoff. Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: laboratory detection and infection control practices. *Current infectious disease reports*, 2013, vol. 15, no. 6, pp. 549-558. <https://doi.org/10.1007/s11908-013-0373-x>
 46. Al-Zahrani, Ibrahim A. Routine detection of carbapenem-resistant gram-negative bacilli in clinical laboratories: A review of current challenges. *Saudi medical journal*, 2018, vol. 39, no. 9, pp. 861-872. <https://doi.org/10.15537/smj.2018.9.22840>
 47. Zhang, Jingjia, Peiyao Jia, Ying Zhu, Ge Zhang, Yingchun Xu, and Qiwen Yang. Performance evaluation of BD phoenix NMIC-413 antimicrobial susceptibility testing panel for imipenem, meropenem, and ertapenem against clinical carbapenem-resistant and carbapenem-susceptible enterobacterales. *Frontiers in Medicine*, 2021, vol. 8, 643194. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.643194>
 48. Park, Byeol Yi, Demiana Mourad, Jun Sung Hong, Eun-Jeong Yoon, Dokyun Kim, Hyukmin Lee, and Seok Hoon Jeong. Performance evaluation of the newly developed BD phoenix NMIC-500 panel using clinical isolates of gram-negative bacilli. *Annals of laboratory medicine*, 2019, vol. 39, no. 5, 470. <https://doi.org/10.3343/alm.2019.39.5.470>
 49. Jonas, Daniel, Sandra Reuter, Sarah Klassen, Sabine Weber, Marion Buck, Tommaso Giani, Gian Maria Rossolini, and Hajo Grundmann. Evaluation of the BD

- Phoenix CPO detect panel for prediction of Ambler class carbapenemases. *Scientific Reports*, 2021, vol. 11, no. 1, 13150. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92336-3>
50. Elshamy, Ann A., and Khaled M. Aboshanab. A review on bacterial resistance to carbapenems: epidemiology, detection and treatment options. *Future science OA*, 2020, vol. 6, no. 3, FSO438. <https://doi.org/10.2144/fsoa-2019-0098>
51. Hasan, Sarah Ahmed, Ibrahim Saleh, and Hager Ali. Bacteriological and Molecular Detection of Staphylococcus Aureus and its Resistance to Methicillin among Specimens from Kirkuk Community. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 2021, vol. 25, no. 7, pp. 461-473. <http://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/view/9848>
52. Ahmed Hasan, S., and M. Mohammed Bakr. Bacteriological and molecular detection of Klebsiella oxytoca and its resistance to antibiotics among clinical specimens from Kirkuk, Iraq. *Archives of Razi Institute*, 2022, vol. 77, no. 5, pp. 1521-1525. <https://doi.org/10.22092/ari.2022.357753.2095>
53. Ahmed Hasan, S., Fakhraddin T Raheem, and H. Mohammed Abdulla. Phenotypic, antibiotyping, and molecular detection of Klebsiella pneumoniae isolates from clinical specimens in Kirkuk, Iraq. *Archives of Razi Institute*, 2021, vol. 76, no. 4, pp. 1061-1067. <https://doi.org/10.22092/ari.2021.355770.1721>
54. Hasan, Sarah Ahmed, Waad Mahmood Raoof, and Shwan kamal Rachid. A Systematic Review: The Current Status of Carbapenem Resistance In Iraq. *World Bulletin of Public Health*, 2022, vol. 13, pp. 88-94. <https://scholarexpress.net/index.php/wbph/article/view/1260/1137>
55. Berneking, Laura, Anna Both, Benjamin Berinson, Armin Hoffmann, Marc Lütgehetmann, Martin Aepfelbacher, and Holger Rohde. Performance of the BD Phoenix CPO detect assay for detection and classification of carbapenemase-producing organisms. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 2021, vol. 40, pp. 979-985. <https://doi.org/10.1007/s10096-020-04094-1>
56. Croxatto, A., A. T. Coste, T. Pillonel, C. Bertelli, G. Greub, and G. Prod'homme. Evaluation of the BD Phoenix™ CPO Detect Test for the detection of carbapenemase producers. *Clinical Microbiology and Infection*, 2020, vol. 26, no. 5, pp. 644.e9-644.e15. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2019.10.002>
57. Hombach, Michael, Barbara von Gunten, Claudio Castelberg, and Guido V. Bloemberg. Evaluation of the Rapidec Carba NP test for detection of carbapenemases in Enterobacteriaceae. *Journal of clinical microbiology*, 2015, vol. 53, no. 12, pp. 3828-3833. <https://doi.org/10.1128/JCM.02327-15>
58. Poirel, Laurent, and Patrice Nordmann. Rapidec Carba NP test for rapid detection of carbapenemase producers. *Journal of clinical microbiology*, 2015, vol. 53, no. 9, pp. 3003-3008. <https://doi.org/10.1128/JCM.00977-15>

59. Mancini, Stefano, Nicolas Kieffer, Laurent Poiriel, and Patrice Nordmann. Evaluation of the RAPIDEC® CARBA NP and β -CARBA® tests for rapid detection of Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae. *Diagnostic microbiology and infectious disease*, 2017, vol. 88, no. 4, pp. 293-297. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2017.05.006>
60. Bracco, Silvia, Roberta Migliavacca, Beatrice Pini, Nicoletta Corbo, Elisabetta Nucleo, Gioconda Brigante, Aurora Piazza, Piero Micheletti, and Francesco Luzzaro. Evaluation of Brilliance CRE agar for the detection of carbapenem-resistant Gram-negative bacteria. *New Microbiol*, 2013, vol. 36, no. 2, pp. 181-186. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=5f0d4768c7dbfaa31deeb2b67d242b690943acf6>
61. Kotsakis, Stathis D., Efthymia Petinaki, Emma Scopes, Eirini Siatravani, Vivi Miriagou, and Eva Tzelepi. Laboratory evaluation of Brilliance™ CRE Agar for screening carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: Performance on a collection of characterised clinical isolates from Greece. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 2013, vol. 1, no. 2, pp. 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2013.03.004>
62. Genç, Serpil, Fetiye Kolaylı, and Eda Yazıcı Özçelik. Molecular characterization of carbapenemase producing Klebsiella pneumoniae strains by multiplex PCR and PFGE methods: The first K. pneumoniae isolates co-producing OXA-48/KPC and KPC/NDM in Turkey. *Journal of Infection and Chemotherapy*, 2022, vol. 28, no. 2, pp. 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.jiac.2021.10.009>
63. Oueslati, Saoussen, Cécile Emeraud, Victor Gropserrin, Marc Levy, Garance Cotellon, Elodie Creton, Lauraine Gauthier, Rémy A. Bonnin, Thierry Naas, and Laurent Dortet. Polyclonal dissemination of NDM-1-and NDM-9-producing Escherichia coli and Klebsiella pneumoniae in French Polynesia. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 2021, vol. 65, no. 4, pp. 10-1128. <https://doi.org/10.1128/aac.02437-20>
64. Al-Abdely, Hail, Raed AlHababi, Hebah Mahmoud Dada, Hala Roushdy, Mishaal Mohammed Alanazi, Ali Abdullah Alessa, Niveen Mohamed Gad et al. Molecular characterization of carbapenem-resistant Enterobacterales in thirteen tertiary care hospitals in Saudi Arabia. *Annals of Saudi Medicine*, 2021, vol. 41, no. 2, pp. 63-70. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2021.63>
65. Şimşek, Merih, Cengiz Demir, and Esra Şeker. Investigation of New Delhi metallo-beta-lactamase-1 (bldm-1) gene in carbapenem-resistant Enterobacterales strains isolated from a university hospital in Turkey. *Medicine Science*, 2021, vol. 10, no. 2, pp. 571-576. <https://doi.org/10.5455/med-science.2021.04.110>

66. Amereh, Samira, Fatemeh Zeynali Kelishomi, Fatemeh Ghayaz, Amir Javadi, Amir Peymani, Fatemeh Fardsanei, Ehsan Aali, and Farhad Nikkhahi. Activity of meropenem-vaborbactam against different beta-lactamase producing *Klebsiella pneumoniae* and *Escherichia coli* isolates in Iran. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 2022, vol. 69, no. 3, pp. 201-208. <https://doi.org/10.1556/030.2022.01782>
67. Jalal Ahmed, Heshu, Ahmad H Ibrahim, Sawsan S Al-Rawi, Aryan R Ganjo, and Hataw Fryad Saber. Molecular Characterization of Carbapenem resistant *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* in Erbil, Iraq. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, 2023, vol. 30, no. 4, pp. 457-463. <https://doi.org/10.47750/jptcp.2023.30.04.044>
68. Raheem, Tara Fakhraddin, and Sarah Ahmed Hasan Ali. Prevalence and Multi-Drug Resistance Patterns of Uropathogenic *E. coli* isolated from Women Patients in Kirkuk city, Iraq. *Iranian Journal of Medical Microbiology*, 2022, vol. 16, no. 6, pp. 609-614. <http://dx.doi.org/10.30699/ijmm.16.6.609>

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sarah Ahmed Hasan, Microbiologist

University of Kirkuk

Al-Sayada Area, Kirkuk, 36013, Iraq

sarahahmed100@uokirkuk.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6163-2747>

Waad Mahmood Raoof, Professor of Medical Microbiology, President of Tikrit University

Tikrit University

Salahddin, Tikrit, 3400, Iraq

waad.mahmode@tu.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4936-2427>

Khaled Khalil Ahmed, Professor of Plant Genetics, Dean of Agriculture College

University of Kirkuk

Al-Sayada Area, Kirkuk, 36013, Iraq

Khalid_khalil@uokirkuk.edu.iq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1173-8348>

Поступила 29.04.2024

После рецензирования 15.05.2024

Принята 26.05.2024

Received 29.04.2024

Revised 15.05.2024

Accepted 26.05.2024

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-911

УДК 633.11



Научная статья

**ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ
ОСОБЕННОСТЕЙ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ
КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ
ОБЛАСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО
НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ***В.Л. Сапунков, А.В. Гузенко*

Обоснование. В условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья основной продовольственной культурой считается озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.). Она занимает порядка 2.0 млн. га посевных площадей Волгоградской области. В основном все фермеры нашей области высевают сорта проверенные временем и не обращают внимания на новые сорта, которые выводятся в данный момент селекционерами.

В статье представлены результаты испытаний новых сортов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), проводившихся в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области, на полях КФХ «Кирсанов С.М.» х. Жутово 1. Перечень испытываемых сортов сформирован исходя из высокого интереса фермеров Волгоградской области к сортам АНЦ «Донской» г. Черноград.

В ходе проведения испытаний проводимых с 2018 по 2021 годы нами были подобраны сорта наиболее подходящие к нашим условиям. Ими очень интересуются фермеры в качестве заменены старых сортов пшеницы на новые. За контроль был взят сорт Ермак.

Методы. Технология возделывания сортов озимой пшеницы в полевых опытах была по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур.

Результаты. Наибольшее влияние на урожайность испытываемых сортов оказала густота продуктивного стеблестоя. Лидерами по этому показателю были сорта Донская степь и Лидия – 358 шт./м². В среднем количество продуктивных стеблей находилось в интервале 312 – 358 шт./м². При этом масса 1000 семян менялась не значительно, от 34.6 до 36.0 г, в среднем, за период испытаний.

Лучшую урожайность показали сорта озимой пшеницы Донская Степь 3,31 т/га и Лидия 3,38 т/га.

Несмотря на отсутствие удобрений, и подкормок сорта Этюд и Донская Степь смогли продемонстрировать достаточно высокий уровень накопления белка в зерне на уровне 11,9 и 12,0 % соответственно.

Заключение. Как отмечалось выше, условия проводимого опыта не позволяли показать сортам озимой пшеницы высокие результаты по накоплению белка в зерне. Однако, жёсткий фон испытаний дал возможность объективно оценить потенциал сортов, их способность вне стимулирующих подкормок показывать хорошие результаты. Безусловными лидерами здесь были такие сорта как Донская Степь и Этюд. В среднем за три года они показали результат в 12,0 и 11,9 % соответственно. По совокупности показателей можно выделить такие сорта озимой пшеницы как Донская Степь, Лидия, Краса Дона, Этюд.

Ключевые слова: озимая пшеница; урожайность; сорта; продуктивные стебли; содержание белка

Для цитирования: Сапунков В.Л., Гузенко А. В., Влияние почвенно-климатических особенностей сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области на урожайность и качество новых сортов озимой пшеницы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 238-253. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-911

Original article

THE INFLUENCE OF SOIL AND CLIMATIC FEATURES OF THE DRY-STEPPE ZONE OF CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION ON THE YIELD AND QUALITY OF NEW VARIETIES OF WINTER WHEAT

V.L. Sapunkov, A.V. Guzenko

Background. In the conditions of the dry steppe zone of the Lower Volga region, winter soft wheat (*Triticum aestivum* L.) is considered the main food crop. It

occupies about 2.0 million hectares of acreage in the Volgograd region. Basically, all farmers in our region sow time-tested varieties and do not pay attention to new varieties that are currently being bred by breeders.

The article presents the results of tests of new varieties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.), conducted in the dry-steppe zone of chestnut soils of the Volgograd region, in the fields of the farm "Kirsanov S.M." H. Zhutovo 1. The list of tested varieties was formed based on the high interest of farmers of the Volgograd region to the varieties of ANC "Donskoy" Zernograd.

During the tests conducted from 2018 to 2021, we selected the varieties most suitable for our conditions. Farmers are very interested in them as they have replaced old wheat varieties with new ones. The Ermak variety was taken over.

Methods. The technology of cultivating winter wheat varieties in field experiments was according to B. A. Dospekhov and the methodology of the state variety testing of agricultural crops.

Results. The density of the productive stem had the greatest impact on the yield of the tested varieties. The leaders in this indicator were the varieties Don Steppe and Lydia – 358 pcs./m². On average, the number of productive stems was in the range 312-358 pcs./m². At the same time, the weight of 1000 seeds did not change significantly, from 34.6 to 36.0 g, on average, during the test period.

The best yields were shown by the varieties of winter wheat Don Steppe 3.31 t/ha and Lydia 3.38 t/ha.

Despite the lack of fertilizers and top dressing, the Etude and Don Steppe varieties were able to demonstrate a fairly high level of protein accumulation in grain at the level of 11.9 and 12.0%, respectively.

Conclusion. As noted above, the conditions of the experiment did not allow winter wheat varieties to show high results in the accumulation of protein in the grain. However, the harsh background of the tests made it possible to objectively assess the potential of the varieties, their ability to show good results outside of stimulating fertilizing. Such varieties as Don Steppe and Etude were the undisputed leaders here. On average, over three years, they showed a result of 12.0 and 11.9%, respectively. Thus, according to the totality of indicators, such varieties of winter wheat as the Don Steppe, Lydia, the Beauty of the Don, Etude can be distinguished.

Keywords: winter wheat; yield; varieties; productive stems; protein content

For citation: Sapunkov V.L., Guzenko A.V. The Influence of Soil and Climatic Features of the Dry-Steppe Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region on the Yield and Quality of New Varieties of Winter Wheat. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 238-253. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-911

Введение

Озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) в Волгоградской области, вследствие особенностей климата является основной культурой, занимающей около 2 млн. гектаров. В виду этого обстоятельства значительную часть дохода фермерские хозяйства получают, занимаясь её выращиванием [15; 16]. Однако росту урожайности и как следствие прибыли, мешает излишний консерватизм сельхозтоваропроизводителей. Он ярко проявляется именно в использовании сортов озимой пшеницы, введенных в реестр 15-20 лет назад. Однако эти сорта сейчас уже не могут конкурировать с новыми генотипами. В своей работе мы постарались выяснить насколько агрономически эффективны новые сорта на фоне апробированных [1; 3; 4; 5].

Выбор конкретных объектов исследований был обусловлен большой популярностью сортов, выведенных в аграрном научном центре «Донской». В общей сложности до 60 % площади посевов озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) заняты сортами этого селекционного центра в Волгоградской области.

Новые сорта, выведенные селекционерами требуют комплексного изучения и конкретики распределения возделывания в условиях почвенно – климатической зоны [7; 9; 10].

Увеличение урожайности в конкретных климатических условиях может решаться за счет увеличения разных элементов структуры урожая и их оптимального сочетания: числа продуктивных стеблей, длины колоса, числа колосков и зерен в колосе, массы 1000 зерен, массы зерна одного колоса и растения [3; 7; 8].

Повышая урожайность, наращивая валовые сборы зерна, мы не должны забывать, что реальная его ценность определяется не только массой. Зерно – продукт промежуточный, и от его качества, прежде всего от содержания уровня белков, зависят все достоинства продукта конечного – хлеба. Именно качество урожая определяет дальнейшее направление использования зерна [2].

Исходя из актуальности, была поставлена задача изучить сорта озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях сухостепной зоны Волгоградской области на каштановых почвах, с целью подбора сортов наиболее оптимальных для возделывания в данных условиях из изучаемых сортов, а также выделения наиболее адаптивных и продуктивных сортов [7; 10].

Обработка почвы является важнейшей производственной операцией в земледелии как по энергоемкости, так и по влиянию на урожай всех воз-

дельваемых культур. Она играет роль в повышении плодородия почвы и ее сохранности от водной и ветровой эрозии [17-21].

Цель исследования – проведения исследований был выбор сортов озимой пшеницы наиболее эффективно реагирующих на комплекс почвенно-климатических условий сухостепной зоны каштановых почв.

Научная новизна

Выяснить влияние условий выращивания на формирование элементов структуры урожая. Определить изменение урожайности и качества зерна исследуемых сортов вследствие воздействия на растения климатических и почвенных факторов зоны культивирования. В данной статье представлены результаты изучения реакции 10 сортов озимой пшеницы селекции Аграрного научного центра «Донской», которое проходило в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области в период с 2018 по 2021 гг.

Материалы и средства

Исследования проводились в Октябрьском районе Волгоградской области. Земельный участок и технику для проводимых работ предоставило КФХ «Кирсанов С.М.». х. Жутово 1.

Технология обработки почвы – глубокая, отвальная вспашка. Предшественник – чёрный пар. Срок посева был выбран оптимальный для данной зоны исследований – 10 сентября. Технология обработки почвы – глубокая, отвальная вспашка. Норма высева, рекомендованная для данной зоны – 4,0 млн. шт. семян на гектар. Посев проводился сеялкой «Омичка» с анкерными сошниками. Ширина деланки 12,6 м, длинна 300 м. Почва суглинистая, тяжёлого механического состава. Содержание гумуса – 1,8%, азота – низкое, фосфора – среднее, обменного калия – высокое. Сорт озимой пшеницы Ермак, использовался в качестве контроля.

Все учёты и наблюдения проводились согласно общепринятым методам: по Доспехову Б. А. и методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [7].

- Определение коэффициента кущения осуществлялся методом отбора образцов с последующим подсчетом, в 3 – кратной повторности;
- Определение у растений фазы «выход в трубку» осуществлялось визуально у выкопанных растений;
- Густота стояния растений определялась подсчетом растений при помощи рамки площадью 0,25 м², в 3 – кратной повторности.

Результаты и обсуждения

Значимым фактором, определяющим состояние растений озимой пшеницы в весенне-летний период, является развитие посевов осенью. В частности, густота стояния и количество побегов (таблица 1).

Таблица 1.

Густота стояния растений по всходам

№	Сорт	Густота стояния, млн. шт./га			Среднее за три года, млн. шт./га
		2018	2019	2020	
1	Ермак (к)	2,7	2,7	2,1	2,5
2	Краса Дона	2,9	2,8	2,4	2,7
3	Донская Степь	3,0	3,1	2,4	2,8
4	Этюд	2,8	2,9	2,4	2,7
5	Капитан	3,0	3,0	2,2	2,7
6	Лидия	3,0	2,9	2,3	2,7
7	Жаворонок	2,8	2,9	2,2	2,6
8	Аскет	2,7	2,8	2,1	2,5
9	Лилит	2,9	2,8	2,2	2,6
10	Донской Сюрприз	2,8	2,8	2,1	2,6
	Среднее	2,9	2,9	2,2	2,7
	НСР ₀₅	0,1	0,1	0,1	0,1

Выпавшие осадки и температура воздуха в осенний период в 2018; 2019 гг. создали благоприятный фон для сева. В результате густота стояния в фазу «полные всходы» находилась в интервале 2,7-3,1 млн. шт./га. В сентябре и октябре, за означенный период, количество осадков составило от 40 до 60 мм. Среднемесячная температура находилась в оптимальном интервале 16-18 °С. В результате полевая всхожесть была на уровне 68-78 % (таблица 2).

Таблица 2.

Полевая всхожесть

№	Сорт	Полевая всхожесть, %			Среднее за три года, %
		2018	2019	2020	
1	Ермак (к)	68	68	53	63
2	Краса Дона	73	70	60	68
3	Донская Степь	75	78	60	71
4	Этюд	70	73	60	68
5	Капитан	75	75	55	68
6	Лидия	75	73	58	68

7	Жаворонок	70	73	55	66
8	Аскет	68	70	53	63
9	Лилит	73	70	55	66
10	Донской Сюрприз	70	70	53	64
	Среднее	71,5	71,8	56,0	66,4
	НСР ₀₅	3,6	3,6	2,8	3,3

Однако осенью 2020 года ситуация значительно поменялась. В критические сроки, важные для формирования хорошего состояния посевов, а именно сентябрь – октябрь, выпало только 20 мм. Это более чем в два с половиной раза меньше среднееголетних показателей (55 мм). На фоне высокой температуры и низкой влажности воздуха полевая всхожесть уменьшилась до 53-60 %. Густота стояния составила 2,1-2,4 млн. шт./га.

В таких условиях, закономерно, индивидуальное развитие растений было слабым. В сложных погодных условиях 2020 года лишь 2,3-2,9 шт. на растение (таблица 3).

Таблица 3.

Количество побегов растений озимой пшеницы через 60 суток после сева

№	Сорт	Коэффициент кущения 2, шт./раст			Среднее за три года, шт./раст
		2018	2019	2020	
1	Ермак (к)	4,2	5,0	2,7	4,0
2	Краса Дона	4,6	5,4	2,8	4,3
3	Донская Степь	4,0	4,8	2,6	3,8
4	Этюд	3,9	4,4	2,5	3,6
5	Капитан	4,5	5,5	2,8	4,3
6	Лидия	4,6	5,7	2,9	4,4
7	Жаворонок	3,9	4,5	2,5	3,6
8	Аскет	3,5	3,3	2,3	3,0
9	Лилит	3,8	4,2	2,6	3,5
10	Донской Сюрприз	3,8	4,1	2,5	3,5
	Среднее	4,1	4,7	2,6	3,8
	НСР ₀₅	0,2	0,2	0,1	0,2

В благоприятные же для развития годы количество побегов на одно растение было 3,8-4,6 шт. в 2018 году и 3,3-5,7 шт. в 2019 году. Тем не менее, в целом, в течение трёх лет испытаний, растения достигали фазы кущения и находились в удовлетворительном состоянии перед периодом покоя.

Зимы 2018-2021 гг. отличались благоприятным для растений озимой пшеницы характером. Воздействие на посевы низких температур воздуха (менее -10 °C) было не более 3-5 дней в месяц. Ледяная корка не образовывалась. Снежный покров присутствовал на посевах эпизодически. В результате потери густоты стояния и количество побегов было минимальным.

Особенности формирования урожая озимой пшеницы в зоне исследования таковы, что ведущую роль в этом процессе играет густота продуктивного стеблестоя. Решающую роль в этом играет характер увлажнения посевов в апреле-мае. То есть в конце фазы «весеннее кущение» и начале выхода растений в трубку. В нашем случае. За этот период выпало около 80 мм осадков, что на 15-20 мм превысило среднегодовую норму. Такая ситуация позволила в полной мере реализовать потенциал кущения, заложенный в сорте.

Таблица 4.

Густота продуктивного стеблестоя, шт./м²

№	Сорт	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	344	318	278	313
2	Краса Дона	363	379	325	356
3	Донская Степь	398	367	307	358
4	Этюд	368	383	280	344
5	Капитан	388	396	282	355
6	Лидия	360	408	306	358
7	Жаворонок	375	360	277	337
8	Аскет	361	347	274	327
9	Лилит	381	331	265	326
10	Донской Сюрприз	373	295	267	312
	Среднее	371	358	286	339
	НСП ₀₅	19	18	14	17

В таблице 4 представлены наблюдения за изменением продуктивного стеблестоя в зависимости от реакции сорта и предшествующего периода осеннего кущения. Так, если весной 2019-2020 гг. среднее количество колосоносных побегов составляло 358-371 шт./м², то весной 2021 года, несмотря на благоприятные погодные условия, продуктивных стеблей, в среднем, было только 286 шт./м². Тем не менее, такие контрастные условия позволили выявить сорта с интенсивным кущением вне зависимости

от сопутствующей погоды. Это такие сорта как Краса Дона 356 шт./м²; Донская Степь и Лидия 358 шт./м² соответственно.

Другой важный показатель характеризующий реакцию сорта на особенности почвенно-климатических условий это масса 1000 зёрен.

Таблица 5.

Масса 100 семян, г

№	Сорт	Масса 1000 семян, г.			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	34,5	34,8	34,4	34,6
2	Краса Дона	35,4	35,9	35,4	35,6
3	Донская Степь	36,0	36,2	35,8	36,0
4	Этюд	35,7	35,8	34,9	35,5
5	Капитан	35,2	36,0	34,7	35,3
6	Лидия	35,8	36,4	35,8	36,0
7	Жаворонок	35,0	35,3	34,5	34,9
8	Аскет	34,9	35,0	34,8	34,9
9	Лилит	35,1	35,8	34,2	35,0
10	Донской Сюрприз	34,0	34,8	34,6	34,5
	Среднее	35,2	35,6	34,9	35,2
	НСР ₀₅	1,8	1,8	1,7	1,8

Из данных таблицы 5 мы видим, что этот показатель за период исследований изменялся в очень узком интервале. В 2019 году 34,5-36,0 г; в 2020 году 34,8-36,4 г; в 2021 году 34,4-35,8 г. Это связано в первую очередь с комплексом погодных факторов осеннего и весенне-летнего периода, повлиявших на формирование надземной биомассы.

Урожайность сортов, представленных в испытании, менялась в достаточно широких пределах. В 2019 году 3,10-3,66 т/га; в 2020 году 2,91-3,78 т/га; в 2021 году 2,31-2,81 т/га. Необходимо отметить, что значительное снижение урожайности в 2021 году связано с недостаточным развитием растений осенью 2020 года – низкой густотой стояния и слабым кущением.

Важное место в нашей работе занимал вопрос качества зерна изучаемых сортов. Наряду с высокой урожайностью большое значение имеет задача выбора сорта со стабильно высоким накоплением белка в зерне. Учитывая, что наши наблюдения проводятся на естественном фоне плодородия, данные полученные в процессе проведения испытания позволяют выбрать сорта, с более интенсивным обменом и накоплением азотистых веществ в зерне.

Таблица 6.

№	Сорта	Урожайность, т/га			
		2019	2020	2021	среднее
1	Ермак (к)	3,10	2,91	2,31	2,77
2	Краса Дона	3,40	3,51	2,79	3,23
3	Донская Степь	3,66	3,45	2,81	3,31
4	Этюд	3,34	3,59	2,48	3,14
5	Капитан	3,50	3,65	2,51	3,22
6	Лидия	3,40	3,86	2,88	3,38
7	Жаворонок	3,42	3,38	2,45	3,08
8	Аскет	3,22	3,25	2,34	2,94
9	Лилит	3,54	3,07	2,29	2,97
10	Донской Сюрприз	3,43	2,79	2,33	2,85
	Среднее	3,40	3,34	2,51	3,08
	НСР ₀₅	0,2	0,2	0,1	0,2

Таблица 7.

№	Сорта	Содержание белка в зерне			
		2019	2020	2021	среднее
1	Ермак (к)	10,1	10,7	11,1	10,6
2	Краса Дона	10,9	10,4	11,9	11,1
3	Донская Степь	11,6	11,6	12,7	12,0
4	Этюд	11,0	11,9	12,9	11,9
5	Капитан	10,3	10,7	12,1	11,0
6	Лидия	11,5	10,3	12,4	11,4
7	Жаворонок	11,4	11,1	11,8	11,4
8	Аскет	11,1	10,4	11,6	11,0
9	Лилит	10,5	10,4	11,3	10,7
10	Донской Сюрприз	11,5	11,7	11,7	11,6
	Среднее	11,0	10,9	12,0	11,3
	НСР ₀₅	0,5	0,5	0,6	0,6

Без использования макро и микроудобрений содержание белка в зерне было не высоким. В среднем, за годы испытаний оно находилось на уровне 10,9-12,0 %. Наилучшие результаты здесь показали такие сорта как Донская Степь 11,6 % и Лидия 11,5 % в 2019 году; Донской Сюрприз 11,7 % и Этюд 11,9 % в 2020 году; Донская Степь 12,7 % и Этюд 12,9 % в 2021 году.

Главная причина низких показателей содержания белка в зерне – это недостаток питательных веществ, особенно азота, что, не удивительно учитывая низкое содержание гумуса, отсутствие подкормок и достаточно интенсивное развитие посевов в следствие благоприятных условий. Однако и в этом случае мы отмечаем сорта, проходившие испытания, которые благодаря интенсивному обмену веществ способны к накоплению большего количества белка при прочих равных условиях.

Заключение

Существенно различная погода осеннего периода вегетации озимой пшеницы позволили выявить сорта способные формировать хорошую густоту стояния и габитус растений в этих условиях. В 2018 году такие сорта как Донская Степь, Лидия, Капитан показали полевую всхожесть на уровне 75 %, и густоту стояния 3,0 млн. шт./га. В 2019 году сорта Капитан и Донская Степь при полевой всхожести 75-78 % имели густоту стояния 3,0-3,1 млн. шт./га. В сложном, по погодным условиям 2020 году количество взшедших растений заметно уменьшилось. Здесь лучшие результаты показали сорта Краса Дона, Донская Степь, Этюд. При полевой всхожести 60 % сформировали густоту стояния 2.4 млн. шт./га.

Индивидуальное развитие растений в осенний период имеет большое значение для периода весенне-летней вегетации озимой пшеницы. По этому показателю, за весь период исследований, можно отметить такие сорта как Краса Дона и Капитан 4,3, а также сорт Лидия 4,4 побега на растение, соответственно.

Исходя из результатов наблюдений, представленных в нашей статье, необходимо отметить, что наибольшее влияние на урожай испытываемых сортов озимой пшеницы оказала густота продуктивного стеблестоя. Так у сорта Донская Степь при 358 шт. колосоносных стеблей на 1 м² урожайность составила 3,31 т/га. У сорта Лидия при таких же показателях густоты продуктивного стеблестоя урожайность была 3,38 т/га. В то же время сорт озимой пшеницы Ермак при густоте продуктивного стеблестоя 313 шт./м² показал урожайность 2,77 т/га, в среднем за время проведения испытаний. Причём различия в массе 1000 зёрен этих сортов были статистически не достоверные.

Как отмечалось выше, условия проводимого опыта не позволяли показать сортам озимой пшеницы высокие результаты по накоплению белка в зерне. Однако, жёсткий фон испытаний дал возможность объективно оценить потенциал сортов, их способность вне стимулирующих подкормок показывать хорошие результаты. Безусловными лидерами здесь были такие сорта как Донская Степь и Этюд. В среднем за три года они показали

результат в 12,0 и 11,9 % соответственно. Таким образом, по совокупности показателей можно выделить такие сорта озимой пшеницы как Донская Степь, Лидия, Краса Дона, Этюд.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках № ГЗ 122020100448-6 «Создание новых конкурентноспособных форм, сортов и гибридов культурных, древесных и кустарниковых растений с высокими показателями продуктивности, качества и повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды, новые инновационные технологии в семеноводстве и питомниководстве с учетом сортовых особенностей и почвенно-климатических условий аридных территорий Российской Федерации».

Список литературы

1. Гузенко А.В. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и качество сортов озимой пшеницы // Агрохимический вестник. 2021. № 3. С. 78-84. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-016>
2. Гузенко А.Ю., Солонкин А.В., Беляев А.И., Семинченко Е.В. Зависимость урожайности озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) от почвенно-климатических условий и различных обработок почвы в зоне светло-каштановых почв Волго-Донского междуречья Южного федерального округа Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 2. С. 92-124. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124>
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для выс. с.-х. уч. заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Долгополова Н. В. Влияние стимуляторов роста на развитие и продуктивность озимой пшеницы / Н. В. Долгополова, А. А. Бабаскина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 34-41.
5. Иванов В.М. Производство продукции растениеводства: курс лекций / В.М. Иванов, Н.И. Тихонов. Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. 277 с.
6. Камбулов С.И., Ксенз А.Я., Колесник В.В., Дёмина Е.Б. Показатели эффективности микроудобрений при использовании усовершенствованной технологии листовой подкормки // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 2 (12). С. 117–121.
7. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кор-

- новые культуры. М.: из-во Калининская областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Калининского облисполкома, 1989. 194 с.
8. Матюшенко Л.В., Калюшина З.М., Лихачев Б.С. Методика определения силы роста семян. М.: МСХ СССР, Государственная семенная инспекция, 1983.
 9. Набойченко К.В., Молчанов В.Н., Малахова А.А. Сорта озимой пшеницы Волгоградской селекции в засушливых условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3(31). С. 95-98.
 10. Сапунков В.Л. Экологическое испытание сортов озимой пшеницы «АНЦ «Донской» в зоне тёмно-каштановых почв Волгоградской области / В. Л. Сапунков, А. В. Солонкин, А. В. Гузенко // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 88-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94>
 11. Семинченко Е.В. Влияние способ обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья // Агрохимия. 2021. No12. С. 75-81. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120139>
 12. Ступин А.С. Основы семеноведения. СПб.: Лань, 2014. 384 с.
 13. Филин В.И. Озимая пшеница в Нижнем Поволжье: монография / В.И. Филин, А.М. Беляков; ВИПККА. Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2006. 258 с.
 14. Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. Влияние системы обработки на содержание продуктивной влаги в почве в Северной лесостепи Кузнецкой котловины // МНИЖ. 2022. № 3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
 15. Araki H., Hossain Md. A., Takahashi T. Waterlogging and hypoxia have permanent effects on wheat root growth and respiration // Journal of Agronomy and Crop Science. 2012. Vol. 198 (4). P. 264-275. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00510.x>
 16. Asseng S., Martre P., Maiorano A., Rötter R.P., O’Leary G.J., Fitzgerald G.J., Girousse C., Motzo R., Giunta F.B., Babar M.A. et al. Climate change impact and adaptation for wheat protein // Glob. Chang. Biol. 2019. Vol. 25(1). P. 155-173. <https://doi.org/10.1111/gcb.14481>
 17. Brock C., Oberholzer H.-R., Franko U. Soil organic matter balance as a practical tool for environmental impact assessment and management support in arable farming // Eur. J. Soil Sci. 2017. Vol. 68 (6). P. 951-952. <https://doi.org/10.1111/ejss.12495>
 18. Byamukama E., Ali S., Kleinjan J. et al. Winter wheat grain yield response to fungicide application is influenced by cultivar and rainfall // Plant Pathol. J. 2019. Vol. 35(1). P. 63-70. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056>
 19. Dybziński R., Fargione JE, Zak DR, Fornara D, Tilman D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment

- // Oecologia. 2008. Vol. 158(1). P. 85-93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x>
20. Gaweda D., Haliniarz M. Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System // Agriculture. 2021. Vol. 11(2). P. 133. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020133>
21. Hannusch H.J., Rogers W.E., Lodge A.G., Starns H.D., Tolleson D.R. Semi-arid savanna herbaceous production and diversity responses to interactive effects of drought, nitrogen deposition, and fire // Journal of Vegetation Science. 2020. Vol. 31(2). P. 255-265. <https://doi.org/10.1111/jvs.12848>

References

1. Guzenko A.V. Influence of macro- and microfertilizers on yield and quality of winter wheat varieties. *Agrochemical Bulletin*, 2021, no. 3, pp. 78-84. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2021-3-016>
2. Guzenko A.Yu., Solonkin A.V., Belyaev A.I., Seminchenko E.V. Dependence of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield on soil-climatic conditions and different soil treatments in the zone of light-chestnut soils of the Volga-Don interfluvium of the Southern Federal District of the Russian Federation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 92-124. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-92-124>
3. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural schools*. Moscow: Alliance, 2014, 351 p.
4. Dolgoplova N. V. Effect of growth stimulants on the development and productivity of winter wheat / N. V. Dolgoplova, A. A. Babaskina. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*, 2022, no. 1, pp. 34-41.
5. Ivanov V.M. *Production of crop production: a course of lectures* / V.M. Ivanov, N.I. Tikhonov. Volgograd: Volgograd GAU, 2017, 277 p.
6. Kambulov S.I., Ksenz A.Y., Kolesnik V.V., Demina E.B. Indicators of micro-fertilizer efficiency when using the improved technology of leaf fertilization. *Innovations in Agriculture*, 2015, no. 2 (12), pp. 117-121.
7. *Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue two: cereals, cereals, legumes, corn and forage crops*. M., 1989, 194 p.
8. Matyushenko L.V., Kalyushina Z.M., Likhachev B.S. *Methods of determination of seed growth force*. Moscow: Ministry of Agriculture of the USSR, State Seed Inspection, 1983.
9. Naboychenko K.V., Molchanov V.N., Malakhova A.A. Winter wheat varieties of Volgograd selection in arid conditions of the Lower Volga region. *Izvestiya*

- Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2013, no. 3(31), pp. 95-98.
10. Sapunkov V.L. Ecological testing of winter wheat varieties "ANC 'Donskoy' in the zone of dark chestnut soils of Volgograd region / V.L. Sapunkov, A.V. Solonkin, A.V. Guzenko. *Grain Farming of Russia*, 2021, no. 6(78), pp. 88-94. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-88-94>
 11. Seminchenko E.V. Influence of soil tillage method on its water-physical properties in the conditions of the dry-steppe zone of the Lower Volga region. *Agrochemistry*, 2021, no. 12, pp. 75-81. <https://doi.org/10.31857/S0002188121120139>
 12. Stupin A.S. *Fundamentals of seed science*. SPb.: Lan, 2014, 384 p.
 13. Filin V.I. *Winter wheat in the Lower Volga region: monograph* / V.I. Filin, A.M. Belyakov; VIPKKA. Volgograd: Izd-VolGU, 2006, 258 p.
 14. Yamshchikov, M.A.; Pakul, V.N. Influence of tillage system on the productive moisture content in the soil in the Northern forest-steppe of the Kuznetsk Basin. *MNIJ*, 2022, no. 3 (117). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.117.3.048>
 15. Araki H., Hossain Md. A., Takahashi T. Waterlogging and hypoxia have permanent effects on wheat root growth and respiration. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2012, vol. 198 (4), pp. 264-275. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2012.00510.x>
 16. Asseng S., Martre P., Maiorano A., Rötter R.P., O'Leary G.J., Fitzgerald G.J., Girousse C., Motzo R., Giunta F.B., Babar M.A. et al. Climate change impact and adaptation for wheat protein. *Glob. Chang. Biol.*, 2019, vol. 25(1), pp. 155-173. <https://doi.org/10.1111/gcb.14481>
 17. Brock C., Oberholzer H.-R., Franko U. Soil organic matter balance as a practical tool for environmental impact assessment and management support in arable farming. *Eur. J. Soil Sci.*, 2017, vol. 68 (6), pp. 951-952. <https://doi.org/10.1111/ejss.12495>
 18. Byamukama E., Ali S., Kleinjan J. et al. Winter wheat grain yield response to fungicide application is influenced by cultivar and rainfall. *Plant Pathol. J.*, 2019, vol. 35(1), pp. 63-70. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2018.0056>
 19. Dybzinski R., Fargione JE, Zak DR, Fornara D, Tilman D. Soil fertility increases with plant species diversity in a long-term biodiversity experiment. *Oecologia*. 2008. Vol. 158(1). P. 85-93. <https://doi.org/10.1007/s00442-008-1123-x>
 20. Gaweda D., Haliniarz M. Grain Yield and Quality of Winter Wheat Depending on Previous Crop and Tillage System. *Agriculture*, 2021, vol. 11(2), pp. 133. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020133>
 21. Hannusch H.J., Rogers W.E., Lodge A.G., Starns H.D., Tolleson D.R. Semi-arid savanna herbaceous production and diversity responses to interactive effects of

drought, nitrogen deposition, and fire. *Journal of Vegetation Science*, 2020, vol. 31(2), pp. 255-265. <https://doi.org/10.1111/jvs.12848>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Сапунков Виталий Леонидович, к.с.-х.н., старший научный сотрудник
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелио-
раций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
svl-01@mail.ru*

Гузенко Андрей Викторович, аспирант, младший научный сотрудник
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелио-
раций и защитного лесоразведения Российской академии наук»
пр-т Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Феде-
рация
guzenko-av@vfanc.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Vitaly L. Sapunkov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher
*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and
Protective Afforestation RAS
97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation
svl-01@mail.ru
SPIN-code: 7726-0004
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2425-2611>*

Andrey V. Guzenko, Postgraduate Student, Junior Researcher
*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and
Protective Afforestation RAS
97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation
guzenko-av@vfanc.ru
SPIN-code: 2372-5743
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>*

Поступила 11.01.2024

После рецензирования 19.02.2024

Принята 26.02.2024

Received 11.01.2024

Revised 19.02.2024

Accepted 26.02.2024

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865

УДК 633.88:631.527.7



Научная статья

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ С *POLEMONIUM CAERULEUM* L.*Ф.М. Хазиева, И.Н. Коротких, И.В. Басалаева, Т.Е. Саматадзе*

Обоснование. Методы искусственной полиплоидизации недостаточно используются в лекарственном растениеводстве. Использование колхицина вызывает явные морфологические изменения у полученных полиплоидов *P. caeruleum* и изменения показателей продуктивности сырья и семян. Исследование проводилось в НИИ ВИЛАР, Московский регион.

Цель. На основании сравнительных биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков диплоидных и тетраплоидных форм лекарственного растения синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) провести идентификацию и оценку полученных полиплоидных форм как исходного материала в селекционной работе.

Материалы и методы. Впервые полиплоидные растения *P. caeruleum* получены в 2019 году. В 2021-2022 гг. (на 2-й и 3-й год вегетации) в поколении С2, были изучены биолого-морфологические и хозяйственно-ценные признаки колхицин индуцированных тетраплоидных растений. Контроль (исходная форма) – культивируемый сорт «Лазурь».

Результаты. Впервые дана оценка хозяйственно-биологических и морфологических показателей исходного материала лекарственной культуры синюхи голубой, полученного на основе колхицин-индуцированных тетраплоидных растений. Хозяйственно-биологические показатели исходного материала выше, чем в контроле: по урожайности сырья (корневища с корнями) - на 21-52 % и по урожайности семян - на 44-53 %. По содержанию суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин тетраплоидные растения соответствовали требованиям фармакопейной статьи (не менее 10 %). Наиболее высокое содержание биологически активных веществ превышало контроль на 14-15 %.

Получены также биометрические и описательные данные по высоте, размеру и форме соцветий и листьев, толщине стебля, окраске частей растения, в том числе по выраженности антоцианового окрашивания. Эти отличительные морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительной оценки предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum*. Тетраплоидные растения имеют многочисленные побеги с антоцианово-окрашенным стеблем большей толщины, чем у контрольных растений. Изучение морфологических признаков показало, что колхицин-индуцированные растения низкорослые – до 86 % ниже контрольных растений. Соцветия также меньше размером, но более плотные и разветвленные, чем в контроле. Листья у тетраплоидов крупнее, имеют темно-зеленую окраску листовой пластинки. Превышение над контролем по длине стеблевых листьев составляло 12-32 %, по ширине листьев – 7-25 %. Семян формировалось меньше, но они были крупнее. Масса 1000 семян увеличилась на 5,5 % по сравнению с контролем.

Заключение. В результате исследований по комплексу биоморфологических и хозяйственно-биологических признаков выделены перспективные номера синюхи голубой для дальнейшей селекционной работы. Результаты исследования актуальны для создания новых высокопродуктивных сортов лекарственной культуры синюхи голубой.

Ключевые слова: синюха голубая; лекарственные растения; биоморфологические признаки; урожайность сырья и семян; содержание тритерпеноидов; колхицин-индуцированные растения; селекция

Для цитирования. Хазиева Ф.М., Коротких И.Н., Басалаева И.В., Саматадзе Т.Е. Некоторые аспекты селекционной работы с *Polemonium caeruleum* L. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 254-273. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865

Original article

SOME ASPECTS OF BREEDING WITH *POLEMONIUM CAERULEUM* L.

F.M. Khazieva, I.N. Korotkikh, I.V. Basalaeva, T.E. Samatadze

Background. Methods of artificial polyploidization are not used enough in medicinal crop production. The use of colchicine causes obvious morphological changes in the obtained *P. caeruleum* polyploids and changes in the productivity of

raw materials and seeds. The research was conducted at the All-Russian Scientific Research Institute of Medicinal Plants, Moscow region.

Purpose. Based on comparative biological, morphological and economically valuable features of diploid and tetraploid forms of the medicinal plant *Polemonium caeruleum* L. to identify and evaluate the obtained polyploid forms as a initial material in breeding.

Materials and methods. Polyploid plants of *P. caeruleum* were obtained for the first time in 2019 [6, 14]. In 2021-2022 (in the 2nd and 3rd year of vegetation) in generation C2, the biological, morphological and economically valuable signs of colchicine-induced tetraploid plants were studied. The control (initial form) is the cultivated variety "Lazur".

Results. For the first time, an assessment of the economic, biological and morphological parameters of the initial material of the medicinal culture of *P. caeruleum* obtained on the basis of colchicine-induced tetraploid plants is given. The economic and biological indicators of the initial material are higher than in the control: in terms of the yield of raw materials (rhizomes with roots) - by 21-52% and in terms of seed yield - by 44-53%. In terms of the amount of triterpene saponins in terms of β -escin, tetraploid plants met the requirements of the pharmacopoeia article (at least 10 %). The highest content of biologically active substances exceeded the control by 14-15 %.

Biometric and descriptive data were also obtained on the height, size and shape of inflorescences and leaves, stem thickness, color of plant parts, including the severity of anthocyanin staining. These distinctive morphological characteristics are easily identified and can be used for a preliminary assessment of the putative polyploid forms of *P. caeruleum*. Tetraploid plants have numerous shoots with anthocyanin-colored stems of greater thickness than those of control plants. The study of morphological features showed that colchicine-induced plants are stunted – up to 86% lower than control plants. The inflorescences are also smaller in size, but more dense and branched than in the control. The leaves of tetraploids are larger, have a dark green color of the leaf blade. The excess over the control in the length of the stem leaves was 12-32 %, in the width of the leaves – 7-25 %. Fewer seeds were formed, but they were larger. The weight of 1000 seeds increased by 5.5 % compared to the control.

Conclusion. As a result of research on a complex of biomorphological and economic and biological signs, promising numbers of *P. caeruleum* have been identified for further breeding work. The results of the study are relevant for the creation of new highly productive varieties of the *P. caeruleum* medicinal culture.

Keywords: *P. caeruleum*; medicinal plants; biomorphic signs; yield of raw materials and seeds; triterpenoid content; colchicine-induced plants; breeding

For citation. Khazieva F.M., Korotkikh I.N., Basalaeva I.V., Samatadze T.E. Some Aspects of Breeding with *Polemonium caeruleum* L. Siberian Journal of Life

Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 254-273. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-865

Введение

Синюха голубая (*Polemonium caeruleum* L.) – многолетнее травянистое растение рода *Polemonium*, семейства Синюховые (*Polemoniaceae*). В России сырье синюхи, корневища с корнями синюхи – (*Polemonii caerulei rhizomata cum radicibus*), включено в Государственную фармакопею в качестве отхаркивающего средства [3].

Большинство литературных источников отмечают седативное, ранозаживляющее, адаптогенное, противоопухолевое, кровоостанавливающее, противовоспалительное и антибактериальное действие препаратов синюхи голубой [5; 7]. В селекционной работе широко используются полиплоиды. Полиплоидная селекция является эффективным методом по сравнению с мутационной селекцией и обычным скрещиванием благодаря простоте обработки в течение короткого промежутка времени [22; 28]. В отличие от мутационной селекции, которая включает мутацию гена, искусственная полиплоидизация вызывает изменение всего генома, что приводит к большим фенотипическим вариациям [12; 29]. Наиболее распространенным веществом, приводящим к появлению полиплоидных форм растений, является колхицин ($C_{22}H_{25}NO_6$) – алкалоид растительного происхождения, первоначально извлеченный из *Colchicum autumnale* L. (крокус осенний, безвременник осенний, шафран луговой).

Известно, что наряду с увеличением размеров различных вегетативных и репродуктивных частей у тетраплоидных растений, полученных методом колхицинирования, может наблюдаться стерильность, задержка цветения, увеличение диаметра цветка и различная деформация цветков, иногда повышается холодостойкость [11; 23]. Кроме полиплоидизации всего растения, в ряде случаев представляют интерес его отдельные полиплоидные ткани и органы, например, корни [13]. В настоящее время колхицинированием получены тетраплоидные растения некоторых видов растений: пижмы девичьей (*Tanacetum parthenium* L.), полыни однолетней (*Artemisia annua* L.), змееголовника (*Dracocephalum moldavica* L.; *Dracocephalum kotschy* Boiss.) и др. [8, 34, 24, 33]. Однако, несмотря на значительные исследования по искусственной полиплоидии растений, очень мало исследований по получению полиплоидов в лекарственном растениеводстве [10; 16].

В связи с этим **цель** нашей работы – на основании сравнительных биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков провести

оценку полученных полиплоидных форм *P. caeruleum* с перспективой их использования в качестве исходного материала для дальнейшей селекционной работы. Исследования проводятся с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Материалы и методы

Исследования проводились в течение 2018-2022 гг. в лабораторных условиях, в тепличном комплексе, на опытном участке лаборатории агробиологии ФГБНУ ВИЛАР. Почва опытного поля дерново-подзолистая средне-суглинистая, имеет следующие агрохимические показатели: гумус (по Тюрину) – 2,23 %, массовая доля азота нитратов – <2,80 млн-1, массовая доля соединений фосфора (по Кирсанову) P_2O_5 – 386,28 мг/кг, K_2O – 87,7 мг/кг (по Масловой), сумма поглощенных оснований (по Каппену) – 6,3 ммоль/100 г, pH солевой – 5,15 [4].

Впервые полиплоидные формы растений синюхи голубой были получены в 2019 году по методике, описанной в работе [6; 14].

В первый год (2018 год) растения закончили вегетацию в стадии розетки. На втором году жизни (2019 год) растения проходят полный цикл развития – от отрастания до образования семян – поколение колхичин индуцированных растений C_1 [1]. Индивидуальным растениям были присвоены номера по расположению на делянке и номеру растения: 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6 (первый ряд); 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 (второй ряд).

В 2020 году в поколении C_2 продолжили изучение влияния колхичина на морфологию и продуктивность растений. Посев семян синюхи был проведен в первой декаде мая, глубина заделки семян 2-3 см. Ширина междурядий 60 см. Предшественник – черный пар. Площадь опытной делянки 7,2 м², повторность трехкратная, размещение делянок рендомизированное. Вегетация растений синюхи завершилась в стадии розетки листьев.

В 2021-2022 гг. (на 2-й и 3-й год вегетации) в поколении C_2 для изучения биолого-морфологических и хозяйственно-ценных признаков на каждой делянке были выделены по 5 учетных площадок по 1 м погонному, на которых измеряли высоту и число генеративных побегов, толщину стебля, длину и ширину листа. Биометрические измерения проводились в фазу массового цветения, начиная со 2-го года жизни растений. Для определения продуктивности сырья корни растений с учетной площадки выкапывали в конце вегетации (3-4 декада сентября), промывали проточной водой, взвешивали свежую массу. После высушивания при температуре 40 °C в течение 72 ч определяли сухую массу сырья. Семена собирали в I декаде июля.

Количественное определение суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин в сырье определяли в Центре химии и фармацевтической технологии ФГБНУ ВИЛАР согласно ФС.2.5.0039.15. Для статистической интерпретации экспериментальных данных использовались стандартные функции Microsoft Excel.

Результаты

Впервые дана оценка хозяйственно-биологических и морфологических показателей исходного материала лекарственной культуры синюхи голубой, полученного на основе колхицин-индуцированных тетраплоидных растений.

На ранних этапах исследования (C_1) воздействия колхицина в поколении C_1 было выявлено, что растения имеют меньшее количество листьев и меньшую высоту по сравнению с контролем. В ранее опубликованных работах нами было показано, что тетраплоидные растения значительно отличаются от диплоидных по морфологическим признакам и по многообразию окраски и формы соцветий. Тетраплоидные растения оказались низкорослые, характеризовались большим количеством побегов с антоцианово-окрашенным стеблем большей толщины, чем у контрольных растений. Листья у тетраплоидов были крупнее, имели темно-зеленую окраску листовой пластинки [14].

Биометрические показатели растений синюхи второго и третьего года вегетации поколения (C_2) приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Влияние колхицина на биометрические показатели растений *P. caeruleum* L. (2021-2022 гг.)

Варианты опыта	Высота растения, см	Длина соцветия, см	Длина листа, см	Ширина листа, см
Контроль	110,8 $\pm$ 4,02	25,6 $\pm$ 1,65	15,2 $\pm$ 0,80	6,90 $\pm$ 0,221
№ 1.1	101,3 $\pm$ 3,88	26,5 $\pm$ 1,88	15,9 $\pm$ 0,86	6,15 $\pm$ 0,259
№ 1.2	103,9 $\pm$ 1,33	16,5 $\pm$ 1,91	15,1 $\pm$ 0,52	6,85 $\pm$ 0,183
№ 1.3	94,6 $\pm$ 1,65	12,2 $\pm$ 0,95	14,4 $\pm$ 0,29	6,50 $\pm$ 0,309
№ 1.5	106,5 $\pm$ 1,65	22,4 $\pm$ 1,68	17,0 $\pm$ 0,60	7,40 $\pm$ 0,417
№ 1.6	98,9 $\pm$ 1,236	26,9 $\pm$ 2,08	12,2 $\pm$ 0,60	6,43 $\pm$ 0,233
№ 2.1	98,5 $\pm$ 2,80	12,5 $\pm$ 1,01	11,9 $\pm$ 0,35	5,31 $\pm$ 0,366
№ 2.2	109,3 $\pm$ 2,43	15,4 $\pm$ 1,31	20,0 $\pm$ 2,21	8,33 $\pm$ 0,249
№ 2.3	109,2 $\pm$ 3,69	12,1 $\pm$ 0,98	14,2 $\pm$ 0,39	6,67 $\pm$ 0,155
№ 2.4	94,9 $\pm$ 1,32	9,0 $\pm$ 0,59	11,6 $\pm$ 0,52	5,55 $\pm$ 0,217
№ 2.5	103,3 $\pm$ 0,97	25,4 $\pm$ 1,55	18,3 $\pm$ 0,88	8,65 $\pm$ 0,460

Высота растений в потомствах индивидуальных колхицин индуцированных растений уступает контролю в разной степени. Наибольшее снижение высоты наблюдается в вариантах 1.3 и 2.4 (85 и 86 % от контроля, соответственно). Большинство соцветий у растений, полученных после обработки колхицином, меньшей длины, но плотнее и ветвистее, чем в контроле, исключение составляют номера 1.1, 1.6 и 2.5. Длина и ширина стеблевых листьев также больше: длина листа по вариантам 1.1, 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 5, 12, 32 и 20 %, соответственно, ширина листа в вариантах 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 7, 21 и 25 %, соответственно (табл. 1, рис. 1).

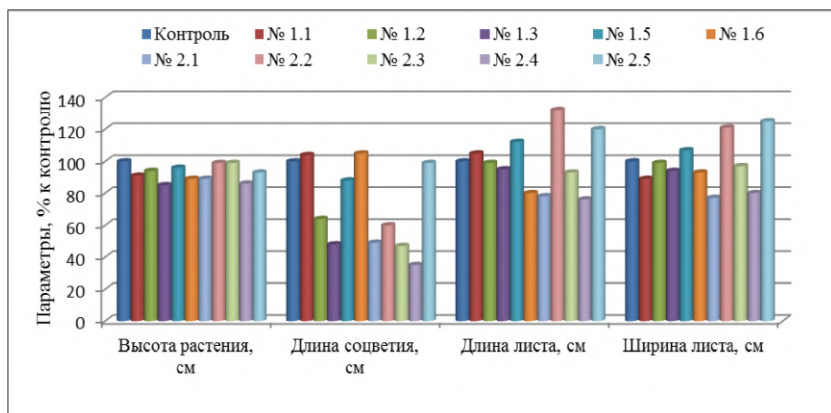


Рис. 1. Биометрические показатели колхицин-индуцированных растений по отношению к контролю, %

Использование колхицина вызывает явные морфологические изменения у полученных полиплоидов *P. caeruleum*. Эти отличительные морфологические характеристики легко идентифицируются и могут быть использованы для предварительной оценки предполагаемых полиплоидных форм *P. caeruleum* (рис. 2).

Урожайность сырья (воздушно-сухая масса корневищ с корнями) двулетних и трехлетних растений сильно варьирует по вариантам опыта: в контрольном варианте она составляет до 1,58 т в пересчете на гектар, в пределах опыта составляет от 1,19 до 2,40 т/га. Наиболее перспективными по этому показателю оказались номера 1.5, 1.6 и 2.5, превышение над контролем у данных вариантов опыта составило 52, 21 и 41 %, соответственно (табл. 2, рис. 3).

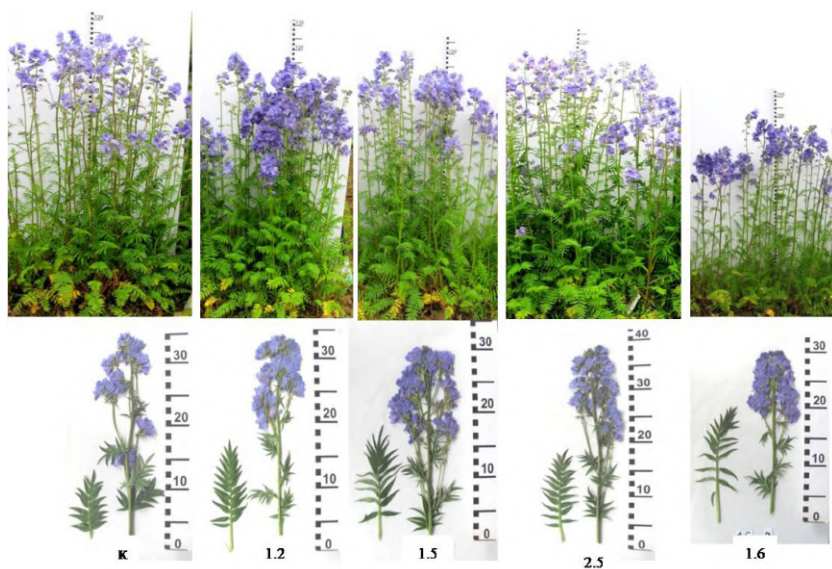


Рис. 2. Растения *P. caeruleum* в фазе цветения 3 года вегетации в поколении C_2

Таблица 2.

Влияние колхицина на биопродуктивность *P. caeruleum* L.
(средние данные за 2021-2022 гг.)

Варианты опыта	Урожайность корней, т/га	Сумма тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин	Урожайность семян, т/га	Масса 1000 шт. семян, г
Контроль	1,58	18,7 $\pm$ 0,93	0,591	1,11 $\pm$ 0,009
1.1	1,19	19,9 $\pm$ 0,99	0,522	1,03 $\pm$ 0,008
1.2	1,53	23,1 $\pm$ 1,16	0,904	1,29 $\pm$ 0,015
1.3	1,60	18,8 $\pm$ 1,19	0,423	1,17 $\pm$ 0,007
1.5	2,40	23,4 $\pm$ 0,92	0,851	1,30 $\pm$ 0,017
1.6	1,92	18,5 $\pm$ 0,92	0,511	1,26 $\pm$ 0,010
2.1	0,94	18,4 $\pm$ 0,90	0,378	0,80 $\pm$ 0,015
2.2	1,27	15,4 $\pm$ 0,77	0,859	1,52 $\pm$ 0,004
2.3	1,34	15,8 $\pm$ 0,79	0,623	1,15 $\pm$ 0,006
2.4	0,98	16,7 $\pm$ 0,66	0,335	1,34 $\pm$ 0,003
2.5	2,22	16,4 $\pm$ 0,82	0,655	1,49 $\pm$ 0,002
НСР ₀₅	0,158		0,058	

Содержание биологически активных веществ (БАВ) в сырье во всех вариантах соответствовали ФС.2.5.0039.15 «Синюхи голубой корневища с корнями», согласно которой сумма тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -эсцин должно быть не менее 10 %.

Наиболее высокое содержание БАВ наблюдалось у вариантов 1.2, 1.5, остальные были в пределах ошибки опыта или уступали контролю. Наиболее низкое значение сапонинов наблюдается у номеров 2.2 и 2.3. (табл. 2, рис. 3).

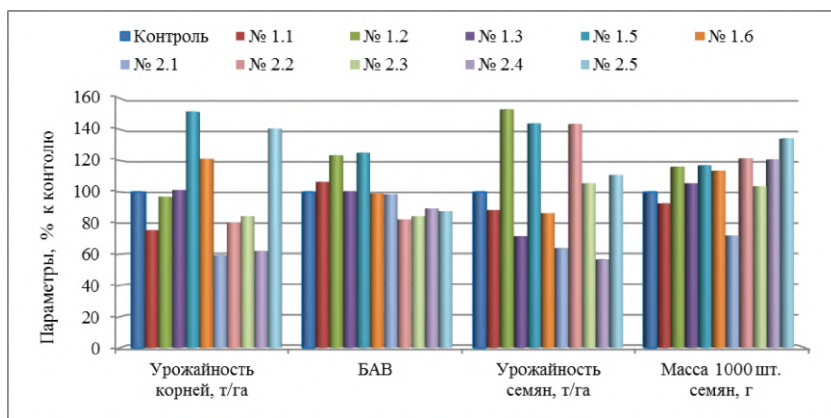


Рис. 3. Показатели биопродуктивности колхицин-индуцированных растений по отношению к контролю, %

Установлено, что урожайность семян, как и урожайность сырья сильно варьирует по вариантам опыта. Лучшими по данному показателю являются номера 1.2, 1.5 и 2.2 превышение над контролем составляет 53, и 44 и 45 %, соответственно (табл. 2, рис. 3).

Масса 1000 шт. семян является одним из косвенных признаков тетраплоидности растений. На рисунке 4 представлены фотографии семян диплоидных и тетраплоидных растений. На тетраплоидных растениях семена имели увеличенные размеры по сравнению с диплоидными формами, что привело к увеличению массы 1000 семян на 5,5 % по сравнению с контролем. Такая особенность объясняется как воздействием колхицина с последующим эффектом полиплоидного гигантизма, определяемого увеличением размеров соматических клеток, так и перераспределением неиспользованных пластических веществ между меньшим количеством завязавшихся плодов [21]. Семена, полученные с тетраплоидных растений, могут иметь более крупные размеры по сравнению с диплоидными

формами, тем не менее, наличие пыльников с полным отсутствием пыльцевых зерен может приводить к снижению как количества образовавшихся семян, так и их посевных качеств [31]. Ранее в наших работах приводились данные по посевным качествам семян синюхи голубой [2].

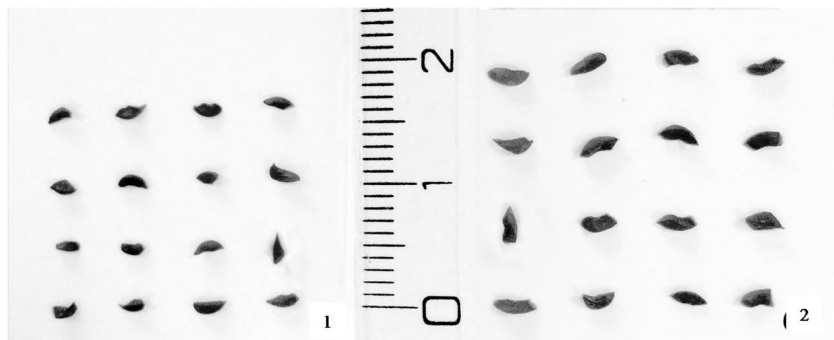


Рис. 4. Сравнительные размеры семян *P. caeruleum*: 1 – диплоидная форма растений; 2 – колхицин-индуцированная форма растений

У большинства номеров мы наблюдаем превышение массы 1000 семян над контролем. Наилучшие результаты мы отмечаем у номеров 1.2, 1.5, 1.6, 2.2, 2.4 и 2.5 – превышение над контролем 16, 17, 14, 37, 21 и 34%, соответственно.



Рис. 5. Фото корневищ с корнями синюхи голубой: слева контроль, справа колхицин-индуцированные растения

Известно, что корневая система синюхи голубой отличается наличием тонких корней, которые при выкапывании остаются в почве, а при промывании они отрываются. В связи с этим, отбирались тетраплоидные растения с мощной корневой системой. На рисунке 5 представлено фото корневищ с корнями контрольного и колхицин-индуцированного растения, демонстрирующее, что обработка колхицином в концентрации 0,2% при экспозиции 12 часов приводит к развитию более мощной корневой системы синюхи голубой.

Обсуждение

Ранее нами сообщалось, что в поколении C_1 тетраплоиды обладают многими хозяйственно-ценными признаками, в частности более длинными листьями, толстыми стеблями и корнями, а также интенсивным ростом [14]. Известно, что пыльцевой анализ используется как косвенный метод определения плоидности растений, когда по наличию фертильных и жизнеспособных пыльцевых зерен можно судить об успешности селекционных работ [21]. В ранее опубликованных нами работах было показано, что тетраплоидные формы синюхи отличались пониженной фертильностью пыльцевых зерен, в результате формировалось меньшее количество семян, которые в поколении C_1 характеризовались более низкими посевными качествами по сравнению с контролем [14]. Исключение составляли варианты 1.3 и 2.5 [2].

Исследования морфологических качеств и биопродуктивности растений в 2021-2022 гг. в поколении C_2 показали, что высота всех колхицин-индуцированных растений уступает контролю, наибольшее снижение высоты наблюдается в вариантах 1.3 и 2.3 (85 и 86 % от контроля, соответственно), что также согласуется с результатами др. исследователей [9; 18; 20; 24,]. Длина соцветий у растений, обработанных колхицином, также уступает контролю, но соцветия у них были более плотные и разветвленные (рис. 2). Установлено, что длина листа у номеров 1.5, 2.2 и 2.5 превышает контроль на 12, 32, 20 % и ширина листа – на 7, 21, 25 %, соответственно. Эти результаты согласуются с работами других исследователей [17; 26; 27; 30].

Выявлено, что урожайность сырья сильно варьирует по вариантам опыта, при этом, наиболее перспективными по этому показателю оказались номера 1.5, 1.6 и 2.5, превышение над контролем у данных вариантов опыта составило 52, 21 и 41 % соответственно.

В нашем опыте установлено, что наиболее высокое содержание биологически активных веществ наблюдалось у вариантов 1.2 и 1.5, превосхо-

дящих контроль на 24 и 25 %, соответственно. Наши данные совпадают с литературными данными, согласно которым увеличение содержания действующих веществ в тетраплоидных формах растений по сравнению с диплоидными отмечается у полыни однолетней (артемизинин) [8], белены египетской (скополамин) [15], эхинацеи пурпурной [20].

Заключение

Впервые дана оценка исходного материала колхицин индуцированных растений по урожайности и качеству лекарственного сырья, описаны морфологические признаки для идентификации тетраплоидных растений синюхи голубой. По урожайности сырья наблюдается сильный разброс показателей по отношению к контролю (диплоидные растения). Корневища с корнями (сырье синюхи голубой) у тетраплоидных растений отличаются более мощным развитием по сравнению с диплоидными. Выявлены перспективные номера 1.5, 1.6 и 2.5, которые по урожайности сырья превышают контроль на 52, 21 и 41 %, соответственно.

По содержанию суммы тритерпеновых сапонинов в пересчете на β -э-сцин тетраплоидные растения соответствовали фармакопейной статье (не менее 10 %). Наиболее высокое содержание биологически активных веществ наблюдалось у вариантов 1.2 и 1.3, которые превышали контроль на 14 и 15 %, соответственно.

Установлено, что в поколении C_2 потомства от индивидуальных растений из C_1 получены растения, различающиеся по урожайности семян, а лучшими по данному показателю являются номера 1.2, 1.5 и 2.2 превышение над контролем которых составило 53, 44 и 45 %, соответственно.

Таким образом, результаты нашей работы позволили дать оценку полученных колхицин-индуцированных растений синюхи голубой по биолого-морфологическим и хозяйственно-ценным признакам и на основании этих показателей выделить перспективные номера 1.2, 1.5, 1.6 и 2.5 для дальнейшего их включения в селекционную работу.

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

Благодарности. Семена сорта Лазурь для исследования взяты из биологической коллекции семян ФГБНУ ВИЛАР, которая входит в Уникальную научную установку «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР» в рамках темы НИР ФГБНУ ВИЛАР FGUU-2022-0014.

Список литературы

1. Аникина А.Ю., Басалаева И.В., Бушковская Л.М., Быкова О.А., Грязнов М.Ю., Загуменников В.Б. и др. Лекарственные и эфиромасличные культуры // Особенности возделывания на территории Российской Федерации. Москва: изд-во «Наука», 2021. С. 147-154.
2. Басалаева И.В., Хазиева Ф.М., Коротких И.Н., Саматадзе Т.Е. Посевные качества и урожайность семян колхицин индуцированных растений в поколениях C_1 и C_2 *Polemonium caeruleum* L. // Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник научных трудов X Международной научно-практической конференции молодых ученых. Москва, 2022. С. 17-22. https://doi.org/10.52101/9785870191058_17
3. Государственная Фармакопея Российской Федерации XIII изд. ФС.2.5.0039.15. [Электронный ресурс]. URL: <http://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0039-15-sinyuhigoluboj-kornevishha-s-kornyami/> (дата обращения 04.05.2023)
4. Загуменников В.Б. Оптимизация культивирования лекарственных растений в Нечерноземной зоне России. Москва: ВИЛАР, 2006. 76 с.
5. Мальцева А. А., Сорокина А. А., Брежнева Т. А., Чистякова А. С., Сливкин А. И. Трава синюхи голубой – перспективный источник тритерпеновых сапонинов // Фармацевт. 2011. № 7. С. 13–16.
6. Хазиева Ф.М., Басалаева И.В., Коняева Е.А., Бурова А.Е., Саматадзе Т.Е. Скрининг биоморфологических признаков и цитогенетических особенностей *Polemonium caeruleum* L. после применения колхицина // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, №2. С. 139-162. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162>
7. Augustin J.M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins // Phytochemistry. 2011. Vol. 72. P. 435–457. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>
8. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. // Plant Biotechnology. 2010. Vol. 27. № 5. P. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>
9. Dhamaynathi K. P. M., Gotmare V. Induction of polyploidy in two diploid wild cotton (*G. armourianum* and *G.aridum*) // Electronic Journal of Plant Breeding. 2010. Vol. 1. № 4. P. 966–972.
10. Dehghan E., Häkkinen S. T., Oksman-Caldentey K-M., Ahmadi F. S. Production of tropane alkaloids in diploid and tetraploid plants and in vitro hairy root cultures of Egyptian henbane (*Hyoscyamus muticus* L.) // Plant Cell Tissue Organ Cult. 2012. Vol. 110, No. 1. P. 35–44. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>

11. Dibyendu T. Cytogenetic characterization of induced autotetraploids in grass pea (*Lathyrus sativus* L.) // Caryologia. 2010. Vol. 63. P. 62–72. <https://doi.org/10.1080/00087114.2010.10589709>
12. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review // Sci. Hortic. 2019. Vol. 246. P. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
13. Gao, S. L., Zhu, D. N., Cai, Z. H., Xu, D. R. Autotetraploid plants from colchicine-treated bud culture of *Salvia miltiorrhiza* Bge // Plant Cell Tissue Organ Cult. 1996. Vol. 47. P. 73–77.
14. Glazunova A., Hazieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cytology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700210>
15. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae) // Planta. 2017. Vol. 245. P. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
16. Lavania U. C. Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals // Plant Genet Resour. 2005. Vol. 3, No. 2. P. 170–177. <https://doi.org/10.1079/PGR200576>
17. Luo Z., Iaffaldano B. J., Cornish K. Colchicine-induced polyploidy has the potential to improve rubber yield in *Taraxacum kok-saghyz* // Ind Crops Prod. 2018. Vol. 112. P. 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.010>
18. Manzoor A., Ahmad T., Bashir M.A., Hafiz I.A., Silvestri C. Studies on colchicine induced chromosome doubling for enhancement of quality traits in ornamental plants // Plants. 2019. Vol. 8. P. 194. <https://doi.org/10.3390/plants8070194>
19. Myslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden (Kaliningrad oblast) // Biol. Bull. 2014. Vol. 41. P. 133–138.
20. Mohammad Abdoli, Ahmad Moieni, Hassanali Naghdi Badi. Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.) // Acta Physiol Plant. 2013. Vol. 35. P. 2075–2083. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1242-9>
21. Moshnenko E.V., Zelentsov S.V., Pasmenko T.V., Luneva V.B. Morphological and cytological studies of artificial polyploids of coriander *Coriandrum sativum* L. // Oilseeds. 2009. Vol. 2. P. 13–18.
22. Niu L., Tao Y.B., Chen M. S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine // Caryologia. 2016. Vol. 69. P. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>

23. Obute G. C., Ndukwu B. C., Chukwu O. F. Targeted mutagenesis in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. and *Cucumer opsismannii* (NAUD) in Nigeria // *Afr. J. Biotechnol.* 2007. Vol. 6. P. 2467–2472. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2390>
24. Omidbaigi R., Yavari S., Hassani M.E., Yavari S. Induction of autotetraploidy in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) by colchicine treatment // *J Fruit Ornament Plant Res.* 2010. Vol. 18. No. 1. P. 23–35.
25. Petersen K. K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis* // *Plant Cell Tissue Org. Cult.* 2003. Vol. 73. P. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
26. Pan-pan H., Wei-Xu L., Hui-Hui L., Zeng-Xu X. In vitro induction and identification of autotetraploid of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f. by colchicine treatment // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2018. Vol. 132. P. 425–432. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1339-8>
27. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.) // *Genet. Resour. Crop Evol.* 2020. Vol. 67. P. 129–137.
28. Sajjad Y., Jaskani M. J., Mehmood A., Ahmad I., Abbas H. E. Effect of colchicine on in vitro polyploidy induction in African marigold (*Tagetes erecta*). *Pak. J. Bot.* 2013. Vol. 45. P. 1255–1258.
29. Samatadze, T. E. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (*Polemoniaceae*) / T. E. Samatadze, O.Yu. Yurkevich, F. M. Khazieva, I. V. Basalaeva, E. A. Konyaeva, A. E. Burova, S. A. Zoshchuk, A. I. Morozov, A. V. Amosova, O. V. Muravenko // *Plants.* 2022. Vol. 11. P. 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>
30. Tavan M., Mirjalili M. H., Karimzadeh G. In vitro polyploidy induction: changes in morphological, anatomical and phytochemical characteristics of *Thymus persicus* (*Lamiaceae*) // *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 2015. Vol. 122. P. 573–583. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0789-0>
31. Tulay E., Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosa*-roth // *Caryologia.* 2010. Vol. 63. P. 292–303.
32. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.) // *Genet. Resour. Crop Evol.* 2020. Vol. 67. P. 129–137. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00846-x>

33. Zahedi A. A., Hosseini B., Fattahi M., Dehghan E., Parastar H., Madani H. Overproduction of valuable methoxylated flavones in induced tetraploid plants of *Dracocephalum kotschy* Boiss // *Bot. Stud.* 2014. Vol. 55. No. 1. P. 22. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382522>
34. Zhang X. Y., Hu C. G., Yao J. L. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance // *J. Plant Physiol.* 2010. Vol. 167. P. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006>

References

1. Anikina A.Y., Basalaeva I.V., Bushkovskaya L.M., Bykova O.A., Gryaznov M.Y., Zagumennikov V.B. et al. Medicinal and essential oilseed crops. *Features of cultivation on the territory of the Russian Federation*. Moscow: Nauka, 2021, pp. 147-154.
2. Basalaeva I.V., Khazieva F.M., Korotkikh I.N., Samatadze T.E. Sowing qualities and seed yield of colchicine induced plants in generations C1 and C2 *Polemonium caeruleum* L. *Modern trends in the development of health-saving technologies. Collection of scientific papers of the X International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. Moscow, 2022, pp. 17-22. https://doi.org/10.52101/9785870191058_17
3. State Pharmacopoeia of the Russian Federation XIII ed. FS.2.5.0039.15. URL: <http://pharmacopoeia.ru/fs-2-5-0039-15-sinyuhi-goluboj-kornevishha-s-kornyami/>
4. Zagumennikov V.B. *Optimization of cultivation of medicinal plants in the Non-Black Earth Zone of Russia*. Moscow: VILAR, 2006, 76 p.
5. Maltseva A. A., Sorokina A. A., Brezhneva T. A., Chistyakova A. S., Slivkin A. I. Blue grass - a promising source of triterpene saponins. *Pharmaceia*, 2011, no. 7, pp. 13-16.
6. Khazieva F.M., Basalaeva I.V., Konyaeva E.A., Burova A.E., Samatadze T.E. Screening of biomorphological traits and cytogenetic features of *Polemonium caeruleum* L. after the application of colchicine. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 139-162. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-139-162>
7. Augustin J.M., Kuzina V., Andersen S.B., Bak S. Molecular activities, biosynthesis and evolution of triterpenoid saponins. *Phytochemistry*, 2011, vol. 72, pp. 435–457. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.01.015>
8. Banyai W., Sangthong R. Overproduction of artemisinin in tetraploid *Artemisia annua* L. *Plant Biotechnology*, 2010, vol. 27, no. 5, pp. 427–433. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>

9. Dhamaynathi K. P. M., Gotmare V. Induction of polyploidy in two diploid wild cotton (*G. armourianum* and *G. aridum*). *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2010, vol. 1, no. 4, pp. 966–972.
10. Dehghan E., Häkkinen S. T., Oksman-Caldentey K-M., Ahmadi F. S. Production of tropane alkaloids in diploid and tetraploid plants and in vitro hairy root cultures of Egyptian henbane (*Hyoscyamus muticus* L.). *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2012, vol. 110, no. 1, pp. 35–44. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0127-8>
11. Dibyendu T. Cytogenetic characterization of induced autotetraploids in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *Caryologia*, 2010, vol. 63, pp. 62–72. <https://doi.org/10.1080/00087114.2010.10589709>
12. Eng W. H., Ho W. S. Polyploidization using colchicine in horticultural plants: A review. *Sci. Hortic.*, 2019, vol. 246, pp. 604–617. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.010>
13. Gao, S. L., Zhu, D. N., Cai, Z. H., Xu, D. R. Autotetraploid plants from colchicine-treated bud culture of *Salvia miltiorrhiza* Bge. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 1996, vol. 47, pp. 73–77.
14. Glazunova A., Hazieva F., Samatadze T. Effect of Colchicine treatment on the cytology and morphology signs of *Polemonium caeruleum* L. *BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 17, 00210. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20201700210>
15. Javadian N., Karimzadeh G., Sharifi M., Moieni A., Behmanesh M. In vitro polyploidy induction: Changes in morphology, podophyllotoxin biosynthesis, and expression of the related genes in *Linum album* (Linaceae). *Planta*, 2017, vol. 245, pp. 1165–1178. <https://doi.org/10.1007/s00425-017-2671-2>
16. Lavania U. C. Genomic and ploidy manipulation for enhanced production of phyto-pharmaceuticals. *Plant Genet Resour.*, 2005, vol. 3, no. 2, pp. 170–177. <https://doi.org/10.1079/PGR200576>
17. Luo Z., Iaffaldano B. J., Cornish K. Colchicine-induced polyploidy has the potential to improve rubber yield in *Taraxacum kok-saghyz*. *Ind Crops Prod.*, 2018, vol. 112, pp. 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.11.010>
18. Manzoor A., Ahmad T., Bashir M.A., Hafiz I.A., Silvestri C. Studies on colchicine induced chromosome doubling for enhancement of quality traits in ornamental plants. *Plants*, 2019, vol. 8, p. 194. <https://doi.org/10.3390/plants8070194>
19. Myslennikov P.V., Chupakhina G.N., Skrypnik L.N. The content of phenolic compounds in medicinal plants of a botanical garden (Kaliningrad oblast). *Biol. Bull.*, 2014, vol. 41, pp. 133–138.

20. Mohammad Abdoli, Ahmad Moieni, Hassanali Naghdi Badi. Morphological, physiological, cytological and phytochemical studies in diploid and colchicine-induced tetraploid plants of *Echinacea purpurea* (L.). *Acta Physiol Plant*, 2013, vol. 35, pp. 2075–2083. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1242-9>
21. Moshnenko E.V., Zelentsov S.V., Pasmenko T.V., Luneva V.B. Morphological and cytological studies of artificial polyploids of coriander *Coriandrum sativum* L. *Oilseeds*, 2009, vol. 2, pp. 13–18.
22. Niu L., Tao Y.B., Chen M. S., et al. Identification and characterization of tetraploid and octoploid *Jatropha curcas* induced by colchicine. *Caryologia*, 2016, vol. 69, pp. 58–66. <https://doi.org/10.1080/00087114.2015.1110308>
23. Obute G. C., Ndukwu B. C., Chukwu O. F. Targeted mutagenesis in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. and *Cucumer opsismannii* (NAUD) in Nigeria. *Afr. J. Biotechnol.*, 2007, vol. 6, pp. 2467–2472. <https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2390>
24. Omidbaigi R., Yavari S., Hassani M.E., Yavari S. Induction of autotetraploidy in dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) by colchicine treatment. *J Fruit Ornament Plant Res.*, 2010, vol. 18, no. 1, pp. 23–35.
25. Petersen K. K., Hagberg P., Kristiansen K. Colchicine and oryzalin mediated chromosome doubling in different genotypes of *Miscanthus sinensis*. *Plant Cell Tissue Org. Cult.*, 2003, vol. 73, pp. 137–146. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022854303371>
26. Pan-pan H., Wei-Xu L., Hui-Hui L., Zeng-Xu X. In vitro induction and identification of autotetraploid of *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f. by colchicine treatment. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2018, vol. 132, pp. 425–432. <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1339-8>
27. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.). *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2020, vol. 67, pp. 129–137.
28. Sajjad Y., Jaskani M. J., Mehmood A., Ahmad I., Abbas H. E. Effect of colchicine on in vitro polyploidy induction in African marigold (*Tagetes erecta*). *Pak. J. Bot.*, 2013, vol. 45, pp. 1255–1258.
29. Samatadze, T. E. Agro-Morphological and Cytogenetic Characterization of Colchicine-Induced Tetraploid Plants of *Polemonium caeruleum* L. (Polemoniaceae) / T. E. Samatadze, O.Yu. Yurkevich, F. M. Khazieva, I. V. Basalaeva, E. A. Konyaeva, A. E. Burova, S. A. Zoshchuk, A. I. Morozov, A. V. Amosova, O. V. Muravenko. *Plants*, 2022, vol. 11, p. 2585. <https://doi.org/10.3390/plants11192585>

30. Tavan M., Mirjalili M. H., Karimzadeh G. In vitro polyploidy induction: changes in morphological, anatomical and phytochemical characteristics of *Thymus persicus* (Lamiaceae). *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2015, vol. 122, pp. 573–583. <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0789-0>
31. Tulay E. Unal M. Production of colchicine induced tetraploids in *Vicia villosaroth*. *Caryologia*, 2010, vol. 63, pp. 292–303.
32. Sabzehzari M., Hoveidamanesh S., Modarresi M., Mohammadi V. Morphological, anatomical, physiological, and cytological studies in diploid and tetraploid plants of *Ispaghul* (*Plantago ovata* Forsk.). *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2020, vol. 67, pp. 129–137. <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00846-x>
33. Zahedi A. A., Hosseini B., Fattahi M., Dehghan E., Parastar H., Madani H. Overproduction of valuable methoxylated flavones in induced tetraploid plants of *Dracocephalum kotschy* Boiss. *Bot. Stud.*, 2014, vol. 55, no. 1, p. 22. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1382522>
34. Zhang X. Y., Hu C. G., Yao J. L. Tetraploidization of diploid *Dioscorea* results in activation of the antioxidant defense system and increased heat tolerance. *J. Plant Physiol.*, 2010, vol. 167, pp. 88–94. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2009.07.006>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Хазиева Фирдаус Мухаметовна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
vilar.6@yandex.ru

Коротких Ирина Николаевна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
slavnica241270@yandex.ru

Басалаева Ирина Владимировна, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений

ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация
basalaeva4.i@yandex.ru

Саматадзе Татьяна Егоровна, канд. биол. наук, доцент

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский университет дружбы народов»

ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва 117198, Российская Федерация
tsamatadze@gmail.com

DATA ABOUT THE AUTHORS

Firdaus M. Hazieva, PhD Biol., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
vilar.6@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4454-0773>

Scopus Author ID: 57201894817

Irina N. Korotkikh, PhD Agr., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
slavnica241270@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-9353>

Irina V. Basalaeva, PhD Agr., Leading Researcher

*All-Russian Institute of Medicinal and Aromatic Plants
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation
basalaeva4.i@yandex.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8243-3026>

Tat'yana E. Samatadze, PhD Biol., Associate Professor

*RUDN University
6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
tsamatadze@gmail.com*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1012-3560>

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 22.01.2024

Принята 02.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 22.01.2024

Accepted 02.02.2024

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

УДК 631.422



Научная статья

ДЕПОНИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В АГРОБИОГЕОЦЕНОЗАХ УМЕРЕННО-ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ АЛТАЯ

А.Е. Кудрявцев, Е.С. Ваганов

Обоснование. Депонирование органического углерода в биогеоценозах зависит от природных условий. В агробиоценозе наряду с природными условиями этот процесс активизируют антропогенные действия в виде системы земледелия, изучив, которые можно взять за основу при организации карбонового земледелия.

Цель исследования – установить интенсивность процесса депонирования органического углерода агробиогеоценозами в умеренно-засушливой степи Алтая.

Научная новизна. Установлено, что в умеренно-засушливой степи Алтая содержание органического углерода в гумусовом горизонте агрочерноземов южных и обыкновенных достоверно деградировало в результате ветровой и водной эрозии. Органический углерод перемещается в другие геохимические резервуары, а его роль, определяющая плодородие уменьшается. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода, который находится в интервалах от 9,5 до 65 т/га. Выявлено, что рапсом поглощается углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным. В этих агроценозах определена мортмасса, которая принимает участие в дальнейшем депонировании органического углерода, она соответственно составляет от 2,9 до 3,4 т/га, 5,8-6,5 т/га, 18,8 т/га. Оценивая экосистему в целом, выявлено, что наибольшие запасы органического углерода в двадцатисантиметровом слое сформировали биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), агропочвы на 40-45% содержат меньше органического углерода, чем естественные экосистемы.

Материалы и методы. Объектом исследований послужили почвы умеренно-засушливой степи Алтая, которые являются хранилищем органического

углерода. Использовали архивные материалы ОАО «АлтайНИИГипрозем» и результаты собственных исследований 2023 года. Органический углерод определяли методом Тюрина, чистую первичную продукцию по методике А.А. Титляновой, при этом учитывали продукционную, надземную и внутрипочвенную мортмассу, позволяющую определить потенциальный приход органического вещества агроценозами.

Результаты. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте за 40 лет достоверно деградировало на 23-32% в южных и обыкновенных агро-черноземах, в меньшей степени в выщелоченных. В экосистеме наибольшими запасами органического углерода в двадцатисантиметровом слое характеризуются биогеоценозы солончаков и лугово-болотных почв, затем в убывающей последовательности серые лесные, луговые, лугово-черноземные, солонцы. Агропочвы содержат на 40-45% меньше органического углерода, чем естественные экосистемы биогеоценозов солончаков и лугово-болотных почв. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода. При этом рапс поглощает углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным.

Заключение. Результаты исследований являются начальным этапом организации карбонового земледелия, позволяющие установить интервалы углеродных единиц.

Ключевые слова: депонирование; постфотосинтетическое депонирование агропочвы; биогеоценозы; агроценозы; система земледелия; no-till; традиционная система земледелия; мортмасса

Для цитирования. Кудрявцев А.Е., Ваганов Е.С. Депонирование органического углерода в агробиогеоценозах умеренно-засушливой степи Алтая // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 274-289. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

Original article

DEPOSITION OF ORGANIC CARBON IN AGROBIOGEOCENOSSES OF THE TEMPERATE ARID STEPPE OF ALTAI

A.E. Kudryavtsev, E.S. Vaganov

Background. The deposition of organic carbon in biogeocenoses depends on natural conditions. In agrobiocenosis, along with natural conditions, this process

is activated by anthropogenic actions in the form of an agricultural system, having studied which can be taken as a basis for the organization of carbon farming.

Purpose. The aim of the study is to establish the intensity of the process of deposition of organic carbon by agrobiogeocenoses in the moderately arid steppe of Altai.

Materials and methods. The object of research was the soils of the moderately arid Altai steppe, which are a repository of organic carbon. We used archival materials of JSC AltayNII Giprozem and the results of our own research in 2023. Organic carbon was determined by the Tyurin method, pure primary products according to the method of A.A. Titlyanova, at the same time, production, aboveground and subsurface mortmass were taken into account, which makes it possible to determine the potential arrival of organic matter by agroecocenoses.

Results. The content of organic carbon in the humus horizon has significantly degraded by 23-32% over 40 years in southern and ordinary agrochernozyms, to a lesser extent in leached ones. In the ecosystem, the largest reserves of organic carbon in a twenty-centimeter layer are characterized by biogeocenoses of salt marshes and meadow-marsh soils, followed in decreasing sequence by gray forest, meadow, meadow-chernozem, salt marshes. Agro-soils contain 40-45% less organic carbon than the natural ecosystems of biogeocenoses of salt marshes and meadow-marsh soils. Post-photosynthetic carbon runoff has been determined in the agroecocenoses of spring wheat, oilseed flax, and spring rapeseed. At the same time, rapeseed absorbs 4 times more carbon dioxide compared to spring wheat and 58% more than oilseed flax.

Conclusion. The results of the research are the initial stage of the organization of carbon farming, allowing you to set the intervals of carbon units.

Keywords: deposition; post-photosynthetic deposition of agro-soil; biogeocenoses; agroecocenoses; farming system; no-till; traditional farming system; mortmass

For citation. Kudryavtsev A.E., Vaganov E.S. Deposition of Organic Carbon in Agrobiogeocenoses of the Temperate arid Steppe of Altai. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 274-289. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1250

Введение

Природные потоки углекислого газа в биосфере начинается с процесса фотосинтеза, формирующего органическую часть, которая в дальнейшем депонируется в почву. Установлено, что в процессе фотосинтеза мировой фонд углерода составляет 120 млрд. т в год, растения на собственное дыхание, в том числе и корневое, расходуют около половины

этой величины [15; 18]. Оставшаяся часть представляет чистую первичную продукцию фотосинтеза, то есть биомассу растений [8]. Основными естественными поглотителями углерода считают океаны, леса и почву, поскольку они способны поглощать из атмосферы от 9,5 до 11 Гт углекислого газа в год без учета агроценозов, торфяников, болот. В настоящее время ежегодные выбросы этого газа составляют более 38,0 Гт [4]. Почва признана уникальным хранилищем и поглотителем активного углерода и в тоже время многие исследователи указывают на то, что антропогенные нагрузки на агропочвы приводят к глобально значимым изменениям запасов органического углерода. По некоторым оценкам агропочвы содержат на 25– 75% меньше органического углерода, чем их аналоги в ненарушенных или естественных экосистемах [6; 16]. Бесспорно, у деградированных агропочв потенциал секвестрации органического углерода агроценозами ниже, чем у ненарушенных. Но сегодня мы научились регулировать процессы деградации, роста и развития растений за счет технологических приемов, генетического потенциала сорта, минеральных удобрений, средств защиты растений и многого другого. Научно-технический прогресс в аграрном секторе свидетельствует о возможном восстановлении ранее утраченных запасов почвенного углерода. Понимаем, что процесс восстановления плодородия и, как следствие, запасов органического углерода длительный и требует научных исследований.

Исходя из вышесказанного, целью исследования является установить интенсивность процесса депонирования органического углерода агробиогеоценозами в умеренно-засушливой степи Алтая. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: определить биогенно-аккумулятивные возможности агроценозов в депонировании органического вещества; установить интенсивность почвообразовательных процессов, оказывающих воздействие на депонирование органического вещества в агропочвах умеренно-засушливой степи Алтая; провести сравнительную оценку депонирования органического углерода агробиогеоценозов исследуемой территории.

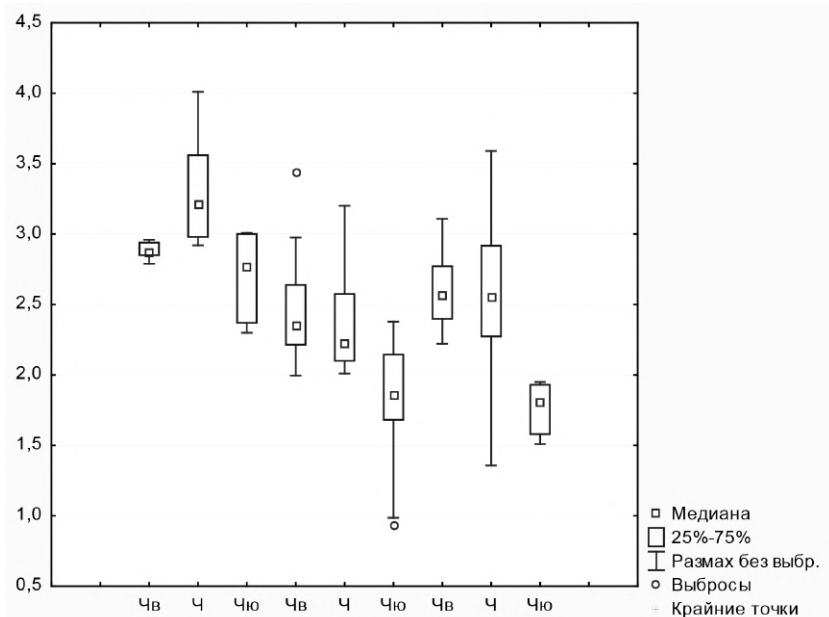
Материал и методы

Объектом исследований заявленной темы являются агропочвы умеренно-засушливой степи Алтая, которые служат хранилищем органического углерода, а его запасы могут либо пополняться в процессе секвестрации, либо уменьшаться в результате деградации, что зависит

от природных и антропогенных факторов. Для установления процессов депонирования органического углерода и создания активного гумуса в агропочвах использовали сравнительно-географический, сравнительно-аналитический и стационарный методы исследования. За основу исследований были взяты материалы Академического издания «Почвы Алтайского края» [10], архивные материалы по корректировке почв ОАО «АлтайНИИГипрозем», проводимые в 1990-2000 гг. [9] и материалы собственных исследований 2023 года. Текущие исследования процессов связывания углерода были организованы на полигонах наблюдений по no-till и традиционной системе земледелия агроценозов яровой пшеницы, льна масличного и ярового рапса. Поскольку начальным этапом формирования связывания углерода является фотосинтез, а его фотохимическая реакция определяет надземную массу, поэтому в агроценозах учитывали сорт (гибрид), норму высева, ширину междурядий, глубину посева семян, а также систему земледелия, предусматривающую технологические операции, регулирующие питательный режим, а следовательно депонирование углерода в надземную массу. Агрохимическую диагностику агропочв проводили в аккредитованной лаборатории САС «Алейская», почвенную в лаборатории кафедры почвоведения и агрохимии. Для определения чистой первичной продукции использовали методику А.А. Титляновой, которая позволила определить скорость формирования первичной продукции, состоящей из надземной и подземной частей [12]. Для подтверждения достоверности эволюционных изменений рассматриваемых свойств почв использовали программу Statistica 10.0.

Результаты и обсуждение

Ещё в XIX веке было обосновано, что антропогенные факторы из локальных превращаются в глобальные и активизируют экологические проблемы в биосфере [2]. Наиболее негативными изменениями в агропочвах считают снижение в них органического углерода и в тоже время его запасы в метровой толще составляют 1,417 Гт, это практически в 2 раза больше, чем в атмосфере и в 10 раз выше уровня ежегодных антропогенных выбросов в атмосферу [5]. Имеющиеся в нашем распоряжении архивные материалы и проводимые в текущем году исследования позволяют проследить трансформацию органического углерода пахотных горизонтов (0-20см) в агропочвах основных подтипов, которые занимают 63% или 4,3млн. га умеренно-засушливой степи Алтая (рисунок 1).



Годы	1959			2000			2023		
	Чв	Ч	Чю	Чв	Ч	Чю	Чв	Ч	Чю
Среднее	2,88	3,34	2,70	2,43	2,55	1,82	2,50	2,59	1,76
Медиана	2,87	3,21	2,77	2,35	2,22	1,86	2,56	2,55	1,81
Ст. откл. набл.	0,07	0,45	0,32	0,32	0,30	0,41	0,27	0,50	0,18
N набл. 1-41	5	5	6	41	31	27	24	18	16
Сумма набл.	14,4	16,6	16,2	99,5	72,8	49,1	62,3	46,5	10,58
МИН. набл.	2,79	2,92	2,30	2,00	2,01	0,93	2,22	1,36	1,51
МАКС. набл.	2,96	4,01	3,01	3,43	3,20	2,38	3,11	3,59	1,95
_25 % набл. 1-41	2,85	2,98	2,37	2,22	2,10	1,68	2,40	2,27	1,58
_75 % набл. 1-41	2,94	3,56	3,00	2,64	2,58	2,15	2,77	2,92	1,93

Рис. 1. Трансформация органического углерода агроchernozёмов умеренно-засушливой степи Алтая в пахотном горизонте (0-20см)

Исследования, проводимые в середине прошлого века, констатируют, что содержание органического углерода в агроchernozёмах находилось в интервале от 2,3 до 4,5%, почвенная корректировка 2000-х гг. позволила определить, что его содержание в агроchernozемах южных и обыкновенных достоверно деградировала на 23-32%, в меньшей степени подвержены

этим процессам агрочерноземы выщелоченные. Безусловно, деградиационные процессы активизировались после освоением целинных и залежных земель, в виде ветровой и водной эрозии, участились пыльные бури и проявления линейной эрозии. Результат такой трансформации органического углерода очевиден, изменения произошли менее чем за полвека. Унесенный ветром или смытый потоками талых вод органический углерод перенесен в другой геохимический резервуар и продолжает участвовать в геологическом круговороте, а вот его роль, определяющая плодородие агропочв, утеряна. По мнению В.М. Семенова, восстановление ранее утраченных запасов органического углерода в агропочвах посредством заделки растительной биомассы в почву, из разряда теоретических абстракций развилась в реальную природоохранную инициативу с соответствующим комплексом агробиотехнологий [7; 17].

Наши исследования, проводимые в 2023 году, позволяют сделать вывод, что содержание органического углерода в агрочерноземах в последние двадцать лет стабилизировалось. Это обусловлено тем, что в хозяйствах используют ресурсосберегающую no-till систему земледелия [13].

Образование органического вещества принадлежит листовому аппарату, который по мнению К.А. Тимирязева прикоснулся ко всему живому в этом мире [14]. Фотосинтез это природный процесс, происходящий в клетках содержащих хлорофилл. При участии фотонов света синтезируются органические вещества из неорганических, в результате этого атом углерода связывается с другими атомами минеральных компонентов, поглощаемых из почвы корневой системой растений. Это позволяет образовывать цепочки более сложных органических соединений, таких как белки, жиры, углеводы, органические кислоты, витамины. Зная биологический потенциал, сформированный фотосинтезом, можно оценить величину связывания углекислого газа разноплановыми агроценозами (рисунок 2).

Из рассматриваемых агроценозов поглощение углекислого газа рапсом в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58% больше, чем льном масличным, что позволяет соотнести количество поглощаемого углекислого газа между рассматриваемыми культурами 4:1:1,6, безусловно, в таком же соотношении формируется надземная фитомасса. Постфотосинтетическое перераспределение углерода сопровождается его накоплением в «резервуаре вегетативной массы», можно считать, что это «первое» депо углерода, которое постоянно пополняется. Временной отрезок формирования фитомассы устанавливается агроценозом, сортовыми особенностями, природными условиями и антропогенными действиями.

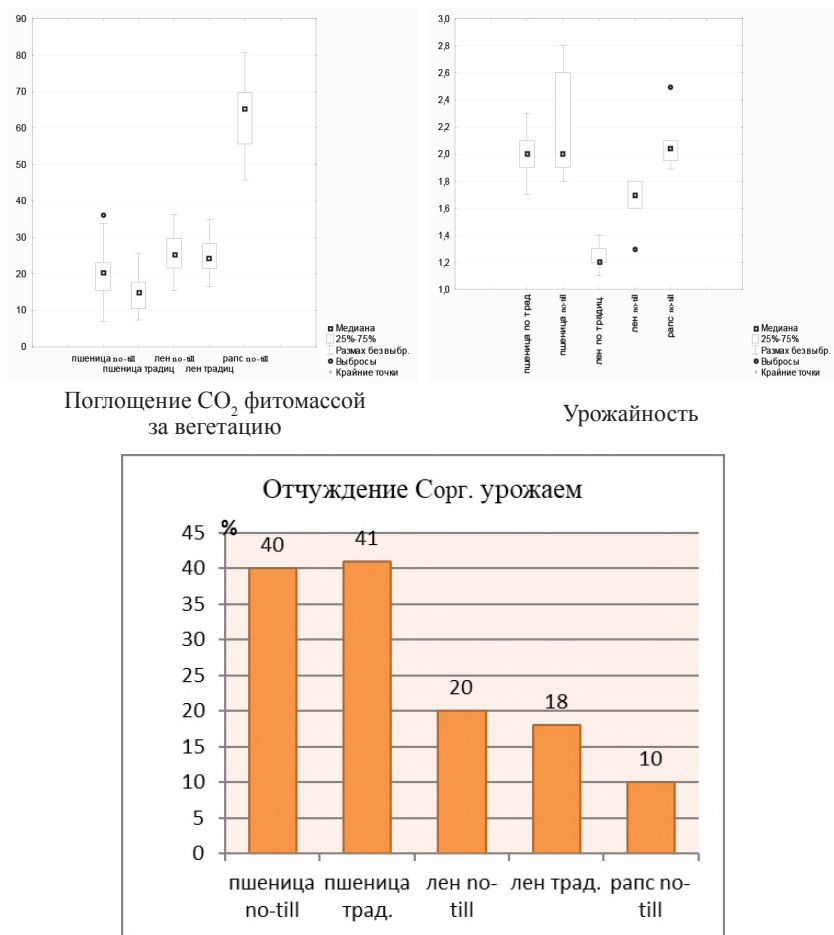


Рис. 2. Статистические показатели поглощения углекислого газа фитомассой растений и урожайность яровой пшеницы, льна масличного, ярового рапса

Транспортировка углерода в репродуктивные органы определяется сформированной морфогенетической программой развития, у однолетних злаков она начинается с образования колоса, а закладывается в конце фазы выхода в трубку, у льна масличного с коробочки, а у рапса ярового со стручков. С этого времени транспортируется значительная часть образованных в процессе фотосинтеза ассимилянтов в репродуктивные органы. Природные

условия в совокупности с антропогенными действиями позволили сформировать в текущем году урожайность ярового рапса возделываемого по системе земледелия no-till 2,1 т/га, льна масличного по no-till – 1,7 т/га, по традиционной системе земледелия 1,3 т/га, яровой пшеницы соответственно – 2,2 т/га, 2,0 т/га. Зная фитомассу сформированную агроценозами, можно установить количество отчуждаемой продукции с поля, т. е. той части сформированного органического вещества, которое не будет участвовать в дальнейшем депонировании его в агропочву, но в круговороте углерода ее участие имеет место быть. Для яровой пшеницы отчуждение с поля в виде урожая составляет 40-41%, для льна масличного 18-20%, для рапса 10%.

Мертвая часть органического вещества, которая принимает участие в дальнейшем депонировании углерода в почву, соответственно составляет 2,9-3,4т/га, 5,8-6,5т/га, 18,8т/га, это не означает, что везде и всегда будет формироваться такая мортмасса. Её формирование в агроценозе, как и урожайность, определяют природные и антропогенные условия. Превращение сформированной в агроценозе надземной мортмассы и корневой системы в органический углерод непредсказуемый процесс, в котором эмиссия парниковых газов может составлять от 28 до 50 % и более в зависимости от доз азотных удобрений, нулевой обработки [19]. Безусловно, у корневой системы агроценозов потенциальные возможности депонирования органического вещества в углерод гораздо выше, чем у надземной части. Немаловажно и то, что агроценозы формируют и разную продукционную, надземную и внутрипочвенную массу, соответственно яровой рапс 13, 59, 28%, лен масличный 41, 30, 29%, пшеница яровая 42, 36, 22%.

Таким образом, при депонировании углерода в агропочву мортмасса рапса в полтора раза выше, чем у яровой пшеницы и льна масличного. Однако, по мнению ряда исследователей, приращение органической массы требует определенного времени не менее 100 лет, чтобы считать процесс минерализации органического вещества завершенным по сравнению с исходным [20].

Созданный человеком агроценоз невозможно изолировать, он сформирован экосистемой, которая продолжает оказывать влияние на его продуктивность и развитие биогеоценозов. За основу, позволяющую определять границы биогеоценоза, взят почвенный покров. Для оценки сформированных запасов органического углерода в 20см слое были проанализированы архивные материалы почвенной корректировки, проводимой в 2000 году базовых хозяйств, где были организованы полигоны наблюдений. Биогеоценозы в выборке рассматривали на уровне типа, обезличив таксономические единицы подтипа, рода, вида, разновидности. Отдельно

анализировались экосистемы трех базовых хозяйств, которые в дальнейшем объединили в одну выборку. Как видно из рисунка 3 наименьшими запасами органического углерода характеризуются аллювиальные биогеоценозы 35 т/га, в которых родовые и видовые признаки будут определять возможность сформировать больший или меньший интервал содержания органического углерода, впрочем, так же, как и для всех остальных биогеоценозов. Наибольшими запасами органического углерода характеризуются биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), затем в убывающей последовательности серые лесные 78 т/га, луговые 75 т/га, лугово-черноземные 56 т/га, солонцы 46 т/га, агрочерноземы обыкновенные, выщелоченные и южные соответственно 49,46,44 т/га.

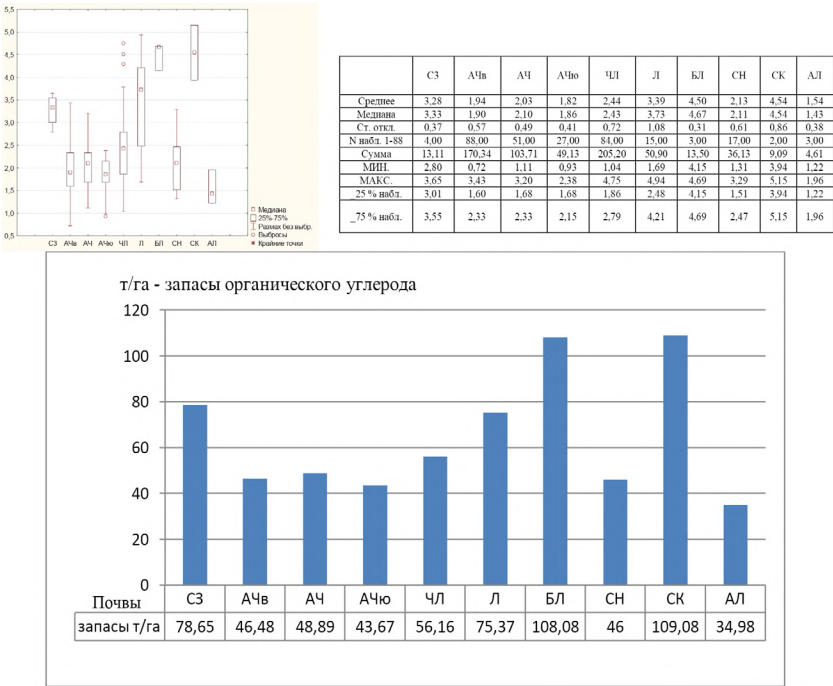


Рис. 3. Запасы органического углерода в слое 0-20 см биогеоценозов исследуемой территории, на которой организованы опорные полигоны наблюдений: С_з, серые лесные, АЧ^в агрочерноземы выщелоченные, АЧ-агрочерноземы обыкновенные, АЧ^ю агрочерноземы южные, ЧЛ-лугово-черноземные, Л-луговые, БЛ-лугово-болотные перегонные, СН-солонцы, СК-солончаки, АЛ - аллювиальные

Такое распределение органического углерода означает, что плодородие агропочв, как и рассматриваемых биогеоценозов не следует отождествлять с органическим углеродом. Плодородие в агропочвах проявляется только при взаимодействии компонентов, его характеризующих, т.е. совокупностью свойств, определенных почвообразовательным процессом. Активность процесса связывания органического углерода и его депонирование в биогеоценозах определяется совокупностью факторов, формирующих экосистему.

По мнению Инишевой Л.И., экосистемы России располагаются в убывающей последовательности болота, степи, леса [20]. В болотах органического углерода примерно в пять раз больше, чем в лесных угодьях, и в 500 раз больше, чем в океанах, хотя они занимают около 2% поверхности суши, а хранят более 20% всего углерода, поглощаемого экосистемами нашей планеты [1; 3; 11].

Заключение

Депонирование органического углерода в биогеоценозах естественный почвообразовательный процесс, интенсивность которого определяется природными условиями. В совокупности с природными факторами процесс депонирования в агробиогеоценозах дополнительно стимулирует или подавляет избранная система земледелия. К сожалению, антропогенный пресс, в агропочвах провоцирует процессы деградации, унесенный ветром или смытый потоками талых вод органический углерод переносится в другие геохимические резервуары, а его роль, определяющая плодородие уменьшается. Архивные материалы позволили установить, что в умеренно засушливой степи Алтая с 1959 по 2000 год содержание органического углерода в гумусовом горизонте агрочерноземов южных и обыкновенных достоверно деградировало на 23-32%, в меньшей степени подвержены этим процессам агрочерноземы выщелоченные. В агроценозах яровой пшеницы, льна масличного, рапса ярового определен постфотосинтетический сток углерода, который находится в интервалах от 9,5 до 65 т/га. Выявлено, что рапсом поглощается углекислого газа в 4 раза больше в сравнении с яровой пшеницей и на 58%, чем льном масличным. В этих агроценозах определена мортмасса, которая принимает участие в дальнейшем депонировании органического углерода, она соответственно составляет от 2,9 до 3,4т/га, 5,8-6,5т/га, 18,8т/га.

Оценивая экосистему в целом, обнаружено, что наибольшими запасами органического углерода в двадцатисантиметровом слое характеризуются

биогеоценозы солончаков (109 т/га) и лугово-болотных почв (108 т/га), затем в убывающей последовательности серые лесные 78 т/га, луговые 75 т/га, лугово-черноземные 56 т/га, солонцы 46 т/га. Наименьшими запасами органического углерода характеризуются агрочерноземы обыкновенные, выщелоченные и южные соответственно 49,46,44 т/га и аллювиальные биогеоценозы 35 т/га. Такой объем депонированного органического углерода агробиогеоценозами означает, что плодородие агропочв не следует отождествлять только с органическим углеродом, оно проявляется при взаимодействии совокупности свойств, определенных почвообразовательным процессом. Таким образом, агропочвы содержат на 40-45% меньше органического углерода, чем естественные экосистемы биогеоценозов солончаков и лугово-болотных почв.

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при финансовой поддержке МСХ РФ за счет средств федерального бюджета в 2023 году в соответствии с доп. соглашением № - 082-03-2023-240/1 от 16 марта 2023 г.

Список литературы

1. Бабилов Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболачивания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 1(349). С. 6-36. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2016.1.9>
2. Докучаев В.В. Русский чернозем. М.; Л.: АН СССР, 1949. Соч. т. III. 360 с.
3. Залесов С.В. Роль болот в депонировании углерода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 7-2(109). С. 6-9. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.109.7.033>
4. Инишева Л.И., Маслов С.Г. Роль торфяных ресурсов в стратегии устойчивого развития // Труды Инсторфа. 2013. № 8(61). С. 3-10.
5. Климкина Е.В., Морозова Т.В. Реализация стратегии достижения углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики аграрного производства // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях: Материалы III Международной научно-практической конференции, Воронеж, 27–28 октября 2021 года. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 287-293.
6. Когут Б.М., Семенов В.М. Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. № 102. С. 103-124. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-103-124>

7. Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестирующая емкость почв зонального ряда / Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С. // Почвоведение. 2008. №7. С. 819-832.
8. Потоки углерода в степных экосистемах (на примере южного Забайкалья) / Г. Д. Чимитдоржиева, Р. А. Егорова, Е. Ю. Мильхеев, Ю. Б. Цыбенков // Растительный мир Азиатской России: Вестник Центрального сибирского ботанического сада СО РАН. 2010. № 2(6). С. 33-39.
9. Почвенные очерки районов Алтайского края: по материалам ОАО «Алтай-НИИГипрозем» 1980-1990 гг.
10. Почвы Алтайского края. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 382 с.
11. Проблема учета поглощающей способности лесов России в Парижском соглашении / Романовская А.А., Трунов А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т. // Лесоведение. 2018. № 5. С. 323-334. <https://doi.org/10.1134/S0024114818050066>
12. Продуктивность травяных экосистем: справочник / составители А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с.
13. Секвестрация углерода яровой пшеницей, льном масличным, яровым рапсом в разноплановых системах земледелия умеренно-засушливой степи Алтая: монография / Кудрявцев А.Е., Ваганов Е.С., Шпис Т.Э., Канунников С.В., Локтионов В.А., Чубыкин А.А. Барнаул: Издательство АЗБУКА, 2023. 59 с.
14. Тимирязев К.А. Жизнь растения/ [Под редакцией Л. М. Берцинской]. Москва: Юрайт, 2017. 331 с.
15. Houghton R.A., Skole D.L. Carbon // The Earth as transformed by human action. Cambridge, 1990. P. 393–412.
16. Lal R. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security // BioScience. 2010. Vol. 60. P. 708–721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>
17. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change // Geoderma. 2004. Vol. 123. P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
18. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Biogeochemistry. 2000. Vol. 48. P. 7–20.
19. Shakoор A., Shahbaz M., Farooq T.H. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage // The Science of the Total Environment. 2021. Vol. 750. P. 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>

20. Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2013. Vol. 164. P. 80–99.

References

1. Babikov B.V., Kobak K.I. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of Higher Educational Institutions. Russian Forestry Journal], 2016. no. 1(349), pp. 6-36.
2. Dokuchaev V.V. *Russkij chernozem* [Russian chernozem] Moscow, Leningrad: Academy of Sciences of the USSR, 1949, vol. III, 360 p.
3. Zalesov S.V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2021, no. 7-2(109), pp. 6-9.
4. Inisheva L.I., Maslov S.G. *Trudy Instorfa* [Works of Instorf], 2013, no. 8(61), pp. 3-10.
5. Klimkina E.V., Morozova T.V. *Upravlenie innovatsionnym razvitiem agroproduktstvennykh sistem na natsional'nom i regional'nom urovnyakh: Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 27–28 oktyabrya 2021 goda* [Management of innovative development of agrifood systems at the national and regional levels: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference, Voronezh, 27-28 October 2021]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Peter the Great. Emperor Peter I, 2021, pp. 287-293.
6. Kogut B.M., Semenov V.M. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Dokuchaev Soil Bulletin], 2020, no. 102, pp. 103-124.
7. Semenov V.M., Ivannikova L.A., Kuzneczova T.V., Semenova N.A., Tulina A.S. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2008, no. 7, pp. 819-832.
8. Chimitdorzhieva G. D., Egorova R. A., Milxev E. Yu., Cybenov Yu. B. *Ras-titel'nyy mir Aziatskoj Rossii: Vestnik Central'nogo sibirskogo botanicheskogo sada SO RAN* [Flora and Vegetation of Asian Russia], 2010, no. 2(6), pp. 33-39.
9. *Pochvennye ocherki rajonov Altajskogo kraja: po materialam OAO «AltajNII-Giprozem» 1980-1990* [Soil sketches of the districts of Altai Krai: based on the materials of AltaiNII-Giprozem OJSC 1980-1990].
10. *Pochvy Altajskogo kraja* [Soils of the Altai Territory]. Moscow: Izd. of the USSR Academy of Sciences, 1959, 382 p.
11. Romanovskaya A.A., Trunov A.A., Korotkov V.N., Karaban R.T. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2018, no. 5, pp. 323-334.

12. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. *Produktivnost' travyanykh ekosistem: spravochnik* [Herbaceous ecosystem productivity: a handbook], Moscow: IBA Publishing House, 2020, 100 p.
13. Kudryavtsev A.E., Vaganov E.S., Shpis T.E., Kanunnikov S.V., Loktionov V.A., Chubykin A.A. *Sekvestratsiya ugleroda yarovoy pshenitsey, l'nom maslichnym, yarovym rapsom v raznoplanovykh sistemakh zemledeliya umerenno-zasushli-voy stepi Altaya: monografiya* [Carbon sequestration by spring wheat, oilseed flax, spring rape in diverse farming systems of temperate arid steppe of Altai: a monograph], Barnaul: AZBUKA Publishing House, 2023, 59 p.
14. Timiryazev K.A. *Zhizn rasteniya* [Life of a plant]. Moscow: Yurait, 2017, 331 p.
15. Houghton R.A., Skole D.L. Carbon The Earth as transformed by human action. *Cambridge*, 1990, pp. 393–412.
16. Lal R. Managing Soils and Ecosystems for Mitigating Anthropogenic Carbon Emissions and Advancing Global Food Security. *BioScience*, 2010, vol. 60, pp. 708–721. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.9.8>
17. Lal R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 2004, vol. 123, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
18. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle. *Bio-geochemistry*, 2000, vol. 48, pp. 7–20.
19. Shakoor A., Shahbaz M., Farooq T.H. A global meta-analysis of greenhouse gases emission and crop yield under no-tillage as compared to conventional tillage. *The Science of the Total Environment*, 2021, vol. 750, pp. 142299. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142299>
20. Stockmann U., Adams M.A., Crawford, J.W. Field D.J., Henakaarchchi N., Jenkins M., Minasny B., McBratney A.B., de Courcelles V.R., Singh K., Wheeler I., Abbott L., Angers D.A., Baldock J., Bird M., Brookes P.C., Chenu C., Jastrow J.D., Lal R., Lehmann J., O'Donnell A.G., Parton W.J., Whitehead D., Zimmermann M. The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2013, vol. 164, pp. 80–99.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Кудрявцев Андрей Ермолаевич, д.б.н., доцент, профессор кафедры почвоведения и агрохимии
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет»
пр-т Красноармейский, 98, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
kae5959@mail.ru

Ваганов Евгений Сергеевич, врио директора

*Федеральное государственное бюджетное учреждение Станция
агрохимической службы «Алейская»*

*пер. Ульяновский 84а, г. Алейск, Алтайский край, 658130, Россий-
ская Федерация*

agrohim_22_2@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey E. Kudryavtsev, MD, Doctor of Biological Sciences, Associate Pro-
fessor, Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry
Altai State Agricultural University

*98, Prospekt Krasnoarmeyskiy, Barnaul 656049, Russian Federation
kae5959@mail.ru*

SPIN-code: 9251-6478

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6904-3661>

ResearcherID: ABI-2726-2020

Scopus Author ID: 57213419641

Evgeny S. Vaganov, Acting Director

'Aleyskaya' Agrochemical Service Station

*84а, per. Ulyanovsky, Aleysk, Altai Territory, 658130, Russian Federation
agrohim_22_2@mail.ru*

Поступила 30.01.2024

После рецензирования 04.03.2024

Принята 15.03.2024

Received 30.01.2024

Revised 04.03.2024

Accepted 15.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-859

УДК 633.11"324":631.8:631.445.51(470.45)



Научная статья

ВЛИЯНИЕ РАННЕВЕСЕННИХ ПОДКОРМОК АММИАЧНОЙ СЕЛИТРОЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЕ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Л. Сапунков

Обоснование. *Озимая пшеница в Волгоградской области, в следствие особенностей климата является основной культурой, занимающей до 2 млн. гектаров. В виду этого обстоятельства значительную часть дохода фермерские хозяйства получают, занимаясь выращиванием именно этой культуры. Однако росту урожайности и как следствие прибыли, мешает излишний консерватизм сельхозтоваропроизводителей. Он ярко проявляется именно в использовании сортов озимой пшеницы, введённых в реестр 15-20 лет назад. Однако эти сорта сейчас уже не могут конкурировать с новыми генотипами, что и было главной темой данной работы. В своей работе мы постарались показать большую эффективность новых сортов на фоне апробированных агрономических приёмов.*

В данной статье приведены результаты трёхлетних исследований сортов АНЦ Донской» в почвенно-климатической зоне каштановых почв Волгоградской области. Учитывая широкое распространение сортов озимой пшеницы этого селекционного центра были отобраны пять наиболее перспективных, с нашей точки зрения, сортов, с целью выяснить особенности формирования урожая в данных условиях на фоне без и с использованием аммиачной селитры.

Целью проведения исследований в сухостепной зоне каштановых почв был выбор сортов озимой пшеницы наиболее эффективно реагирующих на применение ранневесенних азотных удобрений.

Методы и средства. *Опыт проводился 2018-2021 гг. в Октябрьском районе Волгоградской области. На землях КФХ «Кирсанов С.М.». Наблюдения и учёты проводились согласно методике, используемой ФГБНУ «Госсорткомиссия».*

Результаты. *Осенний период развития растений оказал существенное воздействие на формирующие урожайность составляющие. Так густота продуктивного стеблестоя в год с неблагоприятными погодными условиями*

была на 68-72 шт./м² меньше, чем в года с хорошим увлажнением в осенний период на фоне без удобрений и на 64-82 шт./м² на фоне с внесением аммиачной селитры рано весной. Наилучшие результаты по этому показателю были у сортов Донская Степь и Лидия – 358 шт./м² на неудобренном фоне. Краса Дона и Донская Степь – 433 и 417 шт./м² на фоне с удобрением.

В процессе наблюдений значительных различий в показателях массы 1000 семян среди сортов озимой пшеницы не выявлено, однако применение удобрений привело к увеличению этого показателя на 6-8 %.

Сорта, проходившие испытания, показали хорошую урожайность для данной почвенно-климатической зоны. Так, средняя урожайность на фоне без удобрений составила 3,15 т/га. Заметна была и дифференциация сортов по этому показателю. Сорта Донская Степь и Лидия сформировали урожайность 3,31 т/га, что значительно превысило урожайность сорта Ермак – 2,77 т/га, выступавшего в качестве контроля. Внесение на посевы аммиачной селитры существенно улучшило показатель урожайности. Средняя урожайность на участке испытаний составила 3,75 т/га. Сорта-лидеры – Краса Дона и Донская Степь сформировали урожайность на уровне 3,94 и 3,92 т/га соответственно, что более, чем на 0,6 т/га больше контрольного сорта Ермак – 3,3 т/га.

Ключевые слова: озимая пшеница; урожайность; сорта; продуктивные стебли; аммиачная селитра; масса 1000 семян

Для цитирования. Сапунков В.Л. Влияние ранневесенних подкормок аммиачной селитрой на урожайность сортов озимой пшеницы в сухостепной зоне каштановых почв Волгоградской области // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 290-304. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-859

Original article

THE EFFECT OF EARLY SPRING FERTILIZING WITH AMMONIUM NITRATE ON THE YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT VARIETIES IN THE DRY-STEPPE ZONE OF CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

V.L. Sapunkov

Background. Winter wheat in the Volgograd region, as a result of the peculiarities of the climate, is the main crop, occupying up to 2 million hectares. In view

of this circumstance, farms receive a significant part of their income by cultivating this particular crop. However, the excessive conservatism of agricultural producers hinders the growth of yields and, as a result, profits. It is clearly manifested in the use of winter wheat varieties introduced into the register 15-20 years ago. However, these varieties can no longer compete with new genotypes, which was the main topic of this work. In our work, we have tried to show the great effectiveness of new varieties against the background of proven agronomic techniques.

This article presents the results of three-year studies of ANTS Donskoy varieties in the soil-climatic zone of chestnut soils of the Volgograd region. Taking into account the wide distribution of winter wheat varieties of this breeding center, five of the most promising, from our point of view, varieties were selected in order to find out the peculiarities of crop formation in these conditions against the background without and with the use of ammonium nitrate.

The purpose of the research in the dry-steppe zone of chestnut soils was to select winter wheat varieties that respond most effectively to the use of early spring nitrogen fertilizers.

Methods and means. The experiment was conducted 2018-2021 in the Oktyabrsky district of the Volgograd region. On the lands of the farm "Kirsanov S.M.". Observations and records were carried out according to the methodology used by the FGBNU "State Transport Commission".

Results. The autumn period of plant development had a significant impact on the components forming the yield. Thus, the density of the productive stem in a year with adverse weather conditions was 68-72 pcs/m² less than in a year with good moisture in the autumn period against a background without fertilizers and 64-82 pcs/m² against a background with the introduction of ammonium nitrate in early spring. The best results for this indicator were in the varieties Don Steppe and Lydia – 358 pcs. / m² on a windless background. The beauty of the Don and the Don Steppe – 433 and 417 pcs / m² on the background with fertilizer.

In the course of observations, there were no significant differences in the weight of 1000 seeds among winter wheat varieties, but the use of fertilizers led to an increase in this indicator by 6-8%.

The varieties tested showed good yields for this soil-climatic zone. Thus, the average yield against the background without fertilizers was 3.15 t/ha. The differentiation of varieties by this indicator was also noticeable. The Don Steppe and Lydia varieties formed a yield of 3.31 t/ha, which significantly exceeded the yield of the Ermak variety – 2.77 t/ha, which acted as a control. The introduction of ammonium nitrate on crops significantly improved the yield index. The average yield at the test site was 3.75 t/ha. The leading varieties – the Beauty of the Don and the Don Steppe

formed yields at the level of 3.94 and 3.92 t/ha, respectively. What is whiter than 0.6 t/ha is more than the control variety Ermak – 3.3 t/ha.

Keywords: winter wheat; yield; varieties; productive stems; ammonium nitrate; weight of 1000 seeds

For citation. Sapunkov V.L. The Influence of Early Spring Fertilizing with Ammonium Nitrate on the Yield and Quality of Winter Wheat Varieties in the Dry-Steppe Zone of Chestnut Soils of the Volgograd Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 290-304. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-859

Введение

Производство озимой пшеницы для фермеров Волгоградской области основной вид сельскохозяйственных работ, генерирующий существенную прибыль [1; 8-10; 14-16]. Известно, что ранневесеннее применение азотных удобрений в посевах озимой пшеницы позволяет значительно увеличить урожайность и улучшить качество получаемого зерна и как следствие доход. Однако эти положительные изменения свойств товарной продукции под воздействием азотных удобрений сильно зависят от свойств сорта [1-4].

Особую роль приобретают удобрения при внедрении в производство новых интенсивных сортов озимой пшеницы, потенциальные возможности которых могут проявиться только при полном обеспечении их повышенными дозами элементов питания [6; 7; 10].

Удобрения позволяют растениям более экономно использовать почвенную влагу и тем самым являются мощным средством в борьбе с засухой. Они повышают устойчивость их к вредителям и болезням, улучшают качество продукции, в частности увеличивают содержание белка в зерне. Только при их внесении удастся получить зерно, удовлетворяющее требованиям ГОСТа на сильную пшеницу [11-13; 17-20].

Учитывая тот факт, что в Волгоградской области подавляющее количество высеваемых сортов селекции АНЦ «Донской», мы в процессе своих трёхлетних испытаний изучали эффективность внесения аммиачной селитры на наиболее распространённых и перспективных сортах этого селекционного центра.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в сухостепной зоне каштановых почв, в Октябрьском районе Волгоградской области. Земельный участок и технику для проводимых работ предоставило КФХ «Кирсанов С.М.». х. Жутово 1.

Технология обработки почвы – глубокая, отвальная вспашка. Предшественник – чёрный пар. Срок посева был выбран оптимальный для данной зоны исследований – 10 сентября. Норма высева, рекомендованная для данной зоны – 4,0 млн. шт. семян на гектар. Посев проводился сеялкой СКП 2.1 «Омичка» с анкерными сошниками. Ширина деланки 12,6 м, длинна 300 м. Почва суглинистая, тяжёлого механического состава. Содержание гумуса – 1,5 %, азота – низкое, фосфора – среднее, обменного калия – высокое. Сорт озимой пшеницы Ермак, использовался в качестве контроля.

Внесение аммиачной гранулированной селитры на опытных участках проводилось в оптимальные сроки – в сроки максимально приближенные к началу вегетации посевов. В 2019-2020 годах в конце февраля (21-26.02), в 2021 году во второй декаде марта (14.03). Внесение осуществлялось разбросным способом. С помощью разбрасывателя «Туман-2М». На посевы вносилось по 100 кг/га аммиачной селитры в ф. в. (34,4 % по д.в.).

Обследования и учёты проводились по общепринятым методикам [3; 6]:

- Определение коэффициента кущения, густоты стояния осуществлялся методом отбора образцов с последующим подсчетом, в 3 – кратной повторности;
- Определение у растений фазы «выход в трубку» осуществлялось визуально у выкопанных растений;
- Густота продуктивного стеблестоя определялась подсчетом растений при помощи рамки площадью 0,25 м², в 3 – кратной повторности.

Результаты и обсуждения

Значительное влияние на эффективность применения азотных удобрений в ранневесенний период оказывает развитие посевов осенью, то есть кущение, густота стояния растений на момент окончания вегетации.

Погодные условия осени в 2018-2019 годах были благоприятными для сева. В сентябре – октябре выпало от 40 до 60 мм осадков соответственно. Количество взойшедших растений варьировалось от 3,0 до 3,4 млн. шт./га. При среднемесячной температуре 16-18 °С и хорошем увлажнении полевой всхожесть составила 75-85 %.

Несколько иная картина сложилась осенью 2020 года. За сентябрь-октябрь выпало около 20 мм. Что при высокой температуре воздуха (более 30 °С в сентябре) привело к снижению полевой всхожести до 53-60 % и густоты стояния растений до 2,1-2,4 млн. шт./га.

Такие особенности погоды повлияли и на индивидуальное развитие растений. Коэффициент кущения в годы с благоприятным увлажнением

(2018-2019 гг.) в среднем составил 4,1 и 4,7 побега на растение. В жёстком по погодным условиям 2020 г. только 2,6.

Тем не менее, в целом, можно констатировать, что несмотря на некоторое отличие в развитии растений и густоте стояния по годам исследования посевы находились в удовлетворительном состоянии перед уходом в зиму.

Перезимовка посевов за время исследований проходила в благоприятных погодных условиях. Несмотря на то, что снежный покров практически отсутствовал, воздействие отрицательных температур (менее -10°C) на посевы было минимальным (не более 3-5 дней). Ледяная корка не формировалась. В следствие этого уменьшение густоты стояния и габитуса растений были незначительные.

Доказано, что на величину прибавки от внесения азотных удобрений значительное влияние оказывает количество осадков в апреле-мае. Перед и непосредственно в фазу «выход в трубку». За период исследований в это время выпало около 70 – 75 мм. Что несколько превышает среднегодовую норму (68 мм). На таком фоне действие азотных удобрений было более полным.

На величину продуктивности посевов озимой пшеницы оказывают влияние различные элементы структуры урожая. Это масса 1000 зёрен; количество зёрен в колосе, вес колоса, количество продуктивных стеблей. Рассмотрим, как применение азотных удобрений повлияло на эти показатели (таблица 1).

Таблица 1.

Густота продуктивного стеблестоя сортов без внесения аммиачной селитры, шт./м²

№	Сорт	Количество продуктивных стеблей, шт/м ²			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	344	318	278	313
2	Краса Дона	363	379	325	356
3	Донская Степь	398	367	307	358
4	Этюд	368	383	280	344
5	Лидия	360	408	306	358
	Среднее	367	371	299	346
	НСР05	18	19	15	17

Наибольшее влияние в зоне исследований на формирование урожайности оказывает величина продуктивного стеблестоя. В таблице 1 представ-

лены результаты подсчёта продуктивных стеблей испытываемых сортов за период проведения исследований на фоне без удобрений. Мы видим значительное отличие количества продуктивных стеблей в зависимости от сложившихся погодных условий. Если в 2019 и 2020 годах их значение варьировало от 318 до 408 шт./м², то 2021 году от 278 до 307 шт./м². Среди сортов, сформировавших наиболее плотный стеблестой, в среднем, можно выделить Донскую Степь и Лидию (358 шт./м²).

Внесение аммиачной селитры в ранневесенний период значительно улучшило этот показатель.

Таблица 2.

Густота продуктивного стеблестоя сортов с внесением аммиачной селитры, шт./м²

№	Сорт	Количество продуктивных стеблей, шт/м ²			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	420	396	319	378
2	Краса Дона	444	459	397	433
3	Донская Степь	440	432	380	417
4	Этюд	426	476	332	411
5	Лидия	386	442	368	399
	Среднее	423	441	359	408
	НСР05	21	22	18	20

В 2019-2020 годах растения набрали от 386 до 476 продуктивных стеблей на 1 м² (таблица 2). В менее благоприятном 2021 году – 319-397 шт./м². Сорта озимой пшеницы Донская Степь и Краса Дона были лидерами по этому показателю на удобренном фоне – 417 и 433 шт./м².

Таким образом, применение ранневесенней подкормки позволило увеличить продуктивный стеблестой в среднем, в зависимости от года испытаний, на величину от 56 до 70 шт./м².

Так же наблюдается положительная тенденция при измерении массы 1000 зёрен на посевах с внесением аммиачной селитры по сравнению с участком без внесения этого азотного удобрения (таблица 3).

Масса 1000 зёрен несколько менялась в зависимости от сорта на фоне без удобрений, однако в течение периода наблюдений эти изменения были незначительные. Так в 2019 году этот показатель находился в интервале 34,5-36,0 г.; в 2020 году 34,8-36,4 г.; в 2021 году 34,4-35,8 г. Это связано в первую очередь с тем, что на этот параметр влияет интенсивность развития растений и их количество.

Таблица 3.

Масса 1000 зёрен в зависимости от сорта озимой пшеницы, без внесения аммиачной селитры, г.

№	Сорт	Масса 1000 зёрен, г.			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	34,5	34,8	34,4	34,6
2	Краса Дона	35,4	35,9	35,4	35,6
3	Донская Степь	36,0	36,2	35,8	36,0
4	Этюд	35,7	35,8	34,9	35,5
5	Лидия	35,8	36,4	35,8	36,0
	Среднее	35,5	35,8	35,3	35,5
	НСР05	1,8	1,8	1,8	1,8

Использование аммиачной селитры заметно улучшило значение массы 1000 зёрен (таблица 4).

Таблица 4.

Масса 1000 зёрен в зависимости от сорта и азотной подкормки

№	Сорт	Масса 1000 зёрен, г.			
		2019	2020	2021	Среднее
1	Ермак (к)	36,7	37,0	36,3	36,7
2	Краса Дона	38,8	38,9	37,8	38,5
3	Донская Степь	38,6	39,3	38,3	38,7
4	Этюд	38,3	38,5	37,2	38,0
5	Лидия	39,0	39,1	38,2	38,8
	Среднее	38,3	38,6	37,6	38,1
	НСР05	1,9	1,9	1,9	1,9

В 2019 году оно составило 36,7-39,0 г.; в 2020 году 37,0-39,3 г.; в 2021 году 36,3-38,3 г. Таким образом, в среднем, в следствии улучшения питания растений, масса 1000 зёрен увеличилась на 6-8 % за период проведения наблюдений, на фоне роста густоты стояния продуктивных стеблей исследуемых сортов. Несмотря на то, что показатели массы 1000 семян всех сортов были близки по своим значениям, можно выделить из них такие сорта как Донская Степь и Лидия – 38,7 и 38,8 г соответственно.

Все эти положительные изменения основных элементов структуры урожая нашли своё отражение в увеличении урожайности сортов озимой пшеницы находившихся в испытаниях.

Контрольный ярус, то есть ярус без внесения удобрений, сформировал достаточно высокую, для данной почвенно-климатической зоны урожайность (таблица 5).

Таблица 5.

Урожайность без внесения аммиачной селитры, т

№	Сорт	Урожайность, т/га			
		2019	2020	2021	среднее
1	Ермак (к)	3,10	2,91	2,31	2,77
2	Краса Дона	3,40	3,51	2,79	3,23
3	Донская Степь	3,66	3,45	2,81	3,31
4	Этюд	3,34	3,59	2,48	3,14
5	Лидия	3,40	3,78	2,76	3,31
	Среднее	3,38	3,45	2,63	3,15
	НСР05	0,2	0,2	0,1	0,2

В 2019 году урожайность составила 3,10-3,66 т/га; в 2020 году 2,91-3,78 т/га; в 2021 году 2,31-2,81 т/га. Некоторое снижение урожайности сортов озимой пшеницы в 2021 году связано, в первую очередь с жёсткими условиями осени 2020 года, повлёкшими за собой снижение продуктивного стеблестоя. Наибольшую урожайность, без применения азотной подкормки показали сорта Донская Степь и Лидия – 3,31 т/га в среднем за три года испытаний.

Использование азотных удобрений позволило существенно нарастить этот показатель (таблица 6).

Таблица 6.

Урожайность на фоне подкормки аммиачной селитрой, т

№	Сорта	Урожайность, т/га			
		2019	2020	2021	среднее
1	Ермак (к)	3,71	3,54	2,66	3,30
2	Краса Дона	4,14	4,34	3,28	3,92
3	Донская Степь	4,28	4,25	3,28	3,94
4	Этюд	3,94	4,33	2,87	3,71
5	Лидия	3,97	4,51	3,16	3,88
	Среднее	4,01	4,19	3,05	3,75
	НСР05	0,2	0,2	0,2	0,2

В 2019 году урожайность составила 3,71- 4,28 т/га; в 2020 году 3,54-4,51 т/га; в 2021 году 2,66-3,28 т/га. Прибавка от применения аммиачной селитры составила в среднем в 2019 году 0,63 т/га; в 2020 году 0,74 т/га; в 2021 году 0,42 т/га. На фоне с применением аммиачной селитры наилучшие результаты, в среднем, показали сорта Донская Степь – 3,94 т/га и Краса Дона 3,92 т/га.

Селекционный процесс – непрерывный конвейер улучшения, адаптации генотипа, в данном случае, сельскохозяйственных культур. Однако изменения свойств, и реакции на воздействие окружающей среды, новых сортов, требует адаптации и апробирования в условиях конкретной почвенно-климатической зоны. Этот процесс, другими словами экологические испытания, является важным этапом на пути внедрения в реальное производство новых селекционных достижений. В сложных условиях современного зернового производства чрезвычайно важно выбрать наиболее эффективный способ повышения урожайности, который позволяет без особых затрат выйти на новый уровень дохода, и что важно, без значительных изменений технологии. Это, в первую очередь, использование новых сортов. Именно детальное изучение поведения нового сорта, в конкретных условиях почвенно-климатической зоны, на фоне существующих технологий, даёт новое практическое знание, востребованное в реальном производстве.

Заключение

Испытания сортов проходили в годы с контрастными погодными условиями, несмотря на это, в целом, сорта озимой пшеницы смогли сформировать удовлетворительный продуктивный стеблестой для данной почвенно-климатической зоны – 299-371 шт./м² на фоне без применения средств интенсификации и хороший продуктивный стеблестой на фоне ранневесеннего внесения аммиачной селитры – 359-441 шт./м². Наилучшие показатели, в среднем за три года, здесь были у сорта Донская Степь и Лидия – 358 шт./м² без удобрений и у сорта Краса Дона 433 шт./м² на удобренном фоне.

Несмотря на то, что масса 1000 семян, за время исследований, не значительно зависела от сортовых особенностей, можно отметить такие сорта как Донская Степь и Лидия с массой – 36,0 г. без удобрений и 38,8 г. на удобренном фоне, в среднем за три года. Можно так же констатировать, что внесений аммиачной селитры рано весной привело к росту этого показателя на 6–8 %.

Сорта, проходившие испытания, в целом, показали хорошую урожайность, обусловленную ограниченными ресурсами элементов питания и влаги, сухостепной зоны каштановых почв. На участке без удобрений средняя урожайность за три года составила 3,15 т/га. Можно отметить такие сорта как Донская Степь и Лидия с урожайностью 3,31 т/га.

Изменение условий питания растений позволило существенно нарастить продуктивность посевов: на 0,63 т/га в 2019 году; 0,74 т/га в 2020 году и на 0,42 т/га в 2021 году. Лучше других отреагировали на улучшение питания такие сорта как Донская Степь – 3,94 т/га и Краса Дона – 3,92 т/га, в целом, за три года исследований.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках государственного задания № 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. Долгополова Н. В., Бабаскина А.А. Влияние стимуляторов роста на развитие и продуктивность озимой пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 1. С. 34-41.
2. Влияние листовых подкормок пшеницы озимой микроудобрениями марки «поли-фид» на урожайность и качество зерна в условиях Орловской области /Дорогавцев С.Ю., Соболев Е.В., Тареева М.М., Бурцев А.Ю., Горбунов А.И., Романов В.С., Козарь Е.Г., Ронен Й., Куприянов А. // Овощи России. 2019. № 2 (46). С. 74-79.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. для выс. с.-х. уч. заведений. Сте-реотипное издание. Перепечатка с 5-го изд., доп. и переработ., 1985 г. М.: Альянс, 2011. 351с.
4. Ивенин А.В., Богомолова Ю.А., Саков А.П. Экономическая эффективность выращивания зерновых культур в зависимости от систем обработки почвы и применения удобрений // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 22-27.
5. Комплексное исследование воздействия стимуляторов роста и микробиодоб-рения на продуктивность озимой пшеницы / Мамсиоров Н.И., Мнат-саканян А.А., Загорулько А.В., Макаров А.А. // Новые технологии. 2022. Т. 18. № 4. С. 180-191.
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск второй: зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые куль-туры. М.: из-во Калининская областная типография управления издательств, полиграфии и книжной торговли Калининского облисполкома, 1989. 194 с.
7. Маркова И.Н., Гузенко А.Ю., Солонкин А.В. Перспективы создания адаптивных сортов твёрдой пшеницы для Волгоградской области // Изве-

- ствия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3(63). С. 141-151.
8. Набойченко К.В., Молчанов В.Н., Малахова А.А. Сорта озимой пшеницы Волгоградской селекции в засушливых условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3(31). С. 95-98.
 9. Нуштаева А.В., Блинохватова Ю.В., Власова Т.А., Чекаев Н.П. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян // Нива Поволжья. 2021. №1. С. 58.
 10. Радайкина Л.М., Камалихин В.Е. Влияние категории семян озимой пшеницы на урожайность. // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 92-14. С. 116-118.
 11. Сапунков В. Л., Солонкин А.В., Гузенко А.В. Экологическое испытание сортов озимой пшеницы «АНЦ «Донской» в зоне тёмно-каштановых почв Волгоградской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 88-94.
 12. Семинченко Е.В. Влияние способов обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья // Агрохимия. 2021. № 12. С. 75-81.
 13. Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. Влияние системы обработки на содержание продуктивной влаги в почве в Северной лесостепи Кузнецкой котловины // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 3 (117). С. 55-59.
 14. Application of the main elements of resource-saving environmentally safe technologies in the cultivation of spring grain crops in the Central zone of the North-East of the European part of Russia / L. M. Kozlova, F. A. Popov, E. N. Noskova, et al. // Problems of intensification of animal husbandry taking into account environmental protection and production of alternative energy sources, including biogas: collection of articles. Warsaw: Institute of technology and science Valenth, 2018. P. 67-74.
 15. Efficiency of growing winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems / Gyrka A.D., Viniukov O.O., Gyrka T.V., Bokun O.I., Kulyk A.O. // Grain crops. 2019. Vol. 3. No 1. P. 62-67.
 16. Guzenko A. Yu., Seminchenco E. V. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia // Research on Crops. 2023. Vol. 24. No. 2. P. 270-275. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.roc_916
 17. Promising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development / Zelenev A.V., Chamurliev O.G., Krivtsov I.V., Kholod A.A., Sidorov A.N., Vorontsova E.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/965/1/012003>

18. Shatokhin A.A., Chamurliov O.G., Zelenev A.V., Chamurliov G.O., Vorontsova E.S. Field crop rotations in organic agriculture of the Volgograd region // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 27. 00152. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202700152>
19. Semichenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. 2022. No. 1 (23). P. 40-45. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.007>
20. Semichenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region // Research on Crops. 2021. No. 4(22). P. 792-797. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2021.132>
21. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Semichenko E.V. Crop Rotations Ensuring The Greatest Yields under Dry Conditions of the Lower Volga Region Water-Saving Irrigation Regimes for Vegetable Crop Production Under Conditions of Volga-Don Interfluvium // Journal of Agronomy and Animal Industries. 2018. Vol. 13(3). P. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>

References

1. Dolgoplova N.V., Babaskina A.A. Effect of growth stimulants on the development and productivity of winter wheat. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2022, no. 1, pp. 34-41.
2. Effect of leaf fertilization of winter wheat with microfertilizers brand “poly-feed” on yield and grain quality in the conditions of the Orel region / Dorogavtsev S.Y., Sobolev E.V., Tareeva M.M., Burtsev A.Y., Gorbunov A.I., Romanov V.S., Kozar E.G., Ronen J., Kupriyanov A. *Vegetables of Russia*, 2019, no. 2 (46), pp. 74-79.
3. Dospekhov B.A. *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural educational institutions*. M.: Alliance, 2011, 351 pc.
4. Ivenin A.V., Bogomolova Yu.A., Sakov A.P. Economic efficiency of growing grain crops depending on soil tillage systems and fertilizer application. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*, 2021, vol. 16, no. 1 (61), pp. 22-27.
5. Complex study of the effect of growth stimulants and microbiofertilizers on the productivity of winter wheat / Mamsirov N.I., Mnatsakanyan A.A., Zagorulko A.V., Makarov A.A. *New Technologies*, 2022, vol. 18, no. 4, pp. 180-191.
6. *Methods of state variety testing of agricultural crops. Issue two: cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops*. M., 1989, 194 p.
7. Markova I.N., Guzenko A.Yu., Solonkin A.V. Prospects for the creation of adaptive varieties of durum wheat for the Volgograd region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*, 2021, no. 3(63), pp. 141-151.

8. Naboychenko K.V., Molchanov V.N., Malakhova A.A. Winter wheat varieties of Volgograd selection in arid conditions of the Lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*, 2013, no. 3(31), pp. 95-98.
9. Nushtaeva A.V., Blinokhvatova Y.V., Vlasova T.A., Chekaev N.P. Effect of microfertilizers based on chelate complexes on seed germination. *Niva Povolzhye*, 2021, no. 1, p. 58.
10. Radaykina L.M., Kamalikhin V.E. Influence of the category of winter wheat seeds on the yield. *Tendencies of science and education development*, 2022, no. 92-14, pp. 116-118.
11. Sapunkov V.L., Solonkin A.V., Guzenko A.V. Ecological testing of winter wheat varieties "ANC 'Donskoy' in the zone of dark chestnut soils of Volgograd region. *Grain farming of Russia*, 2021, no. 6(78), pp. 88-94.
12. Seminchenko E.V. Influence of soil treatment methods on its water-physical properties in the conditions of the dry-steppe zone of the Lower Volga region. *Agrochemistry*, 2021, no. 12, pp. 75-81.
13. Yamshchikov M.A., Pakul V.N. Influence of tillage system on the productive moisture content in the soil in the Northern forest-steppe of the Kuznetsk Basin. *International Research Journal*, 2022, no. 3 (117), pp. 55-59.
14. Application of the main elements of resource-saving environmentally safe technologies in the cultivation of spring grain crops in the Central zone of the North-East of the European part of Russia / L. M. Kozlova, F. A. Popov, E. N. Noskova, et al. *Problems of intensification of animal husbandry taking into account environmental protection and production of alternative energy sources, including biogas: collection of articles*. Warsaw: Institute of technology and science Valenth, 2018, pp. 67-74.
15. Efficiency of growing winter wheat depending on the soil tillage and sowing systems / Gyrka A.D., Viniukov O.O., Gyrka T.V., Bokun O.I., Kulyk A.O. *Grain crops*, 2019, vol. 3, no. 1, pp. 62-67.
16. Guzenko A. Yu., Seminchenko E. V. The study of the dependence of biological products and the yield of spring barley (*Hordeum vulgare*) variety 'Ratnik' in arid conditions of the Volgograd region, Russia. *Research on Crops*, 2023, vol. 24, no. 2, pp. 270-275. https://doi.org/10.31830/2348-7542.2023.roc_916
17. Promising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development / Zelenev A.V., Chamurliev O.G., Krivtsov I.V., Kholod A.A., Sidorov A.N., Vorontsova E.S. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/965/1/012003>
18. Shatokhin A.A., Chamurliev O.G., Zelenev A.V., Chamurliev G.O., Vorontsova E.S. Field crop rotations in organic agriculture of the Volgograd region.

- BIO Web of Conferences*, 2020, vol. 27, 00152. <https://doi.org/10.1051/bio-conf/20202700152>
19. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt. *Research on Crops*, 2022, no. 1 (23), pp. 40-45. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.007>
 20. Seminchenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region. *Research on Crops*, 2021, no. 4(22), pp. 792-797. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2021.132>
 21. Zelenev A.V., Pleskachev Yu.N., Seminchenko E.V. Crop Rotations Ensuring The Greatest Yields under Dry Conditions of the Lower Volga Region Water-Saving Irrigation Regimes for Vegetable Crop Production Under Conditions of Volga-Don Interfluve. *Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2018, vol. 13(3), pp. 216-223. <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-3-216-223>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Сапунков Виталий Леонидович, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук»
Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация
svl-01@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHOR

Vitaly L. Sapunkov, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery
*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
svl-01@mail.ru
SPIN-code: 7726-0004
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2425-2611>*

Поступила 18.11.2023

После рецензирования 10.01.2024

Принята 20.01.2024

Received 18.11.2023

Revised 10.01.2024

Accepted 20.01.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

УДК 633.2:539.16



Научная статья

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ В АДАПТАЦИИ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕНОКОСОВ ДЛЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

А.Л. Силаев, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский

Актуальность. Исследование защитных мероприятий позволяющих вернуть выбывшие в результате последствий аварии на ЧАЭС земли в сельскохозяйственное производство, в частности в кормопроизводство, весьма актуально.

Методы и средства. В период с 2014 по 2021 годы на территории центральной поймы (заливной луг) реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs 555-867 КБк/м² провели исследования в целью определения роли минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных сенокосов для кормопроизводства, определяли удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, рассчитывали переход ^{137}Cs по трофической цепи.

Результаты. Установили, что использовать пойменные луга при плотности загрязнения ^{137}Cs свыше 555 КБк/м² в качестве сенокосов в условиях юго-запада Брянской области недопустимо, ДУ превышает норматив в более 5 раз, как в период первого, так и второго укосов. Максимальные значения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя определяли в годы с минимальным выпадением осадков и коротким поённым процессом, а минимальные в годы максимальным выпадением осадков и продолжительным поённым процессом. Применение возрастающих доз фосфорно-калийного удобрения под первый укос и калийного удобрения под второй укос достоверно снижало удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя соответственно до 348 и 294 Бк/кг. При ведении кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения необходимо понимать, что повышение урожайности естественного травостоя за счет повышения доз азотного удобрения приведет к увеличению накопления ^{137}Cs в продукции кормопроизводства, калийное удобрения нивелирует данный отрицательный эффект. Выявили, что с увеличением со-

отношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается удельная активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, как в период первого, так и второго укосов.

Заключение. Прошло 37 лет с момента аварии на Чернобыльской АЭС, прошел первый период полураспада ^{137}Cs , однако результаты наших исследований показывают, что на заливных лугах юго-запада Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м² невозможно получить воздушно-сухую массу естественного травостоя с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs . Выявили, что калийные удобрения достоверно снижают удельную активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, а азотные удобрения ее повышали. При этом возрастающие дозы калийных удобрений снижали негативное действие азота.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; кормопроизводство; сенокос заливного луга; минеральные удобрения; Брянская область

Для цитирования. Силаев А.Л., Белоус Н.М., Смольский Е.В. Роль минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных сенокосов для кормопроизводства // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 305-322. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

Original article

ROLE OF MINERAL FERTILIZER IN ADAPTATION OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED HAYFIELDS FOR FEED PRODUCTION

A.L. Silaev, N.M. Belous, E.V. Smolsky

Relevance. The study of protective measures allowing to return the retired land, as a result of the consequences of the Chernobyl accident, to agricultural production, in particular, to feed production, is very important.

Methods and means. In the period from 2014 to 2021, on the territory of the central floodplain (flood meadow) of the Iput River, Novozybkovsky District, Bryansk Region, with a pollution density of ^{137}Cs 555-867 kBq/m² conducted studies in order to determine the role of mineral fertilizer in the adaptation of radioactively contaminated hayfields for feed production, determined the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, calculated the transition of the ^{137}Cs along the trophic chain.

Results. It was established that it is unacceptable to use floodplain meadows as hayfields with a ^{137}Cs pollution density of more than 555 kBq/m² in the conditions

of the south-west of the Bryansk region, the DN exceeds the standard by more than 5 times, both during the first and second slopes. The maximum values of specific activity ^{137}Cs air-dry mass of natural grass stand were determined in years with minimal precipitation and a short feeding process, and the minimum in years with maximum precipitation and a long feeding process. The use of increasing doses of phosphorus-potassium fertilizer for the first bite and potassium fertilizer for the second bite significantly reduced the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, respectively, to 348 and 294 Bq/kg. When conducting fodder production under radioactive contamination conditions, it should be understood that increasing the yield of natural grass due to increasing doses of nitrogen fertilizer will lead to an increase in the accumulation of ^{137}Cs in the fodder production products, potash fertilizer will neutralize this negative effect. It was revealed that with an increase in the ratio of potassium to nitrogen in mineral fertilizer, the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of the natural grass stand significantly decreases, both during the period of the first and second bows.

Conclusion. 37 years have passed since the accident at the Chernobyl nuclear power plant, the first half-life of the ^{137}Cs has passed, but the results of our research show that in the flood meadows of the south-west of the Bryansk region, with a pollution density ^{137}Cs the territory of more than 555 kBq/m², it is impossible to obtain an air-dry mass of natural grass with an acceptable level of ^{137}Cs content. It was revealed that potash fertilizers reliably reduce the specific activity of the ^{137}Cs air-dry mass of natural grass, and nitrogen fertilizers increased it. At the same time, increasing doses of potash fertilizers reduced the negative effect of nitrogen.

Key words: radioactive contamination; fodder production; haymaking of filling meadow; mineral fertilizers; Bryansk region

For citation. Silaev A.L., Belous N.M., Smolsky E.V. Role of Mineral Fertilizer in Adaptation of Radioactively Contaminated Hayfields for Feed Production. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 305-322. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-879

Введение

Результатом аварии на Чернобыльской АЭС стало масштабное загрязнение искусственными радионуклидами огромных площадей сельскохозяйственных угодий не только в России, но и в Белоруссии и на Украине [1; 2; 8; 23]. Территория Брянской области подверглась наибольшему радиоактивному загрязнению, как по площади, так и по уровню загрязнения среди областей РФ, функционирование в регионе сельского хозяйства на многие годы связано с преодолением последствий выпадения радиоак-

тивных осадков [7; 25]. Для возвращения в хозяйственное пользование радиоактивно загрязненных территорий необходимо добиться получения продукции кормопроизводства, растениеводства и животноводства с допустимыми уровнями загрязнения, отвечающей нормам радиационной безопасности [6; 16; 18].

В Брянской области динамично увеличивается поголовье крупного рогатого скота, производство зерна, картофеля, молока. Это связано с широким применением инновационных технологий и реализацией крупных инвестиционных проектов в отрасли животноводства и растениеводства, эффективной работой каждого предприятия, фермерского хозяйства, сотрудничеством с учеными, внедрением научных достижений, использованием новейших селекционных достижений, семян, гибридов и государственной поддержкой.

В отрасли животноводства основной задачей является увеличение поголовья молочного скота, роста продуктивности и производства молока. В какой-то момент развитие животноводства упрётся в нехватку площадей кормовых угодий, в то время как резервом для ведения кормопроизводства в Брянской области могут являться естественные кормовые угодья загрязненные ^{137}Cs [9; 13; 19]. По данным ФГУП Брянкагрохимрадиология площадь кормовых угодий с уровнем радиоактивного загрязнения выше 37 кБк/м^2 составляет 118 733 га или 29 % от все площади сенокосов и пастбищ, а с загрязнением выше 555 кБк/м^2 – 17 134 га, которые приходятся на 7 юго-западных районов Брянской области [21; 23].

Поэтому исследование специальных мер позволяющих вернуть выбывшие в результате последствий аварии на ЧАЭС земли в сельскохозяйственное производство, в частности в кормопроизводство, весьма актуально.

Целью настоящей работы являлось изучение действия минерального удобрения на миграцию ^{137}Cs в условиях заливных лугов в системе «почва–растение» и прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства при плотности радиоактивного загрязнения выше 555 кБк/м^2 .

Методы и средства

Экспериментальной базой исследований в период с 2014 по 2021 годы была территории центральной поймы (заливной луг) реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области с плотностью загрязнения ^{137}Cs $555\text{--}867 \text{ кБк/м}^2$, на котором в 1994 году был заложен стационарный многолетний луговой опыт по исследованию возможности использования радиоактивно

загрязнённых кормовых угодий в кормопроизводстве. Почвенный покров исследуемой территории представлен аллювиальной луговой песчаной почвой, со следующими агрохимическими показателями: $C_{\text{орг.}}$ – 3,0-3,2%; pH_{KCl} – 5,2-5,6 ед., P_2O_5 – 106-244 и K_2O – 89-120 мг/кг.

Поёмный процесс в зависимости от года длился от 0 до 15 дней.

Эксперимент включал в себя следующие варианты применения минерального удобрения: 1. Контроль (без применения минерального удобрения), 2. P60K90, 3. P60K120, 4. N90P60K90, 5. N90P60K120, 6. N90P60K150, 7. N120P60K120, 8. N120P60K150, 9. N120P60K180. В период от возобновления роста до первого укоса естественного травостоя вносили полной нормой фосфорные удобрения (простой гранулированный суперфосфат) и половину нормы азотных и калийных удобрений (аммиачную селитру и калий хлористый) в период после первого укоса вносили оставшуюся половину азотных и калийных удобрений (табл. 1).

Учетные делянки имели площадь 60 м², повторность опыта – 3-кратная.

Отбор растительных образцов проводили: первый – середина июня, второй – конец августа. Растительный покров территории эксперимента был представлен травами семейства мятликовые: *Festuca pratensis* Huds., *Alopecurus pratensis* L., *Phleum pratense* L., разнотравье составляет не более 10% от общего количества.

В воздушно-сухой массе растительных образцов определяли удельную активность ¹³⁷Cs на УКС «Гамма Плюс» (Россия), погрешность измерений не более 10%, в центре коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ

Кратность снижения ¹³⁷Cs (Kc) определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя полученного без применения минерального удобрения к удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя полученного с применения удобрения.

Вынос ¹³⁷Cs с урожаем определяли как произведение урожайности воздушно-сухой массы естественного травостоя и её удельной активности ¹³⁷Cs.

Коэффициент накопления (Kn) определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя к удельной активности ¹³⁷Cs почвы в месте отбора растительных образцов.

Показатель агроэкологической пригодности (ПАП) конкретной загрязненной территории определяли как отношение удельной активности ¹³⁷Cs (Бк/кг) в воздушно-сухой массе естественного травостоя к допустимому уровню содержания по соответствующему нормативу [4].

Удельную активность ^{137}Cs молока и мяса рассчитывали как произведение величин суточного поступления корма, удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы и равновесного коэффициента перехода радионуклида в продукцию животноводства.

Величину дозы внутреннего облучения человека, получаемой за счет молока и мяса, рассчитывали согласно методическим указаниям [24]. Потребление молока и молочных изделий в пересчете на количество молока в год принимали равными 200,8 л/год, мяса – 31,4 кг/год, согласно закону «О потребительской корзине в Брянской области».

Полученные результаты статистически обрабатывались методами описательной статистики, корреляционного ($n = 24$) и дисперсионного анализов с использованием компьютерного программного обеспечения Excel 7.0 и Statistica 7.0.

Агроклиматические условия в годы исследования отличались от среднемноголетних наблюдений за 93 года, по данным метеорологического поста Новозыбковской СХОС. Вегетационный период исследований с 2014 по 2021 год характеризовался средней температурой воздуха на уровне $17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (в период первого и второго укосов соответственно $15,5$ и $19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$), что выше на $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ среднемноголетних наблюдений. Сумма осадков за вегетацию составила $333,5\text{ мм}$ (в период первого и второго укосов соответственно $143,1$ и $147,9\text{ мм}$), что на $34,7\text{ мм}$ ниже среднемноголетних наблюдений.

Результаты

Плотность радиоактивного загрязнения, агрометеорологические и гидрологические условия, плодородие почвы, биологические особенности естественного травостоя территории исследования в среднем за годы исследования формируют вегетативную массу естественного травостоя с удельной активностью ^{137}Cs 3248 и 3311 Бк/кг соответственно в период первого и второго укосов (табл. 1).

Допустимый уровень ^{137}Cs (ДУ) в воздушно-сухой массе естественного травостоя в разные годы был различным и регламентировался соответствующими документами, так до 2017 года «Ветеринарные правила и нормы» – 400 Бк/кг [12], а после 2017 года «Инструкция о радиологическом контроле качества кормов» – 600 Бк/кг . Выявили, что получать грубые корма (воздушно-сухую массу естественного травостоя) на пойменных лугах при уровне загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м^2 в условиях юго-запада Брянской области недопустимо, ДУ превышает норматив в более 5 раз, как в период первого, так и второго укосов.

Таблица 1.

Роль минерального удобрения в формировании воздушно-сухой массы естественного травостоя с различной удельной активностью ^{137}Cs , Бк/кг (2014–2021 годы исследований)

Вариант	Среднее	$V, \%$	Минимум	Максимум	Интервал
<i>период от возобновления роста до первого укоса естественного травостоя</i>					
Контроль	3248	18,3	2252	3765	1513
P60K45	465	9,6	361	502	141
P60K60	348	14,8	229	386	157
N45P60K45	1217	13,8	823	1357	534
N45P60K60	684	14,9	458	781	323
N45P60K75	356	15,8	263	457	194
N60P60K60	432	16,7	344	538	194
N60P60K75	327	11,8	287	410	123
N60P60K90	261	6,6	225	285	60
HCP_{05}	198,0	—	—	—	—
<i>период от первого до второго укоса естественного травостоя</i>					
Контроль	3311	14,6	2181	3708	1527
K45	416	11,7	346	487	141
K60	294	10,7	236	331	95
N45K45	985	10,0	788	1099	311
N45K60	625	10,5	474	703	229
N45K75	312	19,7	239	417	178
N60K60	419	12,6	340	483	143
N60K75	306	3,9	292	320	28
N60K90	244	5,3	229	264	35
HCP_{05}	157,4	—	—	—	—

В 2016 году прошёл первый период полураспада ^{137}Cs , при этом значительного уменьшения накопления ^{137}Cs воздушно-сухой массой естественного травостоя не обнаружили, что подтверждается коэффициентов вариации ($V, \%$) [15], который показывает среднюю изменчивость величины относительно средней, по видимому в почве количество ^{137}Cs даже после первого периода полураспада радионуклида ещё достаточно велико.

Необходимо также отметить, что максимальные значения удельной активности ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя определяли в годы с минимальным выпадением осадков и коротким поёмным процессом, а минимальные в годы максимальным выпадением осадков и продолжительным поёмным процессом.

Возрастающие дозы фосфорно-калийного и калийного удобрения под первый и второй укосы достоверно снижали удельную активность ^{137}Cs грубых кормов (воздушно-сухую массу естественного травостоя) соответственно до 348 и 294 Бк/кг, полученный грубый корм соответствовал ДУ по содержанию ^{137}Cs (табл. 1).

Применение N45P60K45 и N45K45 соответственно под первый и второй укосы вело к достоверному повышению удельную активность ^{137}Cs грубых кормов (воздушно-сухая масса естественного травостоя) до 1247 и 985 Бк/кг, по сравнению с фосфорно-калийным и калийным удобрением, полученный корм не соответствовал ДУ по содержанию ^{137}Cs .

Общеизвестно, что калий является антагонистом цезия, поэтому для снижения его миграции из почвы в растения необходимо применения калийного удобрения [3; 5; 10; 17; 20], однако в конкретных условиях загрязнения необходимы уточненные дозы применения калия для получения гарантированного урожая нормативно «чистой» продукции кормопроизводства и снижения затрат на проведения защитных мероприятий.

Выявили, что увеличение соотношения калия к азоту в минеральном удобрении достоверно снижается удельная активность ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, как в период первого, так и второго укосов.

Для определения тесноты связи между удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя и количеством внесения элементов питания провели корреляционный анализ (рис.).

Установили прямую зависимость между возрастающими дозами азотного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, определили что коэффициент корреляции (r) был равен 0,45-0,58, что говорит о средней зависимости между изучаемыми показателями.

Выявили обратную зависимость между возрастающими дозами калийного удобрения и удельной активностью ^{137}Cs воздушно-сухой массы естественного травостоя, с возрастанием доз калийного удобрения снижается удельная активность ^{137}Cs корма, определили что коэффициент корреляции (r) был равен 0,83-0,97, что говорит о сильной зависимости между изучаемыми показателями.

Обнаружили, что теснота связи между исследуемыми показателями в условиях первого укоса была ниже, в период второго укоса.

При ведении кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения необходимо понимать, что повышение урожайности естественного травостоя за счет повышения доз азотного удобрения приведет к увеличе-

нию накопления ^{137}Cs в продукции кормопроизводства, калийное удобрение нивелирует данный отрицательный эффект.

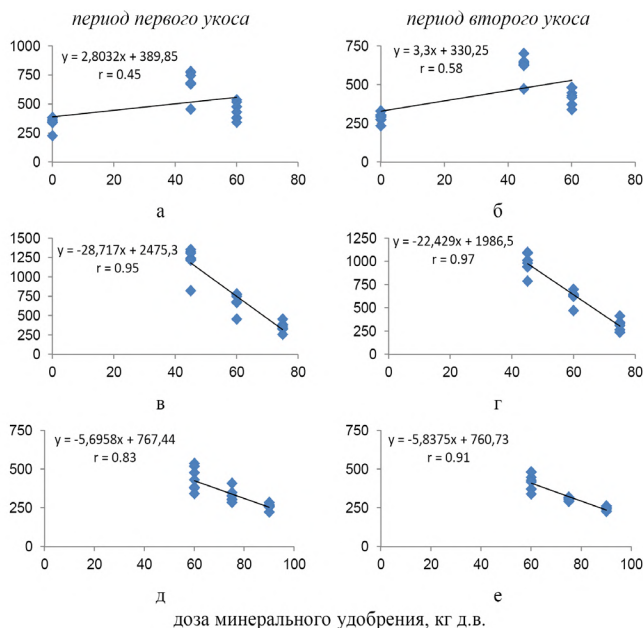


Рис. Зависимость между удельной активностью ^{137}Cs (Бк/кг) воздушно-сухой массы естественного травостоя и доз минерального удобрения (кг д.в.):
 доз азотного удобрения: а – по фону P60K60, б – по фону K60;
 доз калийного удобрения: в – по фону N45P60, г – по фону N45;
 доз калийного удобрения: д – по фону N60P60, е – по фону N60.

Получение грубых кормов с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs по средствам адаптация радиоактивно загрязненных сенокосов невозможно без определения роли элементов питания в получении нормативно «чистой» продукции кормопроизводства, плотности загрязнения ^{137}Cs территории, знания ДУ, которые постоянно меняются, то, что до 2017 года превышало ДУ, после уже соответствовало нормативу.

Установили, что кратность снижения ^{137}Cs в корме зависела от доз калийного удобрения в минеральном, с ростом доз калийного удобрения росла и кратность снижения, наибольшую кратность снижения 12,4 и 13,6 соответственно в период первого и второго укосов обнаружили при применении калийного удобрения в дозе 90 кг д.в.

Вынос ^{137}Cs с урожаем зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и от урожайности воздушно-сухой массы естественного травостоя, отсюда наибольший вынос ^{137}Cs 3433 кБк/га выявили в период первого укоса при применении N45P60K45, поскольку азотные удобрения повышали урожайность и накопление ^{137}Cs .

Таблица 2.

Радиоэкологическая оценка применения минерального удобрения на естественном лугу

Вариант	Кс, раз	Вынос ^{137}Cs с урожаем, кБк/га	Кн, ед.	ПАП, ед.
<i>период первого укоса</i>				
Контроль	–	2793	1,95	5,41
P60K45	7,0	1176	0,22	0,77
P60K60	9,3	1472	0,13	0,58
N45P60K45	2,7	3433	0,51	2,03
N45P60K60	4,7	2455	0,28	1,14
N45P60K75	9,1	1323	0,12	0,59
N60P60K60	7,5	1927	0,15	0,72
N60P60K75	9,9	1601	0,23	0,55
N60P60K90	12,4	1372	0,25	0,44
<i>период второго укоса</i>				
Контроль	–	1225	1,99	5,52
K45	8,0	387	0,20	0,69
K60	11,3	637	0,11	0,49
N45K45	3,4	1162	0,41	1,64
N45K60	5,3	1156	0,25	1,04
N45K75	10,6	634	0,11	0,52
N60K60	7,9	1147	0,15	0,70
N60K75	10,8	913	0,22	0,51
N60K90	13,6	760	0,24	0,41

Коэффициент накопления зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и от удельной активности ^{137}Cs почвы, установили, что без применения калийного удобрения коэффициент накопления был около 2 ед., то есть калийные удобрения служили барьером перехода ^{137}Cs из почвы в растения (табл. 2)

Показатель агроэкологической пригодности (ПАП) зависел как от удельной активности ^{137}Cs корма, так и допустимого уровня ^{137}Cs в корме, поэтому его можно регулировать или применением минерального удобрения, или введением новых нормативов.

В период первого и второго укосов на варианте без применения минерального удобрения в условиях проведения эксперимента выявили, что наибольший показатель ПАП соответственно 5,41 и 5,52, установили, что с ростом доз калийного удобрения он снижался.

Для определения роли минерального удобрения в адаптации радиоактивно загрязненных заливных лугов построили модель прогноза миграции ^{137}Cs по трофической цепи (растение, животное, человек) (табл. 3).

Таблица 3.

Прогноз перехода ^{137}Cs по трофической цепи

Вариант	Уа	Уа	Уа	Уа	Уа	Уа	Доза внутреннего	
	молока	мяса	молока	мяса	молока	мяса	облучения за счет	
	ВСМ-10		ВСМ-5		ВСМ-2,5		молока и мяса, мкЗв/год	
период первого укоса								
Контроль	325	1299	162	650	81	325	1378	689
P60K45	46	186	23	93	12	46	197	99
P60K60	35	139	17	70	9	35	148	74
N45P60K45	122	487	61	243	30	122	517	258
N45P60K60	68	274	34	137	17	68	290	145
N45P60K75	36	142	18	71	9	36	151	75
N60P60K60	43	173	22	86	11	43	183	92
N60P60K75	33	131	16	65	8	33	139	69
N60P60K90	26	105	13	52	7	26	111	55
период второго укоса								
Контроль	331	1325	166	662	83	331	1405	703
K45	42	167	21	83	10	42	177	88
K60	29	118	15	59	7	29	125	62
N45K45	99	394	49	197	25	99	418	209
N45K60	62	250	31	125	16	62	265	133
N45K75	31	125	16	62	8	31	132	66
N60K60	42	168	21	84	10	42	178	89
N60K75	31	123	15	61	8	31	130	65
N60K90	24	97	12	49	6	24	103	52

Примечание: Уа – удельная активность ^{137}Cs продукта питания, Бк/л(кг); ВСМ – воздушно-сухая масса естественного травостоя, пошедшая на корм скоту, кг.

Установили, что снижать поступление ^{137}Cs в продукцию животноводства возможно как за счет ограничения перехода ^{137}Cs из почвы в корм, так

и за счет снижения количества поедаемого радиоактивно загрязненного корма, при этом такая возможность создаётся только при стойловом выращивании животных.

Производства грубых кормов на заливных лугах с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 555 кБк/м² в условиях юго-запада Брянской области и постоянное кормление ими скота недопустимо без применения минерального удобрения, содержание ^{137}Cs в молоке и мясе КРС превышает ДУ, соответственно 100 и 160 Бк/л(кг) [14].

Суммарная доза внешнего и внутреннего облучения населения не должна превышать 1000 мкЗв/год, по нормам радиационной безопасности, так как внешнее поступление контролировать невозможно, но возможно внутреннее за счет определения вклада отдельных продуктов питания и изъятие их из продуктовой корзины. Поэтому очень важно дать оценку в общую нагрузку отдельных составляющих, в нашей работе дана оценка вклада молока и мяса при стойловом выращивании скота в различных условиях использования сенокосов.

Определили, что калийное удобрение при использовании его на радиоактивно загрязнённых заливных лугах используемых в качестве сенокоса ограничивает миграцию ^{137}Cs в системе почва–растение, что ведет к поеданию нормативно чистого корма животными и получению молока и мяса КРС с допустимым уровнем содержания радионуклида, что в итоге снижает поступление ^{137}Cs в организм человека.

Заключение

В период с 1994 по 2015 год в условиях высокой плотности загрязнения ^{137}Cs заливного луга р. Ипуть Новозыбковского района Брянской области исследовали результативность различных доз минерального удобрения и соотношения в нём элементов питания по снижению накопления ^{137}Cs продукцией кормопроизводства [22; 26], которые доказывали возможность использования радиоактивной территории в сельском хозяйстве. После 2016 года прошел первый период полураспада ^{137}Cs , однако результаты наших исследований показывают, что несмотря на это, в условиях заливных лугов юго-запада Брянской области при плотности загрязнения ^{137}Cs территории более 555 кБк/м² невозможно получать воздушно-сухую массу естественного травостоя с допустимым уровнем содержания ^{137}Cs . Определили, существенную роль калийного удобрения в снижении накопления ^{137}Cs грубыми кормами (воздушно-сухая масса естественного травостоя), и среднюю роль азотного удобрения в повышении накопления ^{137}Cs . При этом высокие дозы калия нивелируют негативное действие азота.

Список литературы

1. Alexakhin R., Geras'kin S. 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: radioecological lessons // Radioprotection. 2011. № 46. P. 595–600.
2. Fesenko S., Isamov N., Barnett C.L., Beresford N.A., Howard B.J., Sanzharova N., Fesenko E. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: biological half-lives // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. № 142. P. 136–151.
3. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzharova N., Kashparov V., Panov A., Zhuchenka Yu. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 119. P. 39–47.
4. Prosyannikov E.V., Silaev A.L., Koshelev I.A. Specific ecological features of ^{137}Cs behavior in river floodplains // Russian Journal of Ecology. 2000. T. 31, № 2. P. 132–135.
5. Аверин В.С., Подоляк А.Г. Роль защитных мероприятий для снижения доз облучения населения и получения нормативно чистой сельскохозяйственной продукции // Белорусское сельское хозяйство. 2010. № 4 (96). С. 18–22.
6. Алексахин Р.М., Лунёв М.И. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. №3. С. 32–35.
7. Белоус Н.М. Развитие радиоактивно загрязненных территорий Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1. С. 3–11.
8. Белоус Н.М., Подоляк А.Г., Карпенко А.Ф., Смольский Е.В. Эффективность защитных мероприятий при реабилитации кормовых угодий России и Беларуси, загрязненных после катастрофы на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56, № 4. С. 405–413.
9. Белоус Н.М., Прудников П.В., Щеглов А.М., Смольский Е.В., Белоус И.Н., Силаев А.Л. Вероятность получения молока и кормов, не соответствующих допустимым уровням содержания ^{137}Cs на территории юго-запада Брянской области в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2019. Т. 28, №3. С. 36–46.
10. Белоус Н.М., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф., Шаповалов В.Ф. Роль минерального калия в снижении поступления ^{137}Cs в кормовые травы и повышении их урожайности на радиоактивно загрязненных угодьях // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 4. С. 543–552.
11. Богdevич И.М. Итоги и перспективы агрохимических защитных мер на загрязненных радионуклидами землях Беларуси // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. аграрных навук. 2011. № 3. С. 27–39.

12. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринар. Патология. 2002. №4. С. 44–45.
13. Гамко Л.Н., Подольников В.Е., Малявко И.В., Нуриев Г.Г., Мысик А.Т. Качественные корма – путь к получению высокой продуктивности животных и птицы и экологически чистой продукции // Зоотехния. 2016. № 5. С. 6–7.
14. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2002. 164 с.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Панов А.В. Оценка эффективности реабилитации лугопастбищных угодий на различных этапах после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 2. С. 50–61.
17. Пакшина С.М., Шаповалов В.Ф., Чесалин С.Ф., Смольский Е.В., Коренев В.Б. Биовынос ^{137}Cs из почвы многолетними мятликовыми травами в связи с минеральным питанием и доступностью почвенной влаги // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 4. С. 832–841.
18. Панов А.В. Возвращение радиоактивно загрязненных территорий к нормальной жизнедеятельности: современные проблемы и пути решения (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 1. С. 5-13.
19. Панов А.В., Исамов Н.Н., Губарева О.С., Цыгвинцев П.Н., Ратников А.Н., Алешкина Е.Н. Технологии ведения животноводства при масштабном радиоактивном загрязнении (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС) // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 58–63.
20. Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Эффективность мероприятий, направленных на снижение доз облучения жителей сельских населенных пунктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2001. Т. 41. №6. С. 682–694.
21. Просянкин Е.В., Зверева Л.А., Силаев А.Л. 35 лет после аварии на Чернобыльской АЭС – нужны ли реабилитационные мероприятия на сельскохозяйственных угодьях? // Радиация и риск. 2021. Т. 30, № 4. С. 131–142.
22. Сердюкова К.А., Смольский Е.В., Силаев А.Л., Нечаев М.М. Роль минеральных удобрений при использовании радиоактивно загрязненных природных угодий в качестве пастбищ // Пермский аграрный вестник. 2017. № 2. С. 56–62.
23. Сычев В.Г., Лунёв В.И., Орлов П.М., Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспек-

- ты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв (к 30-летию техногенной аварии на Чернобыльской АЭС). М.: ВНИИА, 2016. 184 с.
24. Фокин А.Д., Лурье А.А., Трошин С.П. Сельскохозяйственная радиология. СПб.: Лань, 2011. 416 с.
25. Харкевич Л.П., Белоус И.Н., Анишина Ю.А. Реабилитации радиоактивно загрязненных сенокосов и пастбищ: монография. Брянск, 2011. 211 с.
26. Шаповалов В.Ф., Плющиков В.Г., Белоус Н.М., Курганов А.А. Разработка комплекса мероприятий по коренному улучшению естественных кормовых угодий, загрязненных радионуклидом цезий-137 // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2014. № 1. С. 13-20.

References

1. Alexakhin R., Geras'kin S. 25 years after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: radioecological lessons. *Radioprotection*, 2011, no. 46, pp. 595-60.
2. Fesenko S., Isamov N., Barnett C.L., Beresford N.A., Howard B.J., Sanzharova N., Fesenko E. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: biological half-lives. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2015, no. 142, pp. 136–151.
3. Fesenko S., Jacob P., Ulanovsky A., Chupov A., Bogdevich I., Sanzharova N., Kashparov V., Panov A., Zhuchenka Yu. Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, vol. 119, pp. 39–47.
4. Prosyannikov E.V., Silaev A.L., Koshelev I.A. Specific ecological features of ¹³⁷Cs behavior in river floodplains. *Russian Journal of Ecology*, 2000, vol. 31, no. 2, pp. 132–135.
5. Averin V.S., Podolyak A.G. Role of protective measures for decrease in doses of radiation of the population and receiving standardly net agricultural production. *Belorusskoe sel'skoe hoz'yajstvo* [Belarusian agriculture], 2010, no. 4 (96), pp. 18-22.
6. Aleksahin R.M., Lunyov M.I. Technogenic pollution of agricultural grounds (re-researches, control and rehabilitation of territories). *Plodorodie* [Fertility], 2011, no. 3, pp. 32-35.
7. Belous N.M. Development of radioactive contaminated territories of the Bryansk region in the remote period after the Chernobyl accident. *Vestnik Brjanskoj GSHA* [Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy], 2018, no. 1 (65), pp. 3-11.
8. Belous N.M., Podolyak A.G., Karpenko A.F., Smol'skij E.V. Efficiency of protective measures at rehabilitation of the fodder grounds of Russia and Belarus polluted after accident on the Chernobyl NPP. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2016, vol. 56, no. 4, pp. 405-413.

9. Belous N.M., Prudnikov P.V., Shcheglov A.M., Smolskiy E.V., Belous I.N., Silayev A.L. Estimating risk of radiocesium presence at levels exceeded the permissible amount of the radionuclide in forage and milk from the south-west part of Bryansk region long after the Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2019, vol. 28, no. 3, pp. 36-46.
10. Belous N.M., Smol'skiy E.V., Chesalin S.F., SHapovalov V.F. Role of mineral potassium in decrease in receipt ^{137}Cs in fodder herbs and increase in their productivity on it is radioactive the polluted grounds. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2016, vol. 51, no. 4, pp. 543-552.
11. Bogdevich I.M. Results and prospects of agrochemical protective measures on the lands of Belarus contaminated with radionuclides. *Vesci Nacyyanal'nej akademii navuk Belarusi* [Vesci National Academy of Sciences of Belarus. Ser. agrarian science], 2011, no. 3, pp. 27-39.
12. Veterinary and sanitary requirements for radiation safety of feed, feed additives, feed raw materials. Permissible levels of radionuclides ^{90}Sr and ^{137}Cs . Veterinary rules and regulations. VP 13.5 13/06-01. *Veterinar. Patologiya* [Veterinarian. Pathology], 2002, no. 4, pp. 44-45.
13. Gamko L.N., Podolnikov V.E., Malyavko I.V., Nuriev G.G., Mysik A.T. Quality feed is the way to obtain high productivity of animals and poultry and environmentally friendly products. *Zootekhniya* [Zootechny], 2016, no. 5, pp. 6-7.
14. *Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevyykh produktov: Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normy SanPiN 2.3.2.1078-01* [Hygienic requirements to safety and nutritional value of food products: Sanitary and epidemiological rules and norms SanPiN 2.3.2.1078-01]. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation, 2002, 164 p.
15. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Field experience methodology]. Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
16. Kuznetsov V.K., Isamov N.N., Panov A.V. Assessment of the effectiveness of rehabilitation of grassland at various stages after the Chernobyl accident. *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2021, vol. 30, no. 2, pp. 50-61.
17. Pakshina S.M., SHapovalov V.F., Chesalin S.F., Smolsky E.V., Korenev V.B. Bioyos ^{137}Cs from the soil with perennial mint herbs in connection with mineral nutrition and the availability of soil moisture. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2019, vol. 54, no. 4, pp. 832-841.
18. Panov A.V. Returning radioactively contaminated territories to normal life: current problems and ways for solution (35 years after the Chernobyl NPP accident). *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnykh situatsiyakh* [Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations], 2021, no. 1, pp. 5-13.

19. Panov A.V., Isamov N.N., Gubareva O.S., Tsygvintsev P.N., Ratnikov A.N., Aleshkina E.N. Technologies of animal husbandry with large-scale radioactive pollution (to the 35th anniversary of the Chernobyl accident). *Rossijskaja sel'skokhozjajstvennaja nauka* [Russian Agricultural Science], 2021, no. 4, pp. 58-63.
20. Panov A.V., Fesenko S.V., Aleksahin R.M. Efficiency of the actions directed to decrease in doses of radiation of inhabitants of rural settlements during the remote period after the Chernobyl accident. *Radiacionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2001, vol. 41, no. 6, pp. 682-694.
21. Prosyannikov E.V., Zvereva L.A., Silaev A.L. 35 years after the Chernobyl accident - are rehabilitation measures needed on agricultural land? *Radiatsiya i risk* [Radiation and Risk], 2021, vol. 30, no. 4, pp. 131-142.
22. Serdjukova K.A., Smol'skij E.V., Silaev A.L., Nechaev M.M. *Permskij agrarnyj vestnik* [Perm Agrarian Journal], 2017, no. 2, pp. 56-62.
23. Sychev V.G., Lunev V.I., Orlov P.M., Bilous N.M. *Chernobyl': radiatsionnyj monitoring sel'skokhozjajstvennykh ugodij i agrokhimicheskie aspekty snizhenija posledstvij radioaktivnogo zagryaznenija pochv (k 30-letiju tehnogennoj avarii na Chernobyl'skoj AJeS)* [Chernobyl: radiation monitoring of agricultural land and agrochemical aspects of the management of the consequences of radioactive contamination of soils (the 30th anniversary of the technogenic accident at the Chernobyl nuclear power plant)]. Moscow, VNI-IA, 2016, 184 p.
24. Fokin A.D., Lurie A.A., Troshin S.P. *Sel'skohozyajstvennaya radiologiya* [Agricultural Radiology]. St. Petersburg: Lan, 2011, 416 p.
25. Kharkevich L.P., Belous I.N., Anishina Yu.A. *Reabilitacii radioaktivno zagryaznyonnyh senokosov i pastbishch: monografiya* [Rehabilitation of radioactively contaminated hayfields and pastures: monograph]. Bryansk, 2011, 211 p.
26. Shapovalov V.F., Pljushhikov V.G., Belous N.M., Kurganov A.A. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo* [RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries], 2014, no. 1, pp. 13-20.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Силаев Андрей Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрохимии, почвоведения и экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область, 243365, Российская Федерация
kafeap@bgsha.com

Белоус Николай Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
belous_nm@mail.ru

Смольский Евгений Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ
ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская область,
243365, Российская Федерация
sev_84@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey L. Silaev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology
Bryansk State Agrarian University
2a, Sovetskaya Str., Kokino village, Vygonichsky District, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
kafeap@bgsha.com

Nikolay M. Belous, 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, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
belous_nm@mail.ru

Evgeny V. Smolsky, 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, Bryansk Region, 243365, Russian Federation
sev_84@mail.ru

Поступила 28.12.2023

После рецензирования 16.01.2024

Принята 01.02.2024

Received 28.12.2023

Revised 16.01.2024

Accepted 01.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

УДК 631.46:633.11:631.8



Научная статья

МИКРОБОЦЕНОЗ РИЗОСФЕРЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОПРЕПАРАТОВ

*Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева, И.А. Корчагина, А.А. Киселёва,
О.Ф. Хамова, А.Ю. Тимохин, Ю.Ю. Паршуткин, Е.В. Кубасова*

Почвенная микрофлора является мощным индикатором состояния пахотных почв. В настоящем обзоре обобщены последние научные сообщения, касающиеся структуры микробного ценоза лугово-черноземной почвы при агрогенном воздействии, а также проанализированы собственные результаты. Исследования проводили на яровой мягкой пшенице в полевых опытах ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» в южной лесостепи Западной Сибири с целью определения влияния применения биопрепаратов ассоциативных diaзотрофов на биологические (экологические) свойства ризосферы яровой мягкой пшеницы и определить их связь с урожайностью культуры.

Установлено, что прикорневая микрофлора мягкой пшеницы неоднозначно реагировала на инокуляцию биопрепаратами и зависела как от генотипических особенностей сортов, так и от применяемого препарата. Количество копийотрофов, олигонитрофилов и микрогрибов возрастало в ризосфере яровой мягкой пшеницы сорта Омская 44 при применении бактериального удобрения Флавобактерин. Наибольшей суммарной численностью микрофлоры также выделился сорт Омская 44, использование биопрепарата Флавобактерин стимулировало ее рост относительно контроля на 22%. Обработка Мизорином не оказала существенного влияния на активность прикорневых микроорганизмов. Микробное население пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 не отозвалось на интродукцию бактерий рода *Arthrobacter mysoresis* 7 и *Flavobacterium* sp. L-30. В ризосфере исследуемых сортов преобладали иммобилизационные процессы, в наибольшей степени – у пшеницы Тарская 12 и Омская 44. Активность гидролитических ферментов в большинстве вариантов опыта имела тенденцию к увеличению относительно контроля (до 17%), однако активность окислительно-восстановительного фермента каталазы снижалась от применяемого агроприема в пределах ошибки опыта (до 4%).

Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,675$) зависимость урожайности пшеницы от количества микрофлоры в ризосфере.

Ключевые слова: микробоценоз; лугово-черноземная почва; Chernozems; ризосфера; пшеница; ферментативная активность; биопрепарат

Для цитирования. Шулико Н.Н., Тукмачева Е.В., Корчагина И.А., Киселёва А.А., Хамова О.Ф., Тимохин А.Ю., Паршуткин Ю.Ю., Кубасова Е.В. Микробоценоз ризосферы мягкой пшеницы при применении биопрепаратов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 323-347. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

Original article

MICROBOCENOSIS OF THE RHIZOSPHERE OF SOFT WHEAT WHEN USING BIOLOGICAL PRODUCTS

**N.N. Shuliko, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina, A.A. Kiseleva,
O.F. Khamova, A.Yu. Timokhin, Yu.Yu. Parshutkin, E.V. Kubasova**

Soil microflora is a powerful indicator of the condition of arable soils. This review summarizes the latest scientific reports concerning the structure of the microbial cenosis of meadow-chernozemic soil under agrogenic effects, as well as demonstrate its own results. The research was carried out on spring soft wheat in field experiments of the Omsk Agricultural Scientific Center in the southern forest-steppe of Western Siberia in order to determine the effect of the use of biological products of associative diazotrophs on the biological (ecological) properties of the rhizosphere of spring soft wheat and to determine their relationship with crop yield.

In this research we found out that the root microbiome of soft wheat reacted ambiguously to inoculation of biological products and depended both on the genotypic characteristics of the varieties and on the preparations used. The number of copiotrophs, oligonitrophils and microfungis increased in the rhizosphere of spring soft wheat of the Omsk 44 variety when using the bacterial fertilizer Flavobacterin. The Omskaya 44 variety also stood out with the largest total number of microflora, the use of the Flavobacterin biopreparation stimulated its growth relative to the control by 22%. The use of Mizerin did not significantly affect the activity of root microorganisms. The microbial population of wheat varieties

*Omskaya 42 and Tarskaya 12 did not respond to the introduction of bacteria of the genus *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* sp. L-30. Immobilization processes prevailed in the rhizosphere of the studied varieties, to the greatest extent in wheat Tarskaya 12 and Omskaya 44. The activity of hydrolytic enzymes in most variants of the experiment tended to increase relative to the control (up to 17%), however, the activity of the redox enzyme catalase decreased from the applied agricultural method within the experimental error (up to 4%). A statistically significant ($p < 0.05$) positive ($r = 0.675$) dependence of wheat yield on the amount of microflora in the rhizosphere was revealed.*

Keywords: microbiocenosis; meadow-chnozem soil; Chernozems; rhizosphere; wheat; enzymatic activity; biopreparation

For citation. Shuliko N.N., Tukmacheva E.V., Korchagina I.A., Kiseleva A.A., Khamova O.F., Timokhin A.Yu., Parshutkin Yu.Yu., Kubasova E.V. Microbocenosis of the Rhizosphere of Soft Wheat when Using Biological Products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 323-347. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-869

Введение

В связи с поиском путей увеличения растениеводческой продукции при одновременном снижении доз минеральных удобрений и улучшения экологической обстановки возрос интерес к препаратам, созданным на основе высокоэффективных штаммов ассоциативных микроорганизмов, применяемых для инокуляции семян зерновых культур. Создание сортов полевых культур с повышенной отзывчивостью к ассоциативной азотфиксации открывает перспективы получения более высокого урожая зерновых с экологически чистой, высокого качества продукцией [8].

Одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства в современных условиях является повышение урожайности на достаточном уровне с использованием подходов, направленных на получение экологически чистой продукции и сохранение плодородия сельскохозяйственных земель. В последние десятилетия одним из основных путей решения данной задачи во многих странах мира является использование микробиологических средств, обеспечивающих стимуляцию роста и развития растений, защиту от вредных организмов, утилизацию пожнивных остатков и т.п. Использование биопрепаратов при возделывании зерновых культур немного уступает по эффективности химическим фунгицидам, однако биофунгициды могут быть дешевле химических препаратов в 2–2,5 раза [19; 13]. Восстановление полезных популяций микроорганизмов в почве

и агроценозе с помощью такого приёма, как предпосевная обработка семян биопрепаратами на основе штаммов грибов-антагонистов и бактерий, является актуальной задачей в повышении продуктивности культур и снижении химической нагрузки на агроценозы [9].

При оценке влияния различных агроприемов на плодородие и экологическое состояние почвы важное значение имеют агробиологические методы, основанные на определении численности почвенной микрофлоры, устойчивости микробоценоза к антропогенным воздействиям [4]. Микроорганизмы поддерживают гомеостаз почв и быстро реагируют на изменения в среде обитания. Почвенная микрофлора является мощным индикатором состояния пахотных почв, играет ведущую роль в круговороте биогенных элементов [10].

В работах сибирских ученых показано, что инокуляция семян перед посевом препаратом ассоциативных азотфиксаторов, достоверно повышает численность агрономически важных групп микроорганизмов, а также оказывает положительное влияние в сочетании с применением минеральных удобрений на общую численность ризосферной микрофлоры [1; 5; 18].

В работе А.А. Завалина с коллегой дана агрономическая оценка применения различных биологических препаратов под озимую пшеницу в условиях Калужской области. Установлено положительное влияние их на урожайность культуры, с превышением контрольного варианта в 1,2–1,3 раза. Наряду с урожайностью повышалось и качество зерна на 0,7–1,2% относительно контроля [7].

Известно, что каждый тип почвы имеет свою собственную микрофлору, на которую применяемые агроприемы оказывают определённое воздействие, в том числе и отрицательное, что напрямую отражается на экологическом статусе почвы [24; 25; 30].

Среди огромного разнообразия микроорганизмов в почвенной среде выделяются протеолитические бактерии, в том числе аммонифицирующие, которые распространены повсеместно и встречаются почти во всех почвах [23; 26; 27]. Они имеют большое значение, поскольку окисление NH_4^+ является лимитирующей стадией нитрификации и, таким образом, занимает центральное место в глобальном азотном цикле [31; 32].

Под влиянием бактериальных удобрений изменяется не только численность микрофлоры, но и активность ферментов, образующихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Ферментативная активность точно и верно отражает биологические свойства почвы и их изменения под влиянием антропогенных факторов. Коллегами установлено, что ак-

тивность протеазных ферментов возрастает от 11 до 38% от применения природных материалов в качестве удобрений [12].

Цель исследования – определить влияние ассоциативных ризобактерий на численность микроорганизмов и ферментативную активность ризосферы сортов пшеницы, определить их связь с урожайностью культуры.

Материалы и методы

Исследования проведены в южной лесостепной зоне Омского Прииртышья в 2021–2023 гг. в полевых опытах ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», (Омская область, Омский район, 55.04192 с.ш., 73.46504 в.д.). Территория относится к Приомской равнине, являющейся составной частью Барабинской неогеновой равнины.

Объектами исследований послужили лугово-черноземная почва (ризосфера) южной лесостепной зоны Западной Сибири и сорта яровой пшеницы. Почва лугово-черноземная (Chernozems, по международной классификации WRB), среднеспелая, среднелесовая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса в слое 0–0,2 м – около 6,5%, рНвод – 7,0 [11; 33]. Мощность гумусового горизонта «А» – 0,45 м. Почва с поверхности – тяжелый суглинок (40–46% физической глины). Профиль имеет четырех-пятичленное строение и является типичным для южно-лесостепной почвенно-климатической зоны. Водопроницаемость, определенная через месяц после плоскорезного рыхления осенью, характеризуется как хорошая. Плотность пахотного слоя 1,07–1,14 г/см³. Содержание фосфора в 0–0,2 м слое – среднее (менее 100 мг/кг, по Чирикову), обеспеченность обменным калием – очень высокая (более 180 мг/кг почвы).

Использовали сорта яровой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «Омского АНЦ»: Омская 42, Омская 44, Тарская 12. Выбор сортов определен высокой адаптивностью к условиям лесостепи Западной Сибири и производственными характеристиками: *Омская 42* – среднепоздний, засухоустойчивый сорт, средняя урожайность в сибирском регионе – 22,8 ц/га; *Омская 44* – среднеспелый сорт, проявляет устойчивость к листовым и головным заболеваниям, средняя урожайность 29,8 ц/га; *Тарская 12* – среднеранний сорт, характеризуется высоким уровнем устойчивости к бурой ржавчине, средняя урожайность – 26,9 ц/га.

Предпосевная инокуляция семян проведена согласно рекомендациям производителя препаратами комплексного действия, изготовленными во Всероссийском НИИ сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ): Мизорин (*Arthrobacter mysores* 7) – биопрепарат, осно-

ванный на штамме ассоциативных азотфиксаторов, оказывает стимулирующее действие, ограничивает поступление и накопление в растениях нитратов, радионуклидов и тяжелых металлов, норма внесения: 0,3–0,4 кг на гектарную норму семян; Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* L-30) – биопестицид фунгицидно-стимулирующего действия, норма внесения 0,3 кг на гектарную норму семян.

Посев пшеницы осуществлялся с помощью сеялки ССФК-7,0 в оптимальные сроки с проведением комплекса весенне-полевых работ.

Отбор проб ризосферы осуществляли в фазы развития растений: кущение (июнь), колошение (июль), налив зерна (август). Учет численности микроорганизмов проводили на твердых питательных средах: бактерий-сапрофитов на мясопептонном агаре (МПА), микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофилов – на среде Мишустинской, фосфатмобилизующих на среде Муромцева, целлюлозоразлагающих микроорганизмов – на среде Гетчинсона, нитрификаторов – на водном выщелоченном агаре с добавлением двойной аммонийно-магниевой соли фосфорной кислоты, почвенных грибов на подкисленной среде Чапека [17]. Интенсивность микробиологических процессов трансформации азотсодержащих соединений в почве оценивали по коэффициентам минерализации (КАА/МПА) и иммобилизации (МПА/КАА) [16]. Математическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики [6] (среднее арифметическое, стандартное отклонение, коэффициент вариации и критерий Фишера) с использованием программного пакета Microsoft Office Excel 2007.

Метеоусловия 2021–2023 лет исследований характеризовались засушливостью. Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были неблагоприятными для роста и развития зерновых культур, ГТК=0,76 (норма 1,1). 2022 и 2023 гг. были недостаточно увлажненными. Чередующиеся периоды засухи и увлажнения почвы в период вегетации растений, а также поздние заморозки обусловили колебания в численности микроорганизмов ризосферы пшеницы.

Результаты исследования и обсуждение

Микрогрибы в почве играют роль сапрофитов, восстановителей, симбионтов, их вклад в получение урожая огромен. Они участвуют в процессах разложения сложных органических соединений, вступают в симбиоз с растениями, вырабатывают пигменты, антибиотики, биологически активные соединения и формируют структуру почвы [20].

Численность почвенных микрогрибов в ризосфере пшеницы преимущественно снижалась при применении изучаемого агроприема, что, вероятно, обусловлено фунгицидным действием азотфиксирующих бактерий. В ризосфере сорта Омская 44 происходило увеличение численности грибной микрофлоры при применении биопрепарата Флавобактерин на 76% по отношению к контролю (табл. 1). Литература по этому вопросу свидетельствует, что использование удобрений не всегда оказывает однозначное воздействие на обсуждаемую группу микроорганизмов. Авторы исследований указывают как на ингибирующее, так и на стимулирующее действие агроприема на развитие микрогрибов [28; 29]. Кроме того, подобный эффект, возможно, вызван меньшей конкуренцией этих микроорганизмов с бактериями. Следует отметить, что более интенсивное развитие тестируемой группы микроорганизмов в почве может быть неблагоприятным явлением. В таких условиях существует риск размножения токсиногенных или патогенных видов [22].

Таблица 1.

Количество микроорганизмов-деструкторов и нитрифицирующих бактерий в ризосфере сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов, 10³ КОЕ/г, 2021–2023 гг., (n=9, m ± SD)

Вариант	Микрогрибы		Нитрификаторы		Целлюлозоразрушающие микроорганизмы	
	m ± SD	V	m ± SD	V	m ± SD	V
Омская 42						
Контроль	88,0±31,3	79,4	1,22±0,41	75,0	96,9±22,7	52,4
Мизорин	61,8±15,7	56,7	1,20±0,41	76,3	110,2±20,6	41,8
Флавобактерин	73,2±14,0	42,5	1,26±0,56	60,0	96,2±23,2	53,9
Омская 44						
Контроль	52,3±1,8	70,8	1,01±0,37	81,8	108,0±9,5	19,7
Мизорин	49,9±15,8	70,9	1,05±0,34	71,5	112,7±22,0	43,7
Флавобактерин	91,9±25,3	61,4	1,04±0,30	65,1	119,1±24,4	45,8
Тарская 12						
Контроль	47,4±14,9	70,4	1,41±0,53	63,3	99,6±13,5	30,3
Мизорин	53,9±16,9	70,2	1,05±0,28	60,5	105,3±25,1	53,3
Флавобактерин	41,2±14,1	76,4	1,20±0,40	74,7	114,8±19,6	38,2
HCP ₀₅	A*, B	27,8	0,3		20,9	
	AB	48,1	0,4		36,2	

Примечание: * А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – средняя ± ошибка средней.

На активность нитрифицирующих бактерий положительного воздействия приём бактеризации семян не оказал, отмечена тенденция их снижения по отношению к контролю до 34%. Среди микроорганизмов цикла азота автотрофные нитрифицирующие бактерии наиболее чувствительны к наличию в почве углекислоты. Активное их развитие сопровождается усвоением значительного количества углекислоты, которая, как и другие легкоусвояемые вещества, служит энергетическим ресурсом для азотфиксирующих микроорганизмов [15]. Возможно, это и стало причиной снижения численности нитрификаторов при применении бактеризации семян.

Особенностью целлюлозоразлагающих микроорганизмов является их высокая потребность в азотном питании. Они служат важнейшими поставщиками органических веществ, для разнообразных групп микроорганизмов (в том числе азотфиксирующих), связанных общей пищевой цепью [14]. Являясь основным компонентом растительных волокнистых структур, целлюлоза представлена в кристаллической и аморфной формах и является субстратом для многочисленных видов как грибов, так и бактерий, использующих внеклеточные ферменты [21].

В наших исследованиях оптимизация азотного питания, за счёт дополнительного азота ассоциативной азотфиксации и текущей нитрификации, стимулировала рост численности целлюлозоразрушающей микрофлоры. Применение инокуляции семян корневыми diaзотрофами приблизительно в равной степени увеличивало количество тестируемой группы: на 6–16% при применении Мизорина, до 15% при применении Флавобактерина.

Мониторинг изменения активности протеолитических микроорганизмов в том числе аммонификаторов, при внесении удобрений, является важным звеном в установлении экологического состояния почвы. Именно поэтому в эксперименте, среди прочих микроорганизмов, мы определяли численность вышеупомянутой группы.

Предпосевная бактеризация семян за счет улучшения азотного питания мягкой пшеницы оказала положительное влияние на численность протеолитической микрофлоры, в том числе аммонифицирующей, ризосферы мягкой пшеницы сорта Омская 44, отмечено увеличение их количества на 16 (вариант Мизорин) и 20% (вариант Флавобактерин) относительно контроля. В ризосфере сортов Омская 42 и Тарская 12 существенных изменений тестируемой группы при применении биопрепаратов комплексного действия не установлено. Численность амилалитической микрофлоры изменялась с аналогичной протеолитическим бактериям тенденцией (табл. 2). Математическая обработка результатов исследований показала

минимальное влияние фактора «инокуляция» на изменение численности аммонифицирующих микроорганизмов – 1%, тогда как вклад генетических особенностей сорта значителен – 77,0%.

Таблица 2.

Численность микроорганизмов в ризосфере сельскохозяйственных культур при применении биопрепаратов, 10⁷ КОЕ/г, 2021–2023 гг., (n=9)

Вариант	Протеолитическая микрофлора		Амилолитическая микрофлора		Олигонитрофилы		Фосфатмобилизующие		Общее количество микрофлоры	
	m ± SD	V	m ± SD	V	m ± SD	V	m ± SD	V	m ± SD	V
Омская 42										
Контроль	19,9±3,8	32,7	21,3±5,5	57,5	64,7±14,5	50,0	61,8±16,9	61,3	167,9±39,4	52,5
Мизорин	19,8±3,0	26,5	16,5±2,9	38,8	59,0±13,2	50,1	46,5±8,7	41,9	142,0±24,1	38,0
Флавобактерин	21,4±5,0	40,4	17,2±4,2	54,4	56,3±9,4	37,2	52,4±9,3	39,5	147,4±23,0	34,9
Омская 44										
Контроль	22,8±4,3	32,3	16,5±4,6	62,3	72,7±19,5	59,9	59,8±15,0	56,1	172,0±42,3	55,0
Мизорин	26,5±4,9	32,3	19,0±4,8	56,8	66,3±13,7	46,1	62,8±16,0	57,0	174,8±38,4	49,0
Флавобактерин	27,4±5,2	32,6	21,1±3,2	33,3	83,5±19,8	52,9	78,5±12,9	36,7	210,7±39,7	42,1
Тарская 12										
Мизорин	23,1±5,8	43,4	17,9±4,5	55,5	68,0±15,6	51,2	51,5±7,0	30,5	160,6±31,3	43,5
Флавобактерин	22,0±3,3	26,1	19,8±4,6	52,4	76,5±16,0	46,7	55,0±7,7	31,1	173,5±29,4	37,8
НСР ₀₅	A*, B	4,2	4,0	19,4	17,0	39,5				
	AB	7,2	7,0	33,6	29,5	68,5				

Примечание: * А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – ошибка средней.

Изменение количества определённых физиологических групп микроорганизмов в почве является показателем потенциального и фактического плодородия почвы [3]. Результаты нашего исследования показали, что применяемые биоудобрения оказывали разностороннее воздействие на рост микроорганизмов олигонитрофильной и фосфатмобилизующей группы. Олигонитрофилы представляют собой наиболее распространённую группу биоты, которая считается продуцентом биотических веществ и играет важную роль в сохранении и пополнении запасов азота в почве. Фосфатмобилизирующие микроорганизмы представляют собой группу микрофлоры, растворяющую как неорганический, так и органический фосфор, и поддерживают уровень питательных веществ в почве. Наблю-

дения за изменением численности обсуждаемых бактерий при применении бактеризации семян показало некоторое их снижение в удобренных вариантах опыта. Это может быть связано с тем, что при интродукции в почву попадают микроорганизмы, способные оказывать определённое воздействие, в том числе и отрицательное, на аборигенную микрофлору [2]. Положительное влияние приём бактеризации семян оказал на олигонитрофильные и фосфатмобилизующие бактерии ризосферы пшеницы сорта Омская 44, увеличение по отношению к контролю составило до 6% при применении Мизорина и 15–32% при применении Флавобактерина соответственно.

Наибольшим суммарным количеством определяемой ризосферной микрофлоры яровой мягкой пшеницы выделился сорт Омская 44. Общая обсеменённость микроорганизмами варьировала от 172 до 210 млн КОЕ/г почвы в зависимости от варианта опыта. Наибольшее положительное влияние на общую численность микроорганизмов ризосферы этого сорта оказало применение биопрепарата Флавобактерин, стимуляция роста относительно контроля составила 22%. Прикорневая микрофлора пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 менее отзывчива на предпосевную инокуляцию изучаемыми бактериальными удобрениями, наблюдалось некоторое снижение. Исследованиями коллег установлено, что различное влияние биопрепаратов на количество и активность почвенных микроорганизмов обусловлено генотипическими особенностями культур [19].

Ферментативная активность почвы, определённая по величинам наиболее значимых гидролитических ферментов – уреазы и инвертазы, а также окислительно-восстановительного – каталазы изменялась под влиянием бактериальных удобрений в схожих с численностью микроорганизмов направлениях. В ходе проведения исследований выявлена активизация уреазной и инвертазной активности почвы, которая выражалась в увеличении активности ее энзимов на 17 и 12% на пшенице Омская 44 вариант с Флавобактерином, в меньшей степени с Мизорином – на 5%. При этом доля влияния фактора применения бактериальных препаратов значительна для фермента инвертаза, составляя около 40%, на изменение активности фермента уреазы наибольшее влияние оказало взаимодействие факторов – 87%. Активность каталазы, биохимия которой сопряжена с окислительно-восстановительными реакциями и участием в процессе гумификации, снижалась практически во всех вариантах с применением биопрепарата Флавобактерин, однако мера снижения оказалась незначительной (до 3–4%) (табл. 3).

Таблица 3.

**Активность почвенных ферментов в ризосфере пшеницы
в зависимости от применения бактериальных удобрений, в 1 г воздушно
сухой почвы, 2021–2022, (n=6)**

Вариант	Ферментативная активность почвы					
	Каталаза, O ₂ (куб. см/мин)/г почвы/24 ч		Уреаза, мг. NH ₃ / г почвы/24 ч		Инвертаза, мг инвертн. сахара/г почвы/24 ч	
	m ± SD	V	m ± SD	V	m ± SD	V
Омская 42						
Контроль	1,48±0,12	18,2	0,34±0,02	13,1	11,5±0,53	7,9
Мизорин	1,51±0,12	18,1	0,31±0,03	21,3	11,6±0,58	8,6
Флавобактерин	1,44±0,10	15,6	0,32±0,03	17,7	11,8±0,52	7,6
Омская 44						
Контроль	1,49±0,11	16,8	0,31±0,03	24,9	11,6±0,40	6,0
Мизорин	1,50±0,12	18,3	0,32±0,03	22,5	11,6±0,61	9,1
Флавобактерин	1,45±0,12	19,1	0,36±0,03	20,1	13,0±0,42	5,6
Тарская 12						
Контроль	1,50±0,11	16,9	0,34±0,03	17,9	12,2±0,64	9,1
Мизорин	1,49±0,09	14,1	0,35±0,03	18,1	12,0±0,70	10,1
Флавобактерин	1,44±0,13	19,9	0,31±0,03	24,6	12,0±0,65	9,4
Среднее по опыту	1,47±0,12	19,3	0,33±0,03	22,6	11,9±0,40	10,2
HCP ₀₅	A*, B	0,06	0,03	0,46		
	AB	0,10	0,04	0,80		

Примечание: * А – фактор сорт, В – фактор бактеризация, АВ – взаимодействие А и В; V – коэффициент вариации (%); m ± SD – ошибка средней.

Согласно шкалам Д. Г. Звягинцева (1978), используемым для оценки степени обогащенности ферментами, изучаемая почва по активности каталазы, инвертазы и уреазы относится к бедным.

Активность ферментной системы зависит от численности соответствующих микроорганизмов. По результатам сопоставления количества протеолитической и амилолитической микрофлоры в ризосфере установлено преобладающее число первой. Отражением полученной закономерности служит микробиологический коэффициент иммобилизации (закрепления) почвенного азота в плазме микробной клетки, динамика которого представлена на рис. 1.

Коэффициент иммобилизации варьировал от 1,10 до 1,60, это обстоятельство свидетельствует о преимуществе процессов поглощения азота

почвенной микрофлорой в ризосфере культуры. Для условий Омской области подобное является положительным моментом, поскольку уменьшается вероятность вымывания неизрасходованного азота. Коэффициент минерализации в ризосфере пшеницы варьировал от 0,70 до 1,00, что указывает на снижение интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы и высвобождения из него азота.

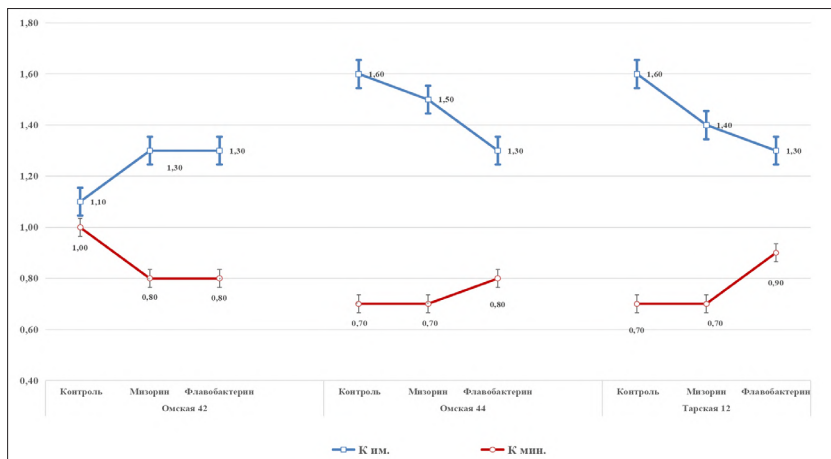


Рис. 1. Коэффициенты микробиологической минерализации и иммобилизации в ризосфере пшеницы в зависимости от сорта и применяемого биопрепарата, 2021–2023 гг., (n=9)

Примечание. К им. – коэффициент иммобилизации, К мин. – коэффициент минерализации

Статистическая обработка результатов исследований показала наличие зависимости урожайности пшеницы от численности эколого-трофических групп микроорганизмов ризосферы. Достоверную корреляционную связь с урожайностью имели численность олигонитрофилов, фосфатмобилизующих бактерий и нитрификаторов при $n=9$, т.е. микроорганизмы обеспечивающие поступление доступных элементов питания растениям, а также группа копиотрофов – протеолитическая и амилалитическая микрофлора (табл. 4).

Проведённые исследования показали высокую корреляционную зависимость между определяемыми группами микроорганизмов: сапротрофных бактерий с микроорганизмами секретирующими амилазу, олигонитрофилами и фосфатмобилизаторами; амилалитических микроорганизмов с олигонитрофилами, фосфатмобилизующими и нитрификаторами (табл. 5). По тесноте связей выпадают две группы микроорганизмов

целлюлозоразрушающие и грибы, имеющие низкие взаимосвязи (предположительно другая экологическая ниша, продукты потребления другие).

Таблица 4.

Коэффициенты корреляции между отдельными группами микроорганизмов и урожайностью яровой мягкой пшеницы, 2021–2023 гг., $r_{\text{крит.}} = 0,40$

Группы микроорганизмов	r	Sr	tф.	tтеор.
1. Протеолитическая микрофлора, 10^7 КОЕ/г	0,67	0,15	4,51	2,05
2. Амилолитическая микрофлора, 10^7 КОЕ/г	0,53	0,17	3,13	2,05
3. Олигонитрофилы, 10^7 КОЕ/г	0,59	0,16	3,65	2,05
4. Фосфатмобилизующие, 10^7 КОЕ/г	0,54	0,17	3,21	2,05
5. Нитрификаторы, 10^3 КОЕ/г	0,50	0,17	2,89	2,05

Таблица 5.

Корреляционные зависимости численности микрофлоры ризосферы мягкой пшеницы, 2021–2023 гг.

Показатели	1	2	3	4	5	6	7
1. Протеолитическая микрофлора, 10^7 КОЕ/г	–	0,85	0,48	0,86	0,82	0,69	0,01
2. Амилолитическая микрофлора, 10^7 КОЕ/г	0,85	–	0,68	0,88	0,86	0,87	0,21
3. Микрогрибы, 10^3 КОЕ/г	0,48	0,68	–	0,49	0,59	0,61	0,26
4. Олигонитрофилы, 10^7 КОЕ/г	0,86	0,88	0,49	–	0,87	0,65	-0,07
5. Фосфатмобилизующие, 10^7 КОЕ/г	0,82	0,86	0,59	0,87	–	0,64	0,04
6. Нитрификаторы, 10^3 КОЕ/г	0,69	0,87	0,61	0,65	0,64	–	0,44
7. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы, 10^3 КОЕ/г	0,01	0,21	0,26	-0,07	0,04	0,44	–

Корреляционный анализ зависимости урожайности зерна яровой мягкой пшеницы от общей (условно) численности ризосферной микрофлоры по результатам трех лет исследований показал, что между этими показателями наблюдается статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,60$) связь, которая достаточно адекватно описывается уравнением линейной регрессии (рис. 2).

Это объясняется тем, что почвенная микрофлора способствует разложению органических веществ до минеральных, круговороту азота, углерода, и других элементов в природе, осуществляет процессы формирования, самоочищения почвы, т.е. участвует в процессах, без которых нормальное функционирование биоценозов невозможно.

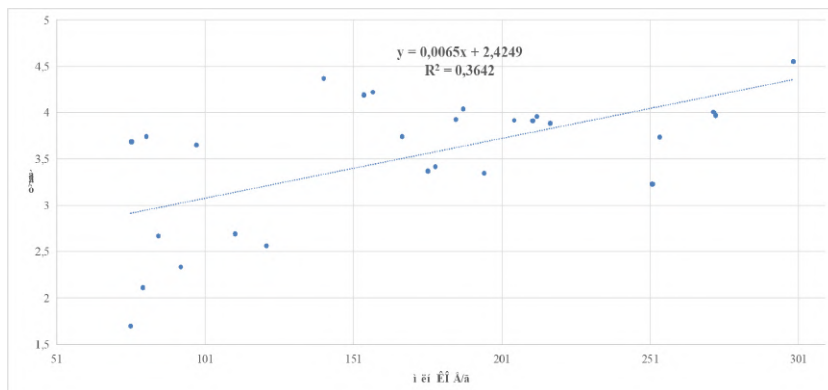


Рис. 2. Зависимость урожайности пшеницы от общей численности ризосферной микрофлоры (2021–2023 гг.)

Заключение

Результаты проведённых исследований демонстрируют неоднозначное воздействие приема предпосевной бактеризации семян препаратами комплексного действия на численность агрономически ценной микрофлоры ризосферы мягкой пшеницы. Положительное влияние агроприема оказал лишь на прикорневые микроорганизмы сорта Омская 44, отмечен рост при применении Флавобактерина на 22% относительно контрольного варианта опыта. Микробное население пшеницы сорта Омская 42 и Тарская 12 не отозвалось на интродукцию бактерий рода *Arthrobacter mysoresensis* 7 и *Flavobacterium sp.* L-30. В ризосфере исследуемых сортов преобладали иммобилизационные процессы, в наибольшей степени – у пшеницы Тарская 12 и Омская 44. Активность гидролитических ферментов в большинстве вариантов опыта имела тенденцию к увеличению относительно контроля (до 17%), однако активность окислительно-восстановительного фермента каталазы снижалась от применяемого агроприема, в пределах ошибки опыта (до 4%). Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) положительная ($r = 0,675$) зависимость урожайности пшеницы от количества микрофлоры в ризосфере.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-76-10064, <https://rscf.ru/project/23-76-10064/>).

Список литературы

1. Агроэкологическая оценка длительного применения удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / И.Ф. Храмцов, М.С. Чекусов, Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова, В.А. Волкова // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 104–107. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.20>
2. Анализ состояния почвенного микробного сообщества при длительной антропогенной нагрузке / Н.Р. Эмер, Н.В. Костина, А.И. Нетрусов, И.С. Жебрак, П.А. Кожевин // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2019. № 4. С. 56–62.
3. Анализ эффектов совместной инокуляции грибами арбускулярной микоризы и ризобиями на рост и развитие растений гороха *Pisum sativum* L. / И.В. Леппянен, О.Ю. Штарк, О.А. Павлова, А.Д. Бовин, К.А. Иванова, Т.С. Серова, Е.А. Долгих // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 3. С. 475–486. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.475rus>
4. Ананьева Н.Д., Благодатская Е.В., Демкина Т.С. Оценка устойчивости микробных комплексов почв к природным и антропогенным воздействиям // Почвоведение. 2002. № 5. С. 580–587.
5. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Н.А. Воронкова, Е.В. Тукмачева, В.Д. Дороненко // Агрохимия. 2019. № 2. С. 13–20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
7. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биопрепаратов в посеве озимой пшеницы на светло-серой лесной почве // Земледелие. 2021. № 1. С. 27–30. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10107>
8. Заргарян Н.Ю., Кекало А.Ю., Немченко В.В. Влияние предшественников и способов обработки на фитосанитарное состояние почвы в Курганской области // Экологический подход к решению проблем интегрированной защиты растений: Сборник трудов Международной конференции Сибирской научной школы по защите растений, посвященной 85-летию со дня рождения В.А. Чулкиной. Новосибирск: НГАУ Золотой колос, 2019. С. 10–14.
9. Злотников А.К. Сравнительная эффективность стимуляторов роста и биофунгицидов в полевых условиях // Агро-XXI. 2013. № 7–9. С. 22–24.
10. Иванов А.Л. Роль микробиологии в оценке почвенных ресурсов // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 26–28.

11. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Носин В.А., Фриев Т.А. Москва: Колос, 1977. 221 с.
12. Козлов А.В., Куликова А.Х., Селицкая О.В., Уромова И.П. Устойчивость микробиологической активности дерново-подзолистой почвы в условиях применения диатомита и цеолита // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 46. С. 26–47. <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2>
13. Корчагина И.А., Юшкевич Л.В. Сорта пшеницы в интенсивном земледелии Омского Прииртышья. Омск: ФГБНУ Омский аграрный научный центр, 2023. 172 с.
14. Кузнецова Л.Н. Целлюлозоразрушающая способность микроорганизмов при «Нулевой» технологии // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №7. С. 49–51.
15. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы как компоненты биогеоценоза. Москва: Наука, 1984. 134 с.
16. Муха В.Д. О показателях, отражающих интенсивность и направленность почвенных процессов // Сборник научных трудов Харьковского СХИ. Харьков: Харьковский сельскохозяйственный институт, 1980. Т. 273. С. 13–16.
17. Теппер Е.З., Шильникова В.К. Практикум по микробиологии учебное пособие для вузов / под ред. В. К. Шильниковой. Москва: Дрофа, 2004. 256 с.
18. Шулико Н.Н., Тимохин А.Ю., Тукмачева Е.В. Экологическое состояние лугово-черноземной почвы при длительном орошении // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (55). С. 79–85. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-79-85>
19. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: II. Особенности действия в условиях недостатка влаги / Власенко Н.Г., Павлюшин В.А., Теплякова О.И., Кулагин О.В., Морозов Д.О. // Вестник защиты растений. 2022. Т. 105, № 4. С. 181–192. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>
20. Anilkumar R.R., Edison L.K., Pradeep N.S. Exploitation of fungi and actinobacteria for sustainable agriculture // Microbial biotechnology, 2017, pp. 135–162. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_6
21. Berg B., Laskowski R. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. In book: Advances in Ecological Research, 2006, vol. 38, 421 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(05\)38001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(05)38001-9)
22. Frac M., Jezierska-Tys S., Yaguchi T. Occurrence, detection, and molecular and metabolic characterization of heat-resistant fungi in soils and plants and their

- risk to human health // *Advances in Agronomy*, 2015, vol. 132, pp. 161-204. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.003>
23. Horz H.P., Barbrook A., Field C.B., Bohannon B.J.M. Ammonia oxidizing bacteria respond to multifactorial global change // *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, vol. 101 (42), pp. 15136-15141. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406616101>
24. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N.N. Shuliko, O.F. Khamova, A.Yu. Timokhin, V.S. Boiko, E.V. Tukmacheva, A. Krempa // *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, № 1, p. 14672. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18639-1>
25. Kheyroodin H., Ghazvinian K., Taherian M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities // *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 11 (81), pp. 14652-14659. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
26. Kowalchuk G.A., Stephen J.R. Ammonia oxidizing bacteria: a model for molecular microbial ecology // *Annual Reviews Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 485-529. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
27. Qiu S., Chen G., Zhou Y. Abundance and diversity of ammonia oxidizing bacteria in relation to ammonium in a Chinese shallow eutrophic urban lake // *Brazilian Journal of Microbiology*, 2010, vol. 41 (1), pp. 218-226. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000100031>
28. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: a dose-effect microcosm approach / O. Crouzet, I. Batisson, P. Besse-Hoggan, F. Bonnemoy, C. Bardot, F. Poly, J. Bohatier, C. Mallet // *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42 (2), pp. 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.016>
29. Sebiomo A., Ogundero V.W., Bankole S.A. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity // *African journal of biotechnology*, 2011, vol. 10 (31), pp. 770-778.
30. The distribution of microorganisms in different types of agricultural soils in the Vojvodina province / J. Marinkovic, D. Bjelic, J. Vasin, B. Tintor, J. Ninkov // *Research Journal of Agricultural Science*, 2012, vol. 44 (3), pp. 73-78.
31. The impact of agricultural soil usage on activity and abundance of ammonifying bacteria in selected soils from Poland / A. Wolińska, A. Szafranek-Nakonieczna, A. Banach, M. Błaszczuk, Z. Stępniewska // *Springer Plus*, 2016, vol. 5, p. 565. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
32. Wielgosz E., Józwiakowski K., Bielińska E.J. Numbers of ammonifying, nitrifying and denitrifying bacteria in sewage treated in a system of biological stabilisation ponds // *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr*, 2010, vol. 7, pp. 446-456.

33. World reference base for soil resources: 2006: a framework for international classification, correlation and communication / E. Micheli, P. Schád, O. Spaargaren, D. Dent, F. Nachtergaele, WRB IUSS. FAO: Rome, 2006. 130 p.

References

1. Agroekologicheskaya otsenka dlitel'nogo primeneniya udobreniy na chernozemnykh pochvakh Zapadnoy Sibiri [Agroecological assessment of long-term use of fertilizers on chernozem soils of Western Siberia] / I.F. Khramtsov, M.S. Chekusov, N.A. Voronkova, N.F. Balabanova, V.A. Volkova. *Plodородie* [Fertility], 2021, no. 3 (120), pp. 104-107. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.20>
2. Analiz sostoyaniya pochvennogo mikrobnogo soobshchestva pri dlitel'noy antropogennoy nagruzke [Analysis of the state of the soil microbial community under prolonged anthropogenic load] / N.R. Emer, N.V. Kostina, A.I. Netrusov, I.S. Zhebrak, P.A. Kozhevin. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie* [Bulletin of the Moscow University. Episode 17. Soil science], 2019, no. 4, pp. 56-62.
3. Analiz effektivov sovmestnoy inokulyatsii gribami arbuskulyarnoy mikorizy i rizobiyami na rost i razvitie rasteniy gorokha *Pisum sativum* L. [Analysis of the effects of joint inoculation by arbuscular mycorrhiza fungi and rhizobia on the growth and development of *Pisum sativum* L. pea plants] / I.V. Leppyanen, O.Yu. Shtark, O.A. Pavlova, A.D. Bovin, K.A. Ivanova, T.S. Serova, E.A. Dolgikh. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2021, vol. 56, no. 3, pp. 475-486. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.475rus>
4. Anan'eva N.D., Blagodatskaya E.V., Demkina T.S. Otsenka ustoychivosti mikrobnyykh kompleksov pochv k prirodnym i antropogennym vozdeystviyam [Assessment of the stability of soil microbial complexes to natural and anthropogenic influences]. *Pochvovedenie* [Soil science], 2002, no. 5, pp. 580-587.
5. Vliyanie kompleksnogo primeneniya udobreniy i biopreparatov na effektivnoe plodородie chernozema vyshchelochennogo i produktivnost' yachmenya [The effect of the complex application of fertilizers and biological products on the effective fertility of leached chernozem and the productivity of barley] / N.N. Shuliko, O.F. Khamova, N.A. Voronkova, E.V. Tukmacheva, V.D. Doronenko. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2019, no. 2, pp. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
6. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Agropromizdat Pudl., 1985, 351 p.

7. Zavalin A.A., Nakaryakov A.M. Effektivnost' primeneniya biopreparatov v pos-eve ozimoy pshenitsy na svetlo-seroy lesnoy pochve [The effectiveness of the use of biological products in sowing winter wheat on light gray forest soil]. *Zemledelie* [Agriculture], 2021, no. 1, pp. 27-30. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10107>
8. Zargaryan N.Yu., Kekalo A.Yu., Nemchenko V.V. Vliyanie predshestvennikov i sposobov obrabotki na fitosanitarnoe sostoyanie pochvy v Kurganskoy oblasti [Influence of precursors and processing methods on the phytosanitary condition of the soil in the Kurgan region]. *Ekologicheskii podkhod k resheniyu problem integrirovannoy zashchity rasteniy* [Ecological approach to solving the problems of integrated plant protection. Collection of works of the International Conf. Sib. sci. plant protection schools], 2019, pp. 10-14.
9. Zlotnikov A.K. Sravnitel'naya effektivnost' stimulyatorov rosta i biofungitsidov v polevykh usloviyakh [Comparative effectiveness of growth stimulants and biofungicides in the field]. *Agro-XXI* [Agro-XXI], 2013, no. 7-9, pp. 22-24.
10. Ivanov A.L. Rol' mikrobiologii v otsenke pochvennykh resursov [The role of microbiology in the assessment of soil resources]. *Vestnik Rossijskoj sel'skokhozyajstvennoy nauki* [Bulletin of the Russian Agricultural Science], 2015, no. 6, pp. 26-28.
11. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils of the USSR] / V.V. Egorov, V.M. Fridland, E.N. Ivanova, N.N. Rozov, V.A. Nosin, T.A. Frieв. Moscow: Kolos Publ., 1977, 221 p.
12. Kozlov A.V., Kulikova A.Kh., Selitskaya O.V., Uromova I.P. Ustoychivost' mikrobiologicheskoy aktivnosti dernovo-podzolistoy pochvy v usloviyakh primeneniya diatomita i tseolita [Stability of the microbiological activity of sod-podzolic pochvy v usloviyah primeneniya diatomita i ceolita]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2019, no. 46, pp. 26-47. <https://doi.org/10.17223/19988591/46/2>
13. Korchagina I.A., Yushkevich L.V. *Sorta pshenicy v intensivnom zemledelii Omskogo Priirty'sh'ya* [Wheat varieties in intensive agriculture of the Omsk Irtysh region.]. Omsk: Omsk Agrarian Scientific Center Publ., 2023, 172 p.
14. Kuznetsova L.N. Tsellyulozorazrushayushchaya sposobnost' mikroorganizmov pri «Nulevoy» tekhnologii [Cellulose-destroying ability of microorganisms with "Zero" technology]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2014, no. 7, pp. 49-51.
15. Mishustin E.N. *Mikroorganizmy kak komponenty biogeotsenoza* [Microorganisms as components of biogeocenosis]. Moscow: Nauka Publ., 1984, 134 p.

16. Muha V.D. O pokazatelyah, otrazhayushchih intensivnost' i napravlennost' pochvennyh processov [On indicators reflecting the intensity and direction of soil processes]. *Sbornik nauchnykh trudov Khar'kovskogo SKhI* [Collection of scientific papers of Kharkov Agricultural Institute]. Kharkiv: Kharkiv Agricultural Institute, 1980, vol. 273. pp. 13–16.
17. Tepper E.Z., Shil'nikova V.K. *Praktikum po mikrobiologii uchebnoe posobie dlya vuzov* [Microbiology Workshop textbook for universities] / pod red. V.K. Shil'nikovoj. Moscow: Drofa Publ., 2004, 256 p.
18. Shuliko N.N., Timokhin A.Yu., Tukmacheva E.V. Ekologicheskoe sostoyanie lugovo-chernozemnoy pochvy pri dlitel'nom orosheni [Ecological state of meadow-chernozem soil under prolonged irrigation]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2021, no. 3(55), pp. 79-85. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-79-85>.
19. E' Effektivnost' zashchity yarovoy pshenitsy biopreparatami i fungitsidami v lesostepi Priob'ya: II. Osobennosti deystviya v usloviyakh nedostatka vlagi [The effectiveness of protection of spring wheat with biologics and fungicides in the forest-steppe of the Ob region: II. Features of action in conditions of lack of moisture] / N.G. Vlasenko, V.A. Pavlyushin, O.I. Teplyakova, O.V. Kulagin, D.O. Morozov. *Vestnik zashchity rasteniy* [Bulletin of Plant Protection], 2022, vol. 105, no. 4, pp. 181-192. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>
20. Anilkumar R.R., Edison L.K., Pradeep N.S. Exploitation of fungi and actinobacteria for sustainable agriculture / Patra J.K., Vishnuprasad Ch.N., Das G. (eds.). *Microbial biotechnology. Applications in agriculture and environment*, 2017, pp. 135-162. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_6
21. Berg B., Laskowski R. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. *Advances in Ecological Research*, 2006, vol. 38, 421 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(05\)38001-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(05)38001-9)
22. Frac M., Jezierska-Tys S., Yaguchi T. Occurrence, detection, and molecular and metabolic characterization of heat-resistant fungi in soils and plants and their risk to human health. *Advances in Agronomy*, 2015, vol. 132, pp. 161-204. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.02.003>
23. Horz H.P., Barbrook A., Field C.B., Bohannon B.J.M. Ammonia oxidizing bacteria respond to multifactorial global change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2004, vol. 101(42), pp. 15136-15141. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406616101>
24. Influence of long-term intensive use of irrigated meadow-chernozem soil on the biological activity and productivity of the arable layer / N.N. Shuliko, O.F. Khamova,

- A. Yu. Timokhin, V.S. Boiko, E.V. Tukmacheva, Krempa A. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, p. 14672. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-18639-1>
25. Kheyrodin H., Ghazvinian K., Taherian M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. *African Journal of Biotechnology*, 2012, vol. 11 (81), pp. 14652-14659. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1335>
26. Kowalchuk G.A., Stephen J.R. Ammonia oxidizing bacteria: a model for molecular microbial ecology. *Annual Reviews Microbiology*, 2001, vol. 55, pp. 485-529. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.55.1.485>
27. Qiu S., Chen G., Zhou Y. Abundance and diversity of ammonia oxidizing bacteria in relation to ammonium in a Chinese shallow eutrophic urban lake. *Brazilian Journal of Microbiology*, 2010, vol. 41, pp. 218-226. <https://doi.org/10.1590/S1517-838220100001000031>
28. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: a dose-effect microcosm approach / O. Crouzet, I. Batisson, P. Besse-Hoggan, F. Bonnemoy, C. Bardot, F. Poly, J. Bohatier, C. Mallet. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42 (2), pp. 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.016>
29. Sebiomo A., Ogundero V.W., Bankole S.A. Effect of four herbicides on microbial population, soil organic matter and dehydrogenase activity. *African journal of biotechnology*, 2010, vol. 10 (31), pp. 770-778.
30. The distribution of microorganisms in different types of agricultural soils in the Vojvodina province / J. Marinkovic, D. Bjelic, J. Vasin, B. Tintor, J. Ninkov. *Research Journal of Agricultural Science*, 2012, vol. 44 (3), pp. 73-78.
31. The impact of agricultural soil usage on activity and abundance of ammonifying bacteria in selected soils from Poland / A. Wolińska, A. Szafraniek-Nakonieczna, A. Banach, M. Błaszczyk, Z. Stępniewska. *Springer Plus*, 2016, vol. 5, pp. 565. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
32. Wielgosz E., Józwiakowski K., Bielińska E.J. Numbers of ammonifying, nitrifying and denitrifying bacteria in sewage treated in a system of biological stabilisation ponds. *Teka Kom Ochr Kszt Środ Przyr*, 2010, vol. 7, pp. 446-456. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2264-8>
33. *World reference base for soil resources: 2006: a framework for international classification, correlation and communication* / E. Micheli, P. Schäd, O. Spaargaren, D. Dent, F. Nachtergaele, WRB IUSS. FAO: Rome, 2006, 130 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

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

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

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

Хамова Ольга Федоровна, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории микробиологии

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»*

пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация

olkhaa48@mail.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*

Паршуткин Юрий Юрьевич, к.с.-х.н., заведующий отделом семеноводства
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский аграрный научный центр»
пр. Королева 26, г. Омск, 644012, Российская Федерация
parshutkin@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*

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*

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

Alina A. Kiseleva, 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>

Olga F. Khamova, Cand.Sci. (Biol.), Leading Researcher of Laboratory of Microbiology

Omsk Agrarian Scientific Center

26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation

olkhaa48@mail.ru

SPIN-code: 1764-9875

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0757-7008>

Scopus Author ID: 9434827600

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

Yuri Yu. Parshutkin, Cand.Sci. (Agric.), Head of Department of Seed Production

Omsk Agrarian Scientific Center
26, Koroleva Ave., Omsk, 644012, Russian Federation
parshutkin@anc55.ru
SPIN-code: 6010-1314
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9333-0401>
Scopus Author ID: 57221963824

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

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 19.01.2024

Принята 10.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 19.01.2024

Accepted 10.02.2024

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

HORTICULTURE AND FORESTRY

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-870

UDC 630:165.6



Original article

**DENDROLOGICAL COLLECTIONS
OF THE KULUNDA CLUSTER FEDERAL RESEARCH
CENTER OF AGROECOLOGY***A.A. Dolgikh, A.I. Belyaev, A.Sh. Khuzhakhmetova*

Background. In 2016, the Kulunda Arboretum was given the status of a specially protected natural area of federal significance. A long-term array of data on the introduction potential of woody plants in collections forms the basis for regulating introduction work and increasing the efficiency of mobilization of economically important plants.

Purpose – assess the current state of bioresource collections of the Kulunda Arboretum.

Materials and methods. The objects of the study are the gene pool of the Kulunda Arboretum - 137 species, forms and hybrids. Clarification of the taxonomic composition of the gene pool of the collections and generalization of experimental inventory data (age, preservation, taxation parameters, viability, renewal) was carried out with the involvement of departmental materials and databases.

Results. The taxonomic composition of the collections, the age, safety, taxation and reproductive indicators of the introduced species has been specified. An analysis of the natural ranges of introduced woody plants revealed the predominance of representatives of the European (28%) and North American (19%) dendroflora. The ratio of the collection fund in terms of vitality indicators is given. It was revealed that 31,9% of plants are in good condition and promising for involvement in programs for the conservation and rational use of biological diversity. On the basis of a long-term study of plants and the experience of their introduction (since 1977), a group of tree species capable of invasive dispersal outside the collection areas of the Kulunda arboretum was identified.

Conclusion. Based on the inventory of collection areas of the Kulunda Arboretum, the composition of trees and shrubs was clarified (137 taxa, 52 genera, 24 families) and ranked according to preservation (from 50 to 100%) and viability (good – 31,9%, satisfactory – 47,2%, unsatisfactory – 22,2% of species). Based on the results of the inventory of arboretum collections, species that may pose an invasive threat were identified. A natural decline of species from collections is predicted, which determines the relevance of the task of preserving the gene pool of adapted introduced species by introducing them into forest reclamation complexes.

Keywords: dendroflora; introduction; Kulunda arboretum; adaptation; conservation

For citation. Dolgikh A.A., Belyaev A.I., Khuzhakhmetova A.Sh. Dendrological Collections of the Kulunda Cluster Federal Research Center of Agroecology. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 348-363. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-870

Научная статья

ДЕНДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОЛЛЕКЦИИ КУЛУНДИНСКОГО КЛАСТЕРА ФНЦ АГРОЭКОЛОГИИ РАН

А.А. Долгих, А.И. Беляев, А.Ш. Хужахметова

Обоснование. В 2016 году Кулундинскому дендропарку присвоен статус особо охраняемой природной территории федерального значения. Многолетний массив данных об интродукционном потенциале древесных растений в коллекциях составляет основу для регулирования интродукционной работы и повышения эффективности мобилизации хозяйственно важных растений.

Цель – провести оценку современного состояния биоресурсных коллекций Кулундинского дендрария.

Материалы и методы. Объектами исследования являются генофонд Кулундинского дендропарка - 137 видов, форм и гибридов. Уточнение таксономического состава генофонда коллекций и обобщение экспериментальных данных инвентаризации (возраст, сохранность, параметры таксации, жизнеспособность, возобновление) осуществлялось с привлечением ведомственных материалов, баз данных.

Результаты. В Кулундинском дендрарии – кластере особо охраняемой территории федерального значения, проводят комплексные исследования за видами

деревьев и кустарников в условиях интродукции. Уточнен таксономический состав коллекций, а также возраст, сохранность, таксационные и репродуктивные показатели интродуцентов. Анализ естественных ареалов интродукционных древесных растений выявил преобладание представителей европейской (28%) и североамериканской (19%) дендрофлоры. Дано соотношение коллекционного фонда по показателям жизнеспособности. Выявлено, что 31,9% растений имеют хорошее состояние и перспективные для привлечения в программы по сохранению и рациональному использованию биологического разнообразия. На основе длительного комплексного изучения растений и опыта их интродукции (с 1977 года) выделена группа древесных видов, способная к инвазионному расселению за пределами коллекционных участков Кулундинского дендрария.

Заключение. По материалам инвентаризации коллекционных участков Кулундинского дендрария уточнен состав деревьев и кустарников (137 таксонов, 52 рода, 24 семейства) и ранжирован по сохранности (от 50 до 100 %) и жизнеспособности (хорошая – 31,9%, удовлетворительная – 47,2%, неудовлетворительная – 22,2% видов). По результатам инвентаризации дендрокolleкций выявлены виды, которые могут представлять инвазионную опасность. Прогнозируется естественная убыль видов из коллекций, что определяет актуальность задач сохранения генофонда адаптированных интродуцентов путем внедрения их в лесомелиоративные комплексы.

Ключевые слова: дендрофлора; интродукция; Кулундинский дендрарий; адаптация; сохранность

Для цитирования. Долгих А.А., Беляев А.И., Хужахметова А.Ш. Дендрологические коллекции Кулундинского кластера ФНЦ агроэкологии РАН // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 348-363. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-870

Introduction

Over the past hundred years of introduction, progress has been made in expanding the range of woody plants for protective afforestation [7; 9]. Introduction, as a scientific direction, ensures the search and introduction of new plants with valuable biological and economic properties to increase the biodiversity and productivity of degraded agroecosystems [2; 6; 13].

In the Kulunda steppe, the existing protective forest plantations with the participation of trees *Betula*, *Populus*, rarely *Pinus*, *Larix*, *Salix* have reached the age limit and are ineffective in reducing the impact of stress factors – unstable income rainfall during the growing season, combined with high air temperatures, active wind regime; low winter air temperatures [4; 5; 8].

Forest reclamation of degraded and technogenic landscapes with long-lived and pollution-resistant species is considered as a positive result of introduction activities [10; 11]. For example, the intensive ability of the introduced plants *Acer negundo* L., *Ulmus pumila* L. to regenerate (seed and vegetative) on soils of light granulometric composition contributes to the cessation of soil deflation under active wind conditions.

Some researchers M.M. Silantyeva et al. [12] also note the negative aspects of the introduction: «... over a ten-year observation period, the area of maple and mixed forests with the participation of *Acer negundo* increased almost 6 times. Monodominant maple forests and mixed forests with other invasive species are formed. This leads to a significant anthropogenic transformation of pine forests in the Altai Territory and a decrease in their nature-forming, socio-economic and environmental significance ...».

In this regard, a comprehensive study of the adaptive capabilities of trees and shrubs in an arid region is being carried out in order to solve the problems of their rational use, enriching the dendroflora of forest reclamation complexes [3]. A long-term array of data on the introduction potential of woody plants in the collections of the Kulunda Arboretum forms the basis for regulating introduction work and increasing the efficiency of mobilizing economically important plants.

Background – assess the current state of bioresource collections of the Kulunda Arboretum.

Materials and methods

In 2016, the Kulunda Arboretum was given the status of a specially protected natural area of federal significance, located on the lands of the West Siberian Agroforestry Reclamation Experimental Station - a branch of the Federal Research Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Forest Reclamations of the Russian Academy of Science (WSARES – a branch Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences). The main activity of the institution is the introduction of woody plants, the selection of an assortment for protective afforestation and landscaping, the conservation of diversity and the enrichment of the flora. The objects of research are the gene pool of the Kulunda arboretum of the ZS AGLOS – 137 species, forms and hybrids (Fig. 1).

The soils of the cadastral area No. 22:23:010003:0014 (4.7 ha) are chestnut, light loamy (humus 0,6-2,7%). Group placement of plants (from 4 to 8 specimens) has been preserved to the present (Fig. 2).



Fig. 1. Zoning and location of the boundaries of the Kulunda Arboretum

Clarification of the taxonomic composition of the gene pool of collections and generalization of survey data (age, safety, taxation parameters, vitality) was carried out with the involvement of departmental materials of the WS ARES and thematic databases [1], which are interconnected and reflect the prospects of the objects of study in terms of a set of indicators.

To justify the practical use of introducers, they were grouped according to the method of renewal (self-sowing, vegetatively natural, artificially by seeds, artificially vegetatively). Accounting plots (1 m² each) were laid evenly under the canopy of plantations. When analyzing quantitative indicators obtained as a result of experiments and observations, standard statistical computer programs Statistica 12, Exel were used.



Fig. 2. Exposition of trees and shrubs in the Kulunda Arboretum

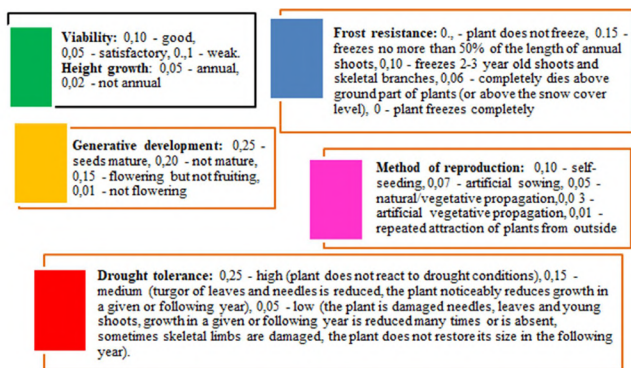


Fig. 3. Scales for assessing introducers

Winter hardiness, drought tolerance, flowering character, fruiting, etc. were determined according to the scales (Fig. 3).

Research results and their discussion

It has been established that the largest number of species, forms and hybrids belong to the Rosaceae (49) and Salicaceae (24) families in the structure of the gene pool of the Arboretum. The remaining families are represented by a small number of species – from 1 to 7 (Fig. 4).

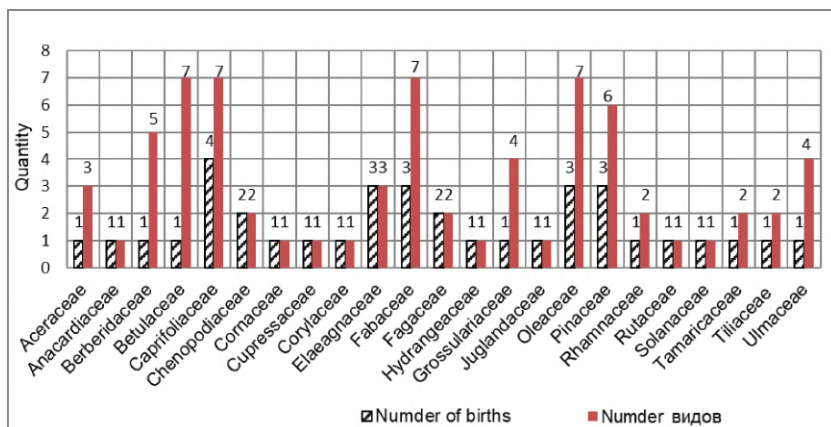


Fig. 4. Systematic composition of dendrological collections

A significant part of the introduced species are representatives of the European (28%) and North American (19%) dendroflora (Fig. 5).

Trees introduced into dry steppe conditions grow differently than in the forest zone. In the forest, they develop slowly, with the gradual extinction of the physiological functions of the plant organism. Previously, it was found that under new conditions, trees become fast-growing [10], there is a limited height of different species – up to 10-14 m (on average 6-9 m). Shrubs in the dry steppe reach their maximum height at the age of 15-20 years. Most trees have had little growth in recent years.

Technological elements and activities for the enrichment of dendroflora should take into account changes in the ecological environment and the impact of climate change on plant organisms, their longevity. Collectible plants of the age group (up to 40 years old) account for about 10% with a survival rate of 50% (mountain pine) to 100% (*Picea schrenkiana* subsp (Rupr.) Bykov, *Picea omorika* (Pane.) Purk., *Lonicera albertii* Regel, *Cotoneaster multiflorus* Bunge,

Crataegus pinnatifida Bunge) (Fig. 6). All plant species in this age group are in good condition, with the exception of *Viburnum sargentii* Koehne.

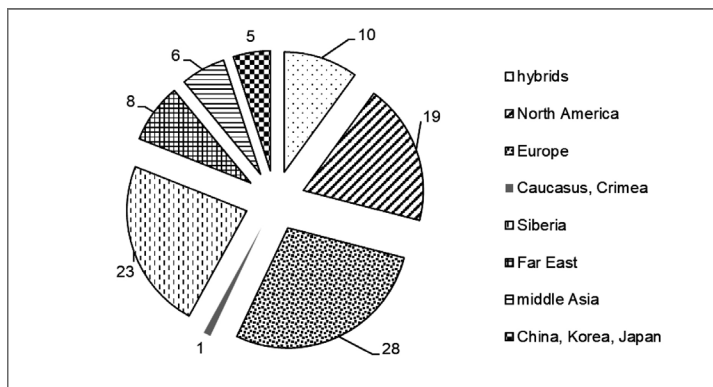
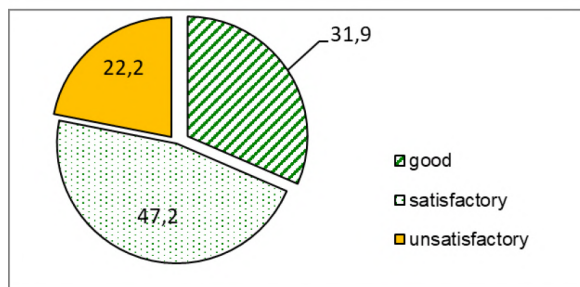
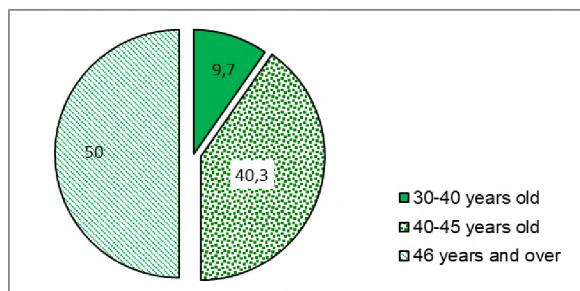


Fig. 5. Distribution of the gene pool by origin (%)



a



b

Fig. 6. Grouping of introduced species (in %) according to their vitality (a) and age (b)

According to the inventory of trees and shrubs of other age categories (from 40 to 50 years old), the following species are in good condition: *Larix sibirica* Ledeb., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour, *Caragana frutex* (L.) C.Koch., *Viburnum lantana* L., *Ribes alpinum* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Amelanchier spicata* (Lam.) C.Koch., *Cotoneaster melanocarpus* Lodd., *Spiraea trilobata* L., *Berberis vulgaris* L., *Amygdalus ledebouriana* Schlecht., *Rosa acicularis* Lindl., *R. alaiica* Juz., *Crataegus (al-taica* Lge., *arnoldiana* Sarg., *maximowiczii* C. K. Schneid.).

Studies of a large collection under similar experimental conditions in a limited area for a comparative assessment of growth processes and breeding efficiency make it possible to establish the degree of adaptation and the manifestation of diagnostic features that indicate compliance or non-compliance with new habitat conditions. According to the quantitative and qualitative indicators of fruiting for the purposes of agroforestry, shrubs of the genera *Amelanchier*, *Crataegus*, *Cotoneaster*, *Rosa*, *Spiraea* with a high degree of adaptation were identified (Table 1). A different level of fruit weight indicator variability has been established - from low (*Pyrus ussuriensis*, *Cotoneaster lucidus*), medium (*Amelanchier spicata*, *Padus virginiana*, *Sorbus schneideriana*, *Crataegus arnoldiana*, *C. maximowiczii*), high (*Cotoneaster multiflorus*, *Aronia melanocarpa*, *Rosa acicularis*) to high (*Crataegus sanguinea*) and very tall (*Cotoneaster melanocarpus*).

Table 1.

Characteristics of fruits and seeds of tree species

Plant name	Weight of 1000 fruits, g		Weight of 1000 seeds, g	
	average value for 2019-2021 (deviation from the average for 2016-2018)	2022	average value for 2019-2021 (deviation from the average for 2016-2018)	2022
<i>Pyrus ussuriensis</i>	1666,8 (+243,7)	1546,0	47,52 (-3,12)	31,0
<i>Amelanchier spicata</i>	563,5 (-55,5)	532,5	3,94 (-0,44)	6,0
<i>Padus virginiana</i>	518,2 (+25,0)	627,5	76,30 (-41,5)	96,0
<i>Cotoneaster melanocarpus</i>	339,4 (-127,3)	297,5	15,00 (-0,3)	17,0
<i>C. lucidus</i>	352,7 (-7,5)	338,0	17,00 (1,4)	22,0
<i>C. multiflorus</i>	329,8 (+18,0)	316,0	14,70 (-0,1)	12,0
<i>Sorbus schneideriana</i>	242,0 (-0,5)	215,5	2,70 (-0,2)	5,0
<i>Aronia melanocarpa</i>	739,2 (-4,8)	763,0	2,80 (0,2)	3,0
<i>Crataegus arnoldiana</i>	1622,0 (+11,0)	1565,5	59,70 (-27,1)	46,0
<i>C. sanguinea</i>	594,7 (+8,9)	510,5	35,60 (1,7)	22,3
<i>C. maximowiczii</i>	753,8 (+29,4)	774,5	43,90 (2,6)	32,0
<i>Rosa acicularis</i>	1056,6 (-24,1)	1000,0	14,90 (0,7)	13,0

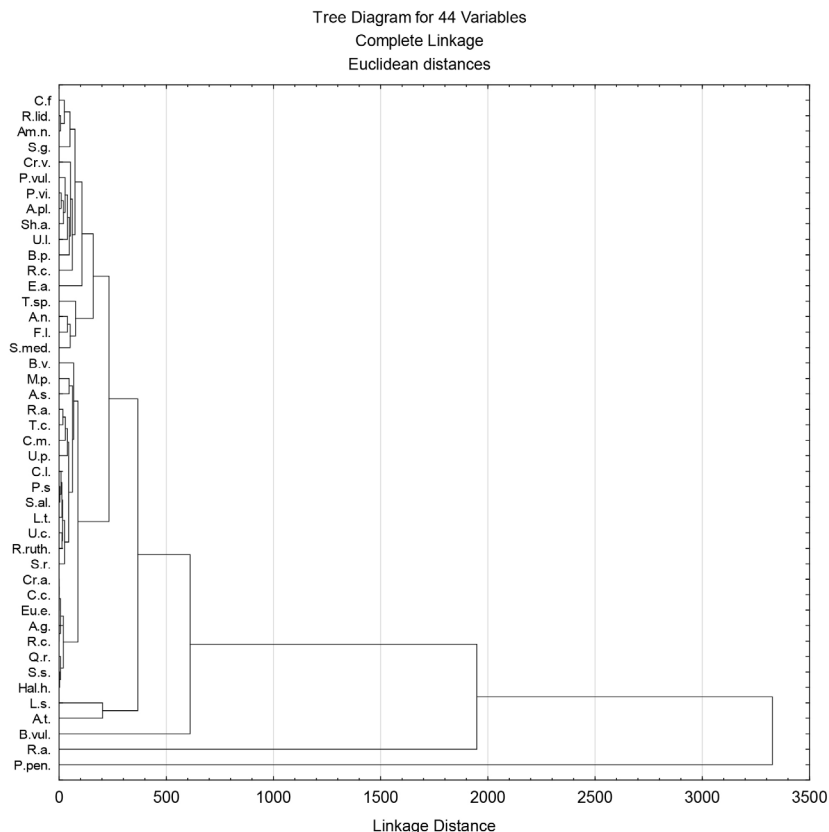
Seed indicators had a lower level of variability: from very low (*Aronia melanocarpa*, the coefficient of variation – 4,7%), low (*Cotoneaster multiflorus* – 12,47%) to medium (other species – 15,23-23,34%). It has been established that the amplitude of plasticity in different species is not the same. That is, the wider the range of plasticity, the more effective the adaptability of a given species to various environmental factors. Species that are capable of regenerating by self-seeding may be an invasive hazard. According to the results of the inventory of dendrocollections, species (*Acer - ginnala, negundo, tataricum, Ulmus parvifolia, Malus pallasiana, Berberis vulgaris, Amelanchier spicata, Crataegus pinnatifida*) were identified, which are found in more than 35,0% of the total number of registration sites (more than 30 specimens / site), as well as outside the dendro collections and are represented by pre-generative individuals (Table 2).

Table 2.

Number of individuals and their distribution in dendrological collections

Genus	Number of plants		Presence of plants (number of accounting sites)
	шт.	%	
<i>Acer</i>	7595	69,48	24
<i>Amelanchier</i>	127	1,16	15
<i>Berberis</i>	256	2,34	23
<i>Cerasus</i>	56	0,52	3
<i>Chamaecytisus</i>	279	2,56	10
<i>Cotinus</i>	93	0,85	6
<i>Cotoneaster</i>	90	0,82	20
<i>Crataegus</i>	123	1,12	15
<i>Malus</i>	315	2,89	31
<i>Padus</i>	195	1,78	6
<i>Populus</i>	89	0,81	3
<i>Quercus</i>	144	1,32	13
<i>Rhamnus</i>	65	0,59	7
<i>Ribes</i>	75	0,68	8
<i>Spiraea</i>	182	1,67	9
<i>Ulmus</i>	452	4,13	19
Others (36 genera)	796	7,28	52
Total	10932	100	

The second group according to the invasive status includes 9 species that are actively dispersed. A significant part of the introduced species (about 28,0%) forms local populations, sometimes found outside the arboretum (the third group). Clustering the results of assessing the ability of woody plants to regenerate made it possible to identify five clusters that united the accounting sites according to the similarity of species composition and frequency of occurrence (Fig. 7).



C.f. – *Cerasus fruticosa*, R.lid. – *Chamaecytisus lindemanni*, C.c. – *Cotinus coggygria*, Am.n. – *Amygdalus nana*; S.g. – *Spiraea crenata*, Cr.v. – *Crataegus pinnatifida*, P.vul. – *Padus avium*, P.vi. – *Padus virginiana*, A.pl. – *Acer platanoides*, Sh.a. – *Shepherdia argentea*, U.l. – *Ulmus laevis*, B.p. – *Betula pendula*, R.c. – *Rhamnus cathartica*, R.c. – *Rhamnus cathartica*, E.a. – *Elaeagnus angustifolia*, T. sp. – hybrids *Populus*, A.n. – *Acer negundo*, F.l. – *Fraxinus lanceolata*, S. med. – *Spiraea media*, B.v. – *Berberis vulgaris*, M.p. – *Malus pallasiana*, A.s. – *Amelanchier spicata*, R.a. – *Ribes aureum*, T.c. – *Tilia cordata*, C.m. – *Cotoneaster melanocarpus*, U.p. – *Ulmus pumila*, C.l. – *Cotoneaster lucidus*, P.s. – *Prunus spinosa*, S. a. – *Symphoricarpos albus*, L.t. – *Lonicera tatarica*, U.p. – *Ulmus propinqua*, S.r. – *Sambucus racemosa*, Cr.a. – *Crataegus altaica*, Eu.e. – *Euonymus europea*, A.g. – *Acer ginnala*, Q.r. – *Quercus robur*, S.s. – *Sorbus sibirica*, Hal.h. – *Halimodendron halodendron*, L.s. – *Larix sibirica*, A.t. – *Acer tataricum*, R.ac. – *Rosa aciacicularis*, P.pen. – *Padus pensylvanica*

Fig. 7. Cluster analysis of accounting sites by renewal and species composition

It has been established that the best renewal was observed in shrubs than in trees. On 48% of the accounting plots there is a renewal, which is represented

by 4 to 10 species (clusters II, IV), the rest of the clusters are accounting plots with a renewal of up to 3 species (clusters I and III, V).

Ranking of introducers according to their prospects, taking into account significant features, made it possible to distinguish three groups: promising (48,9%); with a good level of prospects (36,0%); acceptable level (10,0%); unpromising (5,0% of species) for the technology of enrichment of the dendroflora of forest reclamation complexes.

Promising economically valuable species are a priority for conservation and rational use in forest reclamation complexes and technologies for improving the agroforest landscapes of the Kulunda steppe in desertification conditions.

Conclusion

Based on the materials of the inventory of the collection plots of the Arboretum WS ARES, the composition of trees and shrubs was specified (137 taxa, 52 genera, 24 families). It has been established that the largest number of species, forms and hybrids belong to the Rosaceae (49) and Salicaceae (24) families. A significant part of the plants in the collection is represented by European (28%) and North American (19%) dendroflora taxa. The gene pool was ranked in terms of safety (from 50 to 100%) and vitality (good - 31.9%, satisfactory – 47,2%, unsatisfactory – 22,2% of species). According to the results of the inventory of dendrocollections, species that may represent an invasive danger have been identified. Pre-generative individuals of *Acer - ginnala*, *negundo*, *tataricum*, *Ulmus parvifolia*, *Malus pallasiana*, *Berberis vulgaris*, *Amelanchier spicata*, *Crataegus pinnatifida* are found in a significant part of the territory of the Kulunda arboretum, as well as outside it. Proper control over their movement and continuation of field studies while monitoring introduced populations are required. A natural loss of species from collections is predicted, which determines the relevance of the tasks of preserving the gene pool of adapted introducers by introducing them into forest reclamation complexes.

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

Sponsorship information. The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 121041200195-4).

References

1. Belyaev A. I., Podgaetskaya P. M., Dolgikh A. A., Semenyutina A. V., Khuzhakhmetova A. Sh. Economically valuable plants of the Kulunda arboretum

- requiring restoration and conservation: database registration certificate No. 2022622363; 09.28.2022, Copyright holder: Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences.
2. Cock M. J. W. Biosecurity and Forests: An Introduction - with particular emphasis on forest pests. FAO Forest Health and Biosecurity Working Paper FBS/2E, 2003, 65 p.
 3. Ishutin Ya. N., Paramonov E. G., Stoyashcheva N. V. Forest ecosystems in the ecological framework of the Kulunda steppe. *Polzunovskiy vestnik*. 2005, no. 4, pp. 83-88.
 4. Koropachinsky I. Yu. Natural hybridization of woody plants in Siberia and promises of use of natural hybrids in introduction and selection. *Fifth International Botanic Gardens Conservation Congress*. Kirstenbosch, South Africa, 1998, p. 18.
 5. Koropachinsky I. Yu., Sedelnikov V. P. Plant resources of Siberia: current status, rational use and conservation. *International scientific seminar about Siberia ecological problems and role of the German scientists in past and present of the Siberian science*. Novosibirsk, 1999, pp. 6-7.
 6. Le Saout S., Hoffmann M., Shi Y., Hughes A., Bernard C., Brooks T.M., Bertzky B., Butchart S. H. M., et. all. Protected areas and effective biodiversity conservation. *Science*, 2013, no. 342(6160), pp. 803-805. <https://doi.org/10.1126/science.1239268>
 7. Lobanov A. I. Implementation of the concept of creating a new generation of field-protective plantations in the south of Middle Siberia. *Botanical research in Siberia*, 2010, no. 18, pp. 125-127.
 8. Martynova N., Budarova V. Geoinformation monitoring of the territory of Western Siberia. *E3S Web of Conferences*, 2021, vol. 244, p. 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124403026>
 9. Semenyutina A. V., Huzhahmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Dolgih A. A., Tsoi M. V. Analysis and periodization the use of dendrological resources to increase biodiversity. *Voprosy istorii*, 2021, no. 7-1, pp. 189-197. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202107Statyi17>
 10. Semenyutina A. V., Tereshkin A. V. Protective afforestation: analysis of the composition and the scientific basis of increasing biodiversity dendroflora. *Successes of modern natural science*, 2016, no. 4, pp. 99-104.
 11. Semenyutina A. V., Podkovyrova G. V., Khuzhahmetova A. Sh., Svintsov I. P., Semenyutina V. A., Podkovyrov I. Yu. Engineering implementation of landscaping of low-forest regions. *International journal of mechanical engineering and technology*, 2018, no. 9(10), pp. 1415-1422.

12. Silantyeva M. M., Ovcharova N. V., Terekhina T. A., Nesterova A. O., Elesova N. V., Kornievskaya T.V., Speranskaya N.Yu. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Krai (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests. *Acta Biologica Sibirica*, 2021, no. 7, pp. 63-76. <https://doi.org/10.3897/abs.7.e62111>
13. Soliveres S., Ulrich W., Manning P., Boch S., Fischer M., Müller J., Prati D., Schöning I. et al. Intransitive competition networks increase grassland diversity, but do not dampen the negative effect of land-use intensity on plant richness. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 2014, no. 32, pp. 96-97.

Список литературы

1. Беляев А. И., Подгаецкая П. М., Долгих А. А., Семенютина А. В., Хужахметова А. Ш. Хозяйственно ценные растения Кулундинского дендрария, требующих восстановления и сохранения: свидетельство о регистрации базы данных №2022622363; Правообладатель: ФНИЦ агроэкологии РАН.
2. Cock M. J. W. Biosecurity and Forests: An Introduction - with particular emphasis on forest pests. FAO Forest Health and Biosecurity Working Paper FBS/2E, 2003, 65 p.
3. Ишутин Я. Н., Парамонов Е. Г., Стоящева Н. В. Лесные экосистемы в экологическом каркасе Кулундинской степи // Ползуновский вестник. 2005. №4. С. 83-88.
4. Koropachinsky I. Yu. Natural hybridization of woody plants in Siberia and promises of use of natural hybrids in introduction and selection // Fifth International Botanic Gardens Conservation Congress. Kirstenbosch, South Africa, 1998. P. 18.
5. Koropachinsky I. Yu., Sedelnikov V. P. Plant resources of Siberia: current status, rational use and conservation // International scientific seminar about Siberia ecological problems and role of the German scientists in past and present of the Siberian science. Novosibirsk, 1999. P. 6-7.
6. Le Saout S., Hoffmann M., Shi Y., Hughes A., Bernard C., Brooks T. M., Bertzky B., Butchart S. H. M., et. all. Protected areas and effective biodiversity conservation // Science. 2013. № 342(6160). P. 803-805. <https://doi.org/10.1126/science.1239268>
7. Лобанов А.И. Реализация концепции создания нового поколения полезащитных насаждений на юге Среднем Сибири // Ботанические исследования в Сибири. 2010. Вып. 18. С. 125-127.
8. Martynova N., Budarova V. Geoinformation monitoring of the territory of Western Siberia // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 244, 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124403026>

9. Semenyutina A. V., Huzhahmetova A. Sh., Semenyutina V. A., Dolgih A. A., Tsoi M. V. Analysis and periodization the use of dendrological resources to increase biodiversity // *Voprosy istorii*. 2021. № 7-1. P. 189-197. <https://doi.org/10.31166/VoprosyIstorii202107Statyi17>
10. Семенютина А. В., Терешкин А. В. Защитные лесные насаждения: анализ видового состава и научные основы повышения биоразнообразия дендрофлоры // *Успехи современного естествознания*. 2016. №4. С. 99-104.
11. Semenyutina A. V., Podkovyrova G. V., Khuzhahmetova A. Sh., Svintsov I. P., Semenyutina V. A., Podkovyrov I. Yu. Engineering implementation of landscaping of low-forest regions // *International journal of mechanical engineering and technology*. 2018. № 9(10). P. 1415–1422.
12. Silantyeva M. M., Ovcharova N. V., Terekhina T. A., Nesterova A. O., Elesova N. V., Kornievskaya T.V., Speranskaya N.Yu. Distribution of *Acer negundo* L. in Altai Krai (Russia, Southern Siberia) and its coenotic role in pine forests // *Acta Biologica Sibirica*. 2021. №7. P. 63-76 doi: 10.3897/abs.7.e62111
13. Soliveres S., Ulrich W., Manning P., Boch S., Fischer M., Müller J., Prati D., Schöning I. et al. Intransitive competition networks increase grassland diversity, but do not dampen the negative effect of land-use intensity on plant richness // *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*. 2014. №32. P. 96-97.

DATA ABOUT THE AUTHOR

Avgusta A. Dolgih, Candidate of Agricultural Sci., Researcher

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

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

sapronova.darya@mail.ru

SPIN-code: 9057-1899

Alexander I. Belyaev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director

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

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

vnialmi@yandex.ru

SPIN-code: 8733-7587

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8077-7052>

Scopus Author ID: 57206259735

Aliya Sh. Khuzhakhmetova, Candidate of Agricultural Sci., Leading Researcher, Laboratory of Bioecology of Woody Plants
Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences»
97, Universitetsky Ave., Volgograd, 400062, Russian Federation
avfanc@yandex.ru
SPIN-code: 1855-3360
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5127-8844>
Researcher ID: G-7941-2014
Scopus Author ID: 57204628075

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Долгих Августа Андреевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник
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
avfanc@yandex.ru

Беляев Александр Иванович, доктор с.-х. наук, профессор, директор
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
vnialmi@yandex.ru

Хужахметова Алия Шамильевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биозэкологии древесных растений
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
avfanc@yandex.ru

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 06.02.2024

Принята 15.02.2024

Received 08.12.2023

Revised 06.02.2024

Accepted 15.02.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-974

УДК 630.93:519.01



Научная статья

ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

О.В. Рулева, А.А. Новиков, З.М. Казиева

Обоснование. Эффективным способом оптимизации функционирования агроландшафтов является применение принципов защитного лесоразведения. Лесные полосы оказывают многокритериальное положительное воздействие на пашню через формирование благоприятных условий произрастания, которые необходимы для получения высоких показателей урожайности сельскохозяйственных растений. Многолетние научные исследования подтверждают положительную роль защитных лесных полос в ряде показателей агроценозов. Однако изучение влияния лесных полос на работу фотосинтетического потенциала к настоящему времени еще не получили должного внимания, что и обусловило актуальность проведенного исследования.

Цель. Изучение мелиоративного влияния полезащитных лесных полос разных конструкций на особенности формирования элементов фотосинтетического аппарата ультраранних сортов картофеля.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись пять ультраранних сортов (Джувел, Коломбо, Ривьера, Аризона, Кармен) картофеля, произраставших на прилегающих территориях с двух и двенадцати рядными лесными полосами, расположенными в Астраханской и Волгоградской областях. Исследования проводили на площадках, расположенных на удалении от лесных насаждений равном высоте самого насаждения (Н) - 2,5Н, 5Н, 10Н, 15Н, 20Н, 30Н (контроль) в динамике по фазам развития агроценозов картофеля.

Результаты. Под мелиоративным влиянием лесных полос независимо от рядности и конструкции наблюдается наибольшая прибавка значений площади листьев за вегетационный период, чем на контроле. Максимальный показатель листового индекса у всех сортов картофеля отмечался в фазе цветения картофеля на высоте 5Н, а так же наблюдалось опережение по темпам формирования ассимилирующей поверхности и интенсивности ра-

боты фотосинтеза в зоне влияния лесных полос. Математический анализ подтверждает высокую степень взаимосвязи между площадью листьев, ассимилирующей поверхностью и фотосинтетической деятельностью агроценозов картофеля всех сортов и расстоянием от лесных полос. Коэффициент корреляции составил $R = 0,91-0,97$.

Вывод. Полученные многолетние данные подтверждают положительное влияние лесных полос на функционирование фотосинтетического аппарата агроценозов картофеля.

Ключевые слова: агроландшафты; лесные полосы; фотосинтез; ассимилирующая поверхность; площадь листьев; картофель; Астраханская область; Волгоградская область

Для цитирования. Рулева О.В., Новиков А.А., Казиева З.М. Продуктивность фотосинтетической деятельности агроценозов в зоне влияния лесных полос // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 364-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-974

Original article

PRODUCTIVITY OF PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF AGROCENOSSES IN THE ZONE OF INFLUENCE OF FOREST STRIPS

O.V. Ruleva, A.A. Novikov, Z.M. Kazieva

Background. An effective way to optimize the functioning of agricultural landscapes is the application of the principles of protective afforestation. Forest strips have a multi-criteria positive effect on arable land through the formation of favorable growing conditions, which are necessary to obtain high yields of agricultural plants. Long-term scientific research confirms the positive role of protective forest belts in a number of indicators of the agricultural sphere. However, the study of the influence of forest strips on the work of photosynthetic potential has not yet received due attention, which determined the relevance of the study.

Purpose. To study the reclamation effect of protective forest strips of different designs on the formation of elements of the photosynthetic apparatus of ultra-early potato varieties.

Materials and methods. The objects of the study were five ultra-early varieties (Jewel, Colombo, Riviera, Arizona, Carmen) potatoes growing in the adjacent territories with two and twelve row forest strips located in the Astrakhan and

Volgograd regions. The studies were carried out at sites located at a distance from forest plantations equal to the height of the plantation itself (H) - 2.5H, 5H, 10H, 15H, 20H, 30H (control) in dynamics according to the phases of development of potato agroecosystems.

Results. *Under the reclamation influence of forest strips, regardless of the row and design, the greatest increase in leaf area values during the growing season is observed than in the control. The maximum leaf index index for all potato varieties was observed in the potato flowering phase at an altitude of 5H, and there was also an advance in the rate of formation of the assimilating surface and the intensity of photosynthesis in the zone of influence of forest strips. Mathematical analysis confirms a high degree of correlation between the leaf area, assimilating surface and photosynthetic activity of potato agroecosystems of all varieties and the distance from forest strips. The correlation coefficient was $R = 0.91-0.97$.*

Conclusion. *The long-term data obtained confirm the positive effect of forest strips on the functioning of the photosynthetic apparatus of potato agroecosystems.*

Keywords: *agricultural landscapes; forest strips; photosynthesis; assimilating surface; leaf area; potatoes; Astrakhan region; Volgograd region*

For citation. *Ruleva O.V., Novikov A.A., Kazieva Z.M. Productivity of Photosynthetic Activity of Agroecosystems in the Zone of Influence of Forest Strips. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 364-384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-974*

Введение

Ведущая роль в повышении устойчивости и продуктивности земледелия степных районов юга России принадлежит защитным лесным насаждениям, востребованным по своему прямому назначению - выполнению санитарно-гигиенической, средообразующей, защитной, рекреационной и социальной функций (рис. 1).

Благодаря лесным насаждениям и их фитонцидным свойствам, осуществляется санитарно-гигиеническая функция через дезинфицирующее воздействие на окружающую среду, поскольку 1 гектар древесных насаждений способен отфильтровать 50-70 тонн пыли в год [9]. Также деревья увеличивают число отрицательных ионов в воздухе, 1 гектар деревьев ежегодно выделяет 2-5 тонн кислорода и поглощает 2,8-6,5 тонн углекислого газа [1; 18].

Лесные насаждения, выступая частью пространственно-организующих элементов экосистемы, способны надёжно и долговременно оказывать оздоровляющее воздействие на агроландшафты с сильно нарушенными

землями и поддерживать их экологическое равновесие [6; 7]. На сельскохозяйственных угодьях лесные полосы создают благоприятную средообразующую обстановку, посредством сокращения скорости ветра на 30-50 %, снижением испаряемости влаги с поверхности почвы на 20-30 % [16; 21].

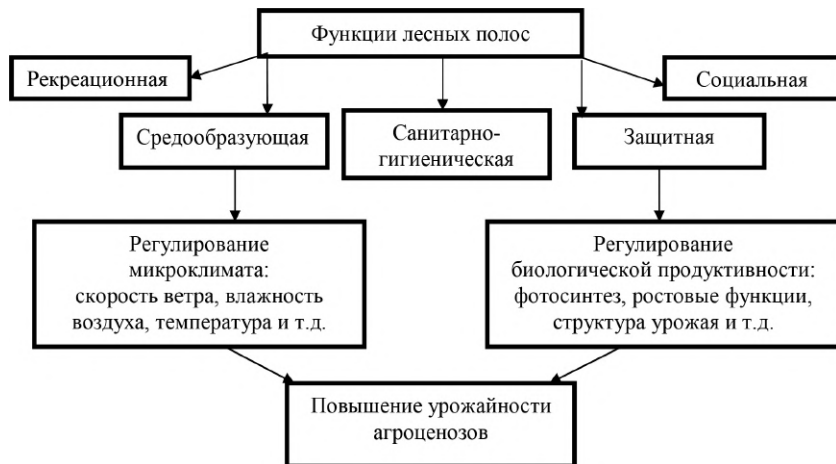


Рис. 1. Мелиоративная роль лесных полос

Защитные лесные полосы препятствуют деградационным процессам, происходит улучшение гидрологического режима богарных и орошаемых земель, происходит накопление гумуса [9; 11]. Результативность применения минеральных удобрений на агроландшафтах повышается до 20 %, поскольку лесные полосы препятствуют выдуванию поверхностного слоя почвы [2; 13]. Под мелиоративным влиянием лесных полос на агроландшафтах наблюдается рост показателей урожайности сельскохозяйственных культур: зерновых - 18-23%, технических - 20-26%, кормовых - 29-41% [20].

Рекреационная функция лесных насаждений проявляется в спросе на лесные рекреационные услуги отдыха, восстановления здоровья населения [4]. Лесные насаждения способствуют улучшению условий жизни населения.

Однако, несмотря на понимание необходимости лесомелиоративного обустройства до недавнего времени, деятельность в области агролесомелиорации и защитного лесоразведения была ослаблена, что привело к негативным последствиям, в том числе деградации сельскохозяйственных угодий, особенно в степных районах России [14; 15; 19]. Постановлением

от 25 ноября 2023 года №1992 Правительство расширило программу поддержки регионов в области мелиорации, в том числе агролесомелиорации, что является мотивирующим инструментом для большей заинтересованности в научно-практических исследованиях этой области.

Продолжительные научные исследования показали, что климатические условия среды, такие как температурный режим, количество осадков, использование световой энергии в процессе фиксации CO_2 и синтеза углеводов имеют решающее значение в жизни растений, непосредственно влияющих на биологическую продуктивность [22]. Залогом получения высоких урожаев является эффективная деятельность фотосинтетического аппарата. Показатели фотосинтетической деятельности позволяют выявить эффективность применяемых агротехнических приемов в формировании биологической продуктивности агроценозов.

В работах многих авторов подробно изучена пространственно-структурная организация деятельности фотосинтетического аппарата, а так же процессы регуляции фотосинтеза [8; 11], однако вопросы касающиеся исследований формирования фотосинтетического потенциала растений под влиянием защитных лесных полос, к настоящему времени еще не получили должного внимания. В связи, с чем актуальным является изучение закономерностей формирования агроценозов на основе фотосинтетического потенциала для прогноза развития биологической продуктивности картофеля под защитным влиянием лесных полос.

Целью исследования стало изучение особенностей формирования площади и ассимилирующей поверхности листьев ультрараннего картофеля, для определения фотосинтетической продуктивности под влиянием полезащитных лесных полос разных конструкций.

Объектом исследования являлись ультраранние сорта картофеля голландской селекции – Аризона, Ривьера, Коломбо, немецкой – Джувел и российской – Кармен, формируемые под мелиоративным влиянием лесных полос (ЛП).

Материалы и методы

В 2021 году были заложены многолетние опыты на двух объектах, расположенных на орошаемых агроландшафтах Харабалинского района Астраханской области и п. Майском Волгоградской области защищенных лесными полосами разной конструкции и рядности.

Согласно агроклиматическому районированию Харабалинский район (площадка №1) относится к пустынно-степному типу. Климат района за-

сушливый и выше среднего обеспечен теплом, в связи, с чем отмечается пониженная биологическая продуктивность. Годовая сумма активных температур воздуха (выше 10°C) варьирует от 3370-3500°C.

По агроклиматическим условиям п. Майский Волгоградской области (площадка №2) относится к засушливому типу климата с достаточным количеством тепловых ресурсов. Годовая сумма активных температур воздуха составляет 2800-3400°C. Расположен в лесостепной зоне.

Региональной особенностью обеих площадок исследований является засушливость, высокая степень континентальности и изменчивость погодных условий, особенно температуры и осадков в течение вегетационного периода. Несмотря на схожие климатические условия, почвенные имеют различия, в связи, с чем для объективной оценки продуктивности фотосинтетической деятельности был применен математический анализ разных почвенных условий произрастания агроценозов картофеля.

Метеорологические условия в годы проведения опытов были различными, что позволило объективно оценить проведенные исследования. Дифференцированные показатели суммы активных температур на обеих площадках были оптимальными для высадки картофеля в апреле месяце. Недостаточное количество осадков в вегетационный период (расчетное значение ГТК соответствует низкой влагообеспеченности территории (табл. 1)) компенсировалось капельным орошением. Полевую влагоемкость регулировали дифференцированным капельным поливом в зависимости от складывающихся метеорологических условий и поддерживали до уровня 80-85% НВ. Агротехника возделывания и фон удобрений на исследуемых площадках были идентичными.

Проведенные таксационные исследования показали, что на первой площадке защитная лесная полоса расположена перпендикулярно наиболее вредоносному ветру данной местности, а именно с восточной стороны от орошаемого поля. Лесные насаждения отличаются небольшим разнообразием и в основном представлены вязом приземистым (*Ulmus pumila* L.), встречается поросль в небольшом количестве – 10-15% от общего количества. Высота лесной полосы 14-16 метров, длина лесной полосы составила 1 км, но периодически с шагом в 150-200 метров наблюдается выпад, связанный с естественным отмиранием и антропогенной деятельностью человека, сохранность 55%.

На второй площадке защитная лесная полоса находится с западной стороны от орошаемого поля. Видовой состав представлен вязом приземистым (*Ulmus pumila* L.), встречается смородина лесная (*Ribes nigrum* L.) в не-

большом количестве. Средняя высота лесной полосы составляет 9 метров, длина - 1,5 км. В середине полосы отмечен значительный выпад древесных насаждений по причине естественной убыли, сохранность 65%.

Таблица 1.

Метеорологические условия возделывания картофеля, 2021-2023 гг.

годы	показатели	апрель	май	июнь	итого
Харабалинский район Астраханской области					
2021 г.	сумма активных температур	275	613,8	749,9	1638,7
	ГТК	0,9	0,23	0,5	0,5
2022 г.	сумма активных температур	307,05	463,1	772,1	1542,2
	ГТК	0,5	0,7	0,1	0,4
2023 г.	сумма активных температур	286	538,6	695,5	1520,1
	ГТК	0,4	0,9	0,4	0,6
п. Майский Волгоградской области					
2021 г.	сумма активных температур	205,25	559,1	699,1	1463,45
	ГТК	2,3	0,7	0,6	1,2
2022 г.	сумма активных температур	295	362,5	690,9	1348,4
	ГТК	0,3	1,5	0,1	0,61
2023 г.	сумма активных температур	231,7	481,4	638,3	1351,4
	ГТК	1,4	0,5	0,4	0,8

Модель временного развития в течение вегетации картофеля по фазам рассмотрена в виде смены фаз, как биологическое время: всходы, ветвление, бутонизация, цветение, созревание урожая. Поскольку на различных расстояниях от исследуемого поля лесополосы не одинаково влияют на фенологическое развитие сельскохозяйственных культур, фитомассу отбирали в зоне влияния лесных полос на расстоянии 2.5Н; 5Н; 10Н; 15Н, 20Н, 30Н (контроль) кратных высоте лесной полосы по фазам развития культуры.

Для определения площади листовой поверхности агроценозов картофеля был использован метод нанесения контуров листьев на миллиметровую бумагу. По материалам полевых наблюдений во время камеральной обработки рассчитывались следующие показатели: площадь листьев, ассимилирующая поверхность и фотосинтетический потенциал. Математическую обработку материалов исследования проводили при помощи пакета прикладных программ Statistica 10 и программы электронных таблиц Microsoft Excel XP.

Результаты и обсуждение

Мелиоративное влияние защитных лесных полос на продуктивность фотосинтетической деятельности агроценозов картофеля проявляется через формирование благоприятных условий произрастания. В зоне влияния древесных насаждений происходит сокращение динамики ветрового потока. Многолетние показатели ветровой динамики на первой площадке в зоне влияния лесной полосы (2,5Н-5Н) характеризовались в среднем скоростью до 2,6 – 3,3 м/с, на контроле скорость ветра достигала 6,7 м/с. Разница в контроле по годам исследования в среднем составила в 2021 году – 4,75 м/с, в 2022 году – 3,95 м/с, в 2023 году – 2,5 м/с. На второй площадке в зоне влияния двенадцати рядной полосы скорость ветрового потока в среднем составляла 2-2,8 м/с, на контроле – 4,1 м/с. Разница с контрольной площадкой оказалась в 2021 году – 1,35 м/с, в 2022 году – 2,01 м/с, в 2023 году – 1,8 м/с. Таким образом, более резкие колебания ветровой динамики отмечены на первой площадке, у двурядной лесной полосы. Степень мелиоративного влияния лесных полос разной конструкции различна, но в целом диапазон эффективного влияния наблюдается до 15 Н, где ветровая «тень» сокращает силу ветра на 40-50%.

Математический анализ, проведенный в программе Microsoft Excel XP подтверждает высокую степень взаимосвязи между скоростью ветра и расстоянием от лесной полосы. С учетом полевых данных уравнения связи скорости ветра и расстояния от ЛП описывается трендом вида:

Для двурядной лесной полосы: $y = 0,99x + 0,58$ ($R^2 = 0,95$);

Для двенадцатирядной лесной полосы: $y = 0,54x + 0,84$ ($R^2 = 0,97$);

где x – расстояние от ЛП в её высотах (Н).

Оптимальной температурой для активной ассимиляции в агроценозах картофеля является + 20°C. По мере повышения или понижения температурного режима ассимиляционный процесс замедляется, а при температуре воздуха выше + 40°C прекращается [3,5,7]. В степных условиях юга России мелиоративная защита ЛП для картофеля особенно актуальна, поскольку под влиянием древесного полога на прилегающей территории летом происходит охлаждение температуры приземного слоя и повышение влажности воздуха. Весной, когда посевы только формируются, лесные насаждения оказывают тепляющее воздействие, летом охлаждающий эффект. За исследуемый период было выявлено, что в летнее время в зоне мелиоративного влияния (2,5Н- 15Н) температура воздуха ниже, чем на контроле (30 Н). В среднем по годам исследования разница с контролем на первой площадке составила 1°C, на второй площадке – 2,8°C.

Уравнения связи средних многолетних показателей температуры воздуха и расстоянием от лесных полос имеют вид прямой зависимости:

Для двурядной лесной полосы: $y = 0,59x + 22,6$ ($R^2 = 0,97$);

Для двенадцатирядной лесной полосы: $y = 0,9x + 20,5$ ($R^2 = 0,96$);

где x – расстояние от ЛП в её высотах (Н).

С преобразованием температуры происходит изменение влажности воздуха, которая имеет тенденцию обратной зависимости. Разница в контроле составила в среднем по годам на первой площадке: 2021 год - 2%, в 2022 год - 1,3%, в 2023 год - 1,4%. На второй площадке 2021 год - 2,3%, в 2022 год - 1,5%, в 2023 год - 1,7%. В зоне влияния двенадцати рядной лесной полосы наблюдается более выраженное увеличение влажности воздуха в сравнении с двурядной полосой. Корреляционно-регрессионный анализ выявил тесную взаимосвязь между влажностью воздуха и расстоянием от лесных полос. С учетом средних многолетних данных по влажности воздуха на исследуемых площадках уравнения связи для разных конструкций от ЛП имеют вид:

Для двурядной лесной полосы: $y = - 0,72x + 35,8$ ($R^2 = 0,98$);

Для двенадцатирядной лесной полосы: $y = - 1,43x + 37,3$ ($R^2 = 0,98$);

где x – расстояние от ЛП в её высотах (Н).

Таким образом, независимо от рядности и конструкции лесных полос происходит уменьшение скорости ветрового потока, температуры приземного слоя, а так же повышается влажность воздуха, что в совокупности способствует естественной защите и ускоренному развитию растений картофеля.

Исследования по оценке биометрических параметров были проведены в динамике на разных сортах картофеля в разные фазы вегетации. Листья являются главным потребителем солнечной энергии. Следовательно, площадь листовой поверхности и ход ее активности выступает основным показателем фотосинтетической деятельности растений, определяющих продуктивность агроценозов.

В годы исследований значения площади листьев складывались согласно биологическим особенностям сортов. Под влиянием 2-х и 12-ти рядных лесных полос на высотах 2.5Н-5Н наблюдается дружное опережающее, в сравнении с контролем появление всходов, которые позволили сформировать на ранних этапах листовой аппарат растений картофеля в среднем 7,9 м² на первой площадке и 6,9 м² на второй. С дальнейшим удалением от лесной полосы площадь листьев уменьшалась и составила в среднем от 5,1 м² - 4,6 м² соответственно на первой и второй площадках. Наибольший средний прирост листовой поверхности наблюдался в фазе бутонизация - цветение

на высотах 2,5Н-5Н у всех сортов картофеля и составлял 27,8 м² – 26,9 м² по площадкам. В контрольной точке значения площади листовой поверхности составило в среднем у исследуемых сортов под влиянием 2-рядной ЛПП – 19,3 м², по влиянием 12-ти рядной – 18,1 м² (табл.3).

Таблица 3.

Показатели площади листьев разных сортов картофеля на разном расстоянии от ЛПП, м²/га (среднее за 2021-2023 гг.)

Средняя площадь листьев, м ²	Расстояние от лесной полосы, Н				
	2,5Н	5Н	10Н	15Н	30Н (контроль)
Джувел	22,4	23,5	20,4	18,6	16,9
Ривьера	27,1	27,8	25,7	22,9	19,3
Коломбо	23,9	24,6	21,2	19	17,5
Аризона	23,1	23,8	21,5	18,8	17,1
Кармен	26,5	26,9	23,5	21,1	18

Таким образом, площадь листовой пластины исследуемых сортов картофеля за весь вегетационный процесс на всех расстояниях от ЛПП больше, чем на контроле независимо от рядности лесной полосы и описывается в пространстве экспоненциальной функцией вида

$$y = a * \exp * (-bx)$$

где, $\exp = 2,718$ – основание натуральных логарифмов; x – расстояние от ЛПП; a и b – коэффициенты математической модели.

При помощи расчетов в программе Statistica 10 были получены параметры модели формирования площади листьев агроценозов картофеля под влиянием лесных полос (табл.4).

Таблица 4.

Параметры математической модели формирования площади листьев под влиянием лесных полос

Сорт картофеля	Параметры		Коэффициент детерминации
	a	b	
Джувел	2,29	0,053	0,96
Ривьера	3,09	0,023	0,97
Коломбо	2,33	0,069	0,97
Аризона	2,35	0,048	0,96
Кармен	2,65	0,046	0,96

Полученные фактические данные математической модели позволяют составлять прогнозные модели развития площади листьев за вегетацию в

системе ЛПП. Проведенный анализ подтверждает, что лесные полосы влияют на формирование площади листьев агроценозов картофеля с высоким показателем аппроксимации. Индекс детерминации варьирует от 0,96-0,97.

Анализ деятельности ассимилирующей поверхности растений картофеля характеризуется величиной урожая, которая зависит от размера листового аппарата, его количества и времени деятельности. Активное формирование большей площади листовой поверхности способствует большему накоплению органического вещества картофелем. Поэтому при исследовании динамики нарастания ассимилирующей поверхности особый интерес представляла площадь листьев, размерами которой определяется количество поглощенной солнечной радиации, идущей на построение хозяйственно-ценной части урожая. Расчет ассимилирующей поверхности растений за вегетационный сезон производился по формуле:

$$Ac = S \cdot N \cdot L$$

где S – площадь листьев, см^2 ; N – норма высева, тыс. растений на га; L – количество листьев на одном растении.

Динамика нарастания ассимилирующей поверхности картофеля исследуемых сортов под влиянием лесных полос была различна. Однако, прослеживается общая тенденция, посевы картофеля независимо от сортовых особенностей и конструкции ЛПП в зоне мелиоративного влияния имеют большие значения (табл.4). Под влиянием лесных полос за весь вегетационный период разница с контролем у различных сортов картофеля составила: Джувел - 2,55 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, Ривьера - 4,16 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, Коломбо - 3,1 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, Кармен - 3,42 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$, Аризона - 2,94 тыс. $\text{м}^2/\text{га}$.

Таблица 4.

Ассимилирующая поверхность картофеля на разном расстоянии от ЛПП, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$ (среднее за 2021 -2023 гг.)

Сорт картофеля	Ассимилирующая поверхность, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$				
	2,5	5	10	15	контроль
Джувел	7,02	7,49	5,97	5,54	4,59
Ривьера	9,57	10,24	8,29	6,59	5,74
Коломбо	7,95	8,21	7,05	6,13	4,98
Аризона	7,35	7,68	6,21	5,51	4,56
Кармен	8,55	8,69	7,07	6,26	5,2

В результате за период исследований средних многолетних показателей динамики нарастания ассимилирующей поверхности исследуемых сортов картофеля и влиянием лесных полос было выявлено, что чем дальше от

лесных полос, тем меньше значения ассимилирующей поверхности растений картофеля. Математический анализ подтверждает высокую степень взаимосвязи между ассимилирующей поверхностью разных сортов картофеля и расстоянием от лесных полос, коэффициент корреляции составил $R = 0,91-0,96$.

Интегральным показателем активного прироста листовой массы является фотосинтетический потенциал, характеризующий работу нарастания листовой поверхности посева за вегетационный период. Фотосинтез определяется суммированием площади листьев за этот период:

$$\Phi П = \left(\frac{S_1 + S_n}{2} \right) \times t \times \sum_{i=1}^5$$

где $\Phi П$ – фотосинтетический потенциал, тыс. $\text{м}^2/\text{га} \cdot \text{сутки}$; S_1 – площадь листьев, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$; S_n – площадь листьев при следующем определении, тыс. $\text{м}^2/\text{га}$; t – период дней между определениями от всходов картофеля до следующей фазы определения в сутках; $\sum_{i=1}^5$ – интегрированная сумма площади листьев по фазам роста.

Правильное представление о работе фотосинтетического потенциала, распределения его по территории и во времени имеет важное значение для получения высоких урожаев. Пространственная ориентация листьев существенно влияет на структурную организацию фотосинтеза. Зачастую из-за влияния ветра в природных условиях листовая пластинка не всегда может сохранить свое естественное положение. На площадках 2,5 Н от лесной полосы наблюдается вертикальное расположение стеблей, в таком случае листья получают энергию солнца в горизонтальном положении, поскольку лесная полоса защищает от ветров. Согласно полевым данным у лесной полосы и в зоне наибольшего мелиоративного влияния 2,5-5Н скорость ветра характеризовалась небольшими показателями скорости ветра в среднем до 2,5 – 3 м/с, что не оказывало существенного влияния на естественное положение стеблей и листьев. На площадках от 15 Н стебли растений подвергаются более выраженному действию ветра и имеют изгиб в зависимости от направления ветра. На высотах 15Н и далее листовая пластина обращена к солнцу под углом, что так же влияет на поглощение солнечного света и фотосинтетическую активность. Таким образом, мелиоративное влияние лесных насаждений так же проявляется в создании благоприятных условий для естественной пространственной ориентации листовой поверхности.

За годы исследований было выяснено, что показатели фотосинтетического потенциала зависели от расстояния лесных полос и погодных усло-

вий. Наибольший показатель фотосинтетического потенциала у всех сортов картофеля отмечен на высоте 5Н. Отметим, что на высотах 2,5Н и 10 Н показатели фотосинтеза варьируют в одном диапазоне, что связано с непосредственным влиянием лесных насаждений, на высоте 2,5 Н идет затемняющее влияние от ЛП, но в тоже время лесные насаждения создают благоприятные микроклиматические условия. На высоте 10Н и далее так же проявляется мелиоративное влияние древесных насаждений через микроциркуляцию климатических факторов. На контроле разница с высотой 5Н в фотосинтезе составила по сортам: Джувел - 0,619 млн.м²/га, Ривьера- 0,632 млн.м²/га, Коломбо – 0,624 млн. м²/га, Аризона – 0,638 млн.м²/га, Кармен- 0,619 млн. м²/га (рис.2). На всех изучаемых сортах картофеля наибольший фотосинтетический потенциал был сформирован в зоне влияния лесных полос.

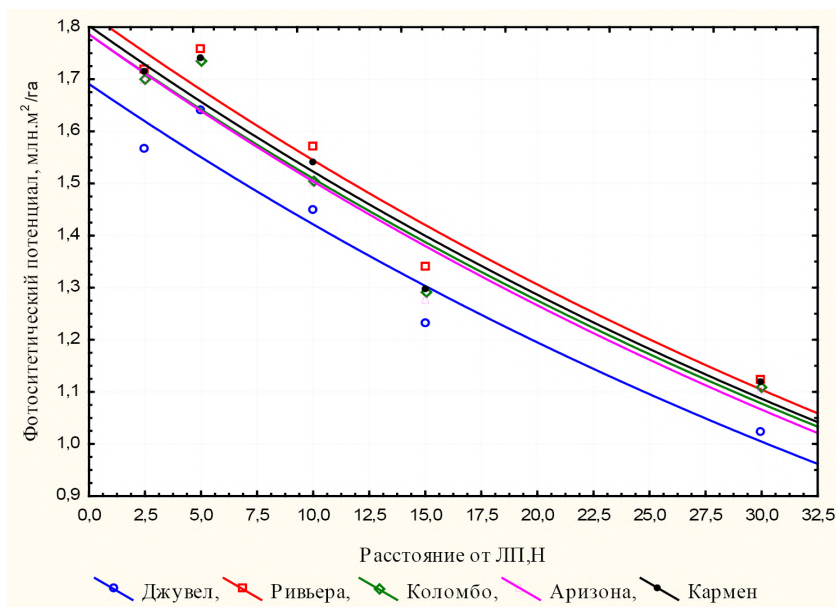


Рис. 2. График зависимости фотосинтетического потенциала разных сортов картофеля от расстояния до лесной полосы, Н

Уравнения связи показателей фотосинтетического потенциала от расстояния до лесной полосы для каждого сорта картофеля имеют вид дифференциальной функции и описываются с помощью экспоненциальной зависимости вида:

$$\begin{aligned} \text{Фп}_{\text{Джувел}} &= 1,6911 \cdot \exp(-0,0012 \cdot x), (R = -0,96); \\ \text{Фп}_{\text{Ривьера}} &= 1,827 \cdot \exp(-0,0012 \cdot x), (R = -0,97); \\ \text{Фп}_{\text{Коломбо}} &= 1,7864 \cdot \exp(-0,0012 \cdot x), (R = -0,95); \\ \text{Фп}_{\text{Аризона}} &= 1,7864 \cdot \exp(-0,0012 \cdot x), (R = -0,95); \\ \text{Фп}_{\text{Кармен}} &= 1,8026 \cdot \exp(-0,0012 \cdot x), (R = -0,95). \end{aligned}$$

где x – расстояние от ЛП в её высотах (Н).

При этом, в границах мелиоративного влияния с учетом ошибок распределения точек относительно кривой от 2,5 Н до 30 Н более точно связь описывается прямой зависимостью вида:

$$\begin{aligned} \text{Джувел: } y &= 1,6614 - 0,0016 \cdot x; r = -0,9608; p = 0,0093; \\ \text{Ривьера: } y &= 1,797 - 0,0017 \cdot x; r = -0,9675; p = 0,0070; \\ \text{Коломбо: } y &= 1,7604 - 0,0017 \cdot x; r = -0,9551; p = 0,0114; \\ \text{Аризона: } y &= 1,76 - 0,0017 \cdot x; r = -0,9495; p = 0,0135; \\ \text{Кармен: } y &= 1,7758 - 0,0017 \cdot x; r = -0,9558; p = 0,0111. \end{aligned}$$

Проведенный анализ подтверждает мелиоративное влияние лесных полос на формирование фотосинтетической деятельности агроценозов картофеля с высоким показателем корреляционной связи. Коэффициент корреляции по каждому сорту картофеля показывает высокую обратную зависимость между фотосинтетическим потенциалом и расстоянием до ЛП.

Выводы

Мелиоративное влияние лесных полос на фотосинтетическую деятельность проявляется в положительном влиянии на биологическую продуктивность агроценозов картофеля исследуемых сортов. Проведенные исследования подтвердили, что под влиянием лесных полос у растений картофеля площадь листьев достигает больших показателей, тем самым повышается интенсивность и продуктивность работы листовой поверхности. Максимальное увеличение онтогенетических параметров площади листьев происходило в фазу бутонизация – цветение, а затем снижалось к началу созревания. Наибольший листовой индекс всех сортов картофеля отмечается в фазе цветения картофеля на высоте 5Н, так же наблюдалось опережение по темпам формирования ассимиляционной поверхности в зоне влияния лесных полос. Высокие показатели фотосинтетического потенциала у всех сортов картофеля отмечены на высоте 5Н. На контроле разница с высотой 5Н в фотосинтезе составила по сортам: Джувел - 0,619 млн.м²/га, Ривьера- 0,632 млн.м²/га, Коломбо – 0,624 млн. м²/га, Аризона – 0,638 млн.м²/га, Кармен- 0,619 млн.м²/га. Выявлена высокая обратная связь между показателями ассимилирующей поверхности и фотосинтетическо-

го потенциала растений картофеля, т.е. что чем дальше от лесных полос, тем меньше фотосинтетическая продуктивность агроценозов картофеля.

Таким образом, на всех изучаемых ультраранних сортах картофеля наибольший фотосинтетический потенциал был сформирован в зоне влияния лесных полос.

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

Список литературы

1. Белов С. В. Количественная оценка гигиенической роли леса и нормы лесов зеленых зон. Л.: ЛенНИИЛХ, 1964. 65 с.
2. Белюченко И.С. Лесозащитные полосы как фактор улучшения агроландшафтов и повышения их локального биоразнообразия // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15. № 3. С. 42-54.
3. Варушкина А.М., Луговская Н.П., Максимов А.Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum Tuberosum* L.) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 37-46. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>
4. Горяева Е.В., Кузьмик Н.С. Влияние рекреации на леса зеленой зоны г. Красноярска // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 26. С. 88-92.
5. Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Дергачева И. А., Дергачев А.А. Технология возделывания картофеля на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Орошаемое земледелие. 2018. № 2. С. 23-24.
6. Иванцова Е.А. Агроэкологическое значение защитных лесных насаждений в Нижнем Поволжье// Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11: Естественные науки. 2014. № 4 (10). С. 40-47.
7. Ивонин В. М., Воскобойникова И. В. Ландшафтная агролесомелиорация. Теоретические исследования и полевые эксперименты: монография / В. М. Ивонин, И. В. Воскобойникова; Под ред. В.М. Ивонина; Новочерк. ин-ж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. Новочеркасск: Лик, 2021. 174 с.
8. Икоева Л.П., Хаева О.Э. Фотосинтетическая деятельность агроценоза различных сортов картофеля в зависимости от применения биопрепаратов // Горное сельское хозяйство. 2022. № 4. С. 39-45. <https://doi.org/10.25691/GSH.2022.4.008>
9. Кулик А.В., Воронина В.П., Узолин А.И. Опыт формирования агролесомелиоративной системы на правом берегу Среднего Дона с целью повыше-

- ния продуктивности агроэкосистем // Известия НВ АУК. 2019. № 3(55). С. 142-152. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-18>
10. Манаенков А. С., Абакумова Л. И. Повышение эффективности полезащитного лесоразведения в острозасушливых районах России // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2015. № 4(28). С. 73-83.
 11. Нургалиева Г.К., Нургалиев А.М., Мусина М.К. Интенсивность фотосинтеза и формирование урожая сортов картофеля различной спелости в условиях Западно-Казахстанской области // Пермский аграрный вестник. 2021. № 4 (36). С. 66-77. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_66
 12. Проездов П.Н., Маштаков Д.А., Есков Д.В., Автономов А.Н., Розанов А.В. Продуктивность склоновых пастбищ под влиянием защитных лесных насаждений и мульчирования в лесостепи и степи Приволжской возвышенности // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2023. № 3. С. 101-111. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2023.3>
 13. Проездов П.Н., Есков Д.В., Дормидонтова Н.В., Розанов А.В., Маштаков Д.А. Закономерности воздействия защитных лесных насаждений и удобрений на продуктивность пастбищ в степи Поволжья // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 42-48.
 14. Рулев А.С., Рулева О.В. Оценка современного состояния полезащитных лесных полос различной продуваемости // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 5. С. 152-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-152-165>
 15. Рулева О.В., Казиева З.М. Методологический подход при исследовании биопродуктивности картофеля в зоне влияния лесных полос Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 106-114. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-1>
 16. Рулёва О. В., Казиева З. М. Средаобразующие функции лесных полос в аридных условиях // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2023. № 3 (59). С. 98–109. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.3.98>
 17. Шафеева Э.И., Комиссаров А.В., Ардуванова Ф.Ф. Динамика роста надземной части среднераннего картофеля сорта невский в южной лесостепи республики Башкортостан // Вестник КрасГАУ. 2017. № 8 (131). С. 9-16.
 18. Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V., Matvienko E.Yu., Kaklyugina A.A. Study of forest strip systems agrolandscapes structure // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. Vol. 574, 012034 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012034>

19. Kovaleva E.A., Ivanyo Ya.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Vol. 14. № 3. P. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
20. Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K. Forecast assumption and analysis of the development of protective afforestation in the Volgograd region // *Studies on Russian Economic Development*. 2017. Vol. 28. № 6. P. 641-647. <https://doi.org/10.1134/S1075700717060053>
21. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2020. Vol. 8. № 4. P. 1385-1393. [https://doi.org/10.47277/JETT/8\(4\)1393](https://doi.org/10.47277/JETT/8(4)1393)
22. Johnson M.P. Photosynthesis // *Essays Biochem*. 2016. Vol. 60. P. 255–273. <https://doi.org/10.1042/EBC20160016>

References

1. Belov S.V. *Quantitative assessment of the hygienic role of forests and norms of green zone forests*. L.: LenNIILKh, 1964, 65 p.
2. Belyuchenko I.S. Forest-protective strips as a factor in improving agrolandscapes and increasing their local biodiversity. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 42-54.
3. Varushkina A.M., Lugovskaya N.P., Maksimov A.Yu. Growth and productivity of potato (*Solanum Tuberosum* L.) under light-culture conditions. *Bulletin of the Perm Federal Research Center*, 2019, no. 2, pp. 37-46. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>
4. Goryaeva E.V., Kuzmik N.S. Impact of recreation on the forests of the green zone of Krasnoyarsk. *Actual problems of forest complex*, 2010, no. 26, pp. 88-92.
5. Dronova T.N., Burtseva N.I., Dergacheva I.A., Dergachev A.A. Technology of potato cultivation on irrigated lands of the Lower Volga region. *Irrigated Agriculture*, 2018, no. 2, pp. 23-24.
6. Ivantsova E.A. Agroecological significance of protective forest plantations in the Lower Volga region. *Bulletin of Volgograd State University. Series 11: Natural Sciences*, 2014, no. 4 (10), pp. 40-47.
7. Ivonin V. M., Voskoboynikova I. V. *Landscape agroforestry. Theoretical studies and field experiments: monograph* / V. M. Ivonin, I. V. Voskoboynikova; Edited by V. M. Ivonin; Novocherk. Ing.-Melior. inst. of Donskoy GAU. Novocherkassk: Lik, 2021, 174 p.

8. Ikoyeva L.P., Khayeva O.E. Photosynthetic activity of agrocnosis of different potato varieties depending on the use of biopreparation. *Mountain Agriculture*, 2022, no. 4, pp. 39-45. <https://doi.org/10.25691/GSH.2022.4.008>
9. Kulik A.V., Voronina V.P., Uzolin A.I. Experience in the formation of agroforestry system on the right bank of the Middle Don to improve the productivity of agroecosystems. *Izvestia NV AUC*, 2019, no. 3(55), pp. 142-152. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-03-18>
10. Manaenkova A. S., Abakumova L. I. Increasing the efficiency of field protection afforestation in acutely arid regions of Russia. *Bulletin of the Volga Region State Technological University. Ser.: Les. Ecology. Nature Management*, 2015, no. 4(28), pp. 73-83.
11. Nurgalieva G.K., Nurgaliev A.M., Musina M.K. Photosynthesis intensity and yield formation of potato varieties of different ripeness in the conditions of West Kazakhstan region. *Perm Agrarian Bulletin*, 2021, no. 4 (36), pp. 66-77. https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_36_66
12. Proezdov P.N., Mashtakov D.A., Eskov D.V., Avtonomov A.N., Rozanov A.V. Productivity of slope pastures under the influence of protective forest plantations and mulching in the forest-steppe and steppe of the Volga Upland. *Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry*, 2023, no. 3, pp. 101-111. <https://doi.org/10.21178/2079-6080.2023.3>
13. Proezdov P.N., Eskov D.V., Dormidontova N.V., Rozanov A.V., Mashtakov D.A. Regularities of the impact of protective forest plantations and fertilizers on the productivity of pastures in the steppe of the Volga region. *Uspekhi sovremennoi nauknostvennosti*, 2020, no. 12, pp. 42-48.
14. Rulev A.S., Ruleva O.V. Assessment of the current state of field protective forest strips of different blowing. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 152-165. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-152-165>
15. Ruleva O.V., Kazieva Z.M. Methodological approach in the study of potato bioproductivity in the zone of influence of forest strips of the Lower Volga region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Science and Higher Professional Education*, 2023, no. 1 (69), pp. 106-114. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-1>
16. Ruleva O. V., Kazieva Z. M. Concentrating functions of forest strips in arid conditions. *Bulletin of the Volga Region State Technological University. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*, 2023, no. 3 (59), pp. 98-109. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2023.3.98>
17. Shafeeva E.I., Komissarov A.V., Arduvanova F.F. Dynamics of growth of the aboveground part of medium-early potato variety Nevsky in the southern for-

- est-steppe of the Republic of Bashkortostan. *Vestnik KrasGAU*, 2017, no. 8 (131), pp. 9-16.
18. Ivonin V.M., Voskoboinikova I.V., Matvienko E.Yu. Kaklyugina A.A. Study of forest strip systems agrolandscapes structure. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2020, vol. 574, 012034 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/574/1/012034>
 19. Kovaleva E.A., Ivanyo Ya.M. Management models of agrarian production taking into account natural and technogenic impacts on the environment. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 24-39. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-24-39>
 20. Kulik K.N., Barabanov A.T., Manaenkov A.S., Kulik A.K. Forecast assumption and analysis of the development of protective afforestation in the Volgograd region. *Studies on Russian Economic Development*, 2017, vol. 28, no. 6, pp. 641-647. <https://doi.org/10.1134/S1075700717060053>
 21. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 1385-1393. [https://doi.org/10.47277/JETT/8\(4\)1393](https://doi.org/10.47277/JETT/8(4)1393)
 22. Johnson M.P. Photosynthesis. *Essays Biochem.*, 2016, vol. 60, pp. 255–273. <https://doi.org/10.1042/EBC20160016>

ВКЛАД АВТОРОВ

- Рулева О.В.:** научное руководство; разработка концепции исследования; проведение статистического анализа.
- Новиков А.А.:** общее руководство направлением исследования; утверждение окончательного варианта статьи.
- Казиева З.М.:** участие в реализации методики исследований; анализ, обобщение и интерпретация полученных данных; доработка и редактирование текста и итоговых выводов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

- Olga V. Ruleva:** scientific management; development of the research concept; statistical analysis.
- Alexey A. Novikov:** general guidance of the research direction; approval of the final version of the article.
- Kazieva Z. Muratovna:** participation in the implementation of the research methodology; analysis, generalization and interpretation of the data obtained; revision and editing of the text and final conclusion.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рулева Ольга Васильевна, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

*ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»
ул. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация
bifu@mail.ru*

Новиков Алексей Андреевич, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной и инновационной деятельности

*ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»
ул. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация
alexeynovikov@inbox.ru*

Казиева Зульфия Муратовна, старший преподаватель; старший лаборант-исследователь

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»; ВНИИОЗ – филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»
ул. Тимирязева, 9, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация; пр. Университетский, 26, г. Волгоград, 400002, Российская Федерация
zraskalieva@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga V. Ruleva, Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher

*VNIIOZ – branch of the Federal State Budgetary Research University
“FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”
9, Timiryazev Str., Volgograd, 400002, Russian Federation
bifu@mail.ru
SPIN-code: 4975-7230
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7343-4227>
ResearcherID: B-5269-2017
Scopus Author ID: 57220645913*

Alexey A. Novikov, Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director for Scientific and Innovation Activities

*VNIIOZ – branch of the Federal State Budgetary Research University
“FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”
9, Timiryazev Str., Volgograd, 400002, Russian Federation*

alexeynovikov@inbox.ru

SPIN-code: 4452-1491

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7698-8268>

ResearcherID: K-3441-2018

Scopus Author ID: 57194574481

Zulfiya M. Kazieva, Senior Lecturer; Senior Research Assistant

Volgograd State Agrarian University; VNIIOZ – branch of the Federal State Budgetary Research University “FNC VNIIGiM named after A.N. Kostyakov”

9, Timiryazev Str., Volgograd, 400002, Russian Federation; 26, Universitetsky Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation

zraskalieva@mail.ru

SPIN-code: 4836-5315

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8202-0387>

ResearcherID: KAM-1675-2024

Поступила 27.02.2024

После рецензирования 25.03.2024

Принята 30.03.2024

Received 27.02.2024

Revised 25.03.2024

Accepted 30.03.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-867

УДК 634.75:635.037



Научная статья

ПРОБЛЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

С.А. Корнацкий

Клональное микроразмножение земляники позволяет существенно ускорить начало массового использования новых высокопродуктивных сортов. Преимущественно такой материал нужен для закладки маточных насаждений. Однако, несовпадение годичного рабочего ритма лаборатории с циклом развития культуры в естественных условиях требует решения проблем обеспечения жизнеспособности микрорастений в течение периода с конца августа по начало марта до высадки в теплицу. В это время часто невозможно обеспечить полноценные условия для адаптации микрорастений из-за низкого притока солнечного света и дороговизны использования искусственных источников.

Цель. Целью исследования была разработка новой схемы работы с пробирочным материалом, полученным в осенне-зимне-весенний период, которая позволила бы исключить необходимость его адаптации непосредственно после укоренения микрочеренков.

Материалы и методы. Изучали сорта земляники зарубежной селекции Кимберли, Азия, Флоренс. Культивирование проводили на среде Мурасиге-Скуга при температуре $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 16-часовом фотопериоде, освещенности 5-6 клк. У полученных в течение 1,5-2 месяцев микрорастений после укоренения сформировавшиеся корни и листья удаляли. Далее их в виде вегетирующих почек пересаживали на свежую среду, содержащую ауксин в концентрации 0,1 мг/л-1 для реабилитации. Высадку проводили по 6-7 вегетирующих почек в колбы объемом 250 мл.

Результаты. Восстановление листьев и корней у вегетирующих почек происходило в течение 20-30 дней, а их сохранность и приживаемость составила 100%. Последующие повторения данной процедуры также были успешными.

Закключение. Новая методика позволяет точно планировать выпуск адаптированных микрорастений земляники в течение года. Накопленный в

лаборатории материал можно одномоментно адаптировать в теплице при достаточном солнечном освещении.

Ключевые слова: земляника; клональное микроразмножение; микрочеренок; микрорастение; адаптация; вегетирующая почка

Для цитирования. Корнацкий С.А. Проблемы круглогодичного микроразмножения земляники садовой и новые подходы к их решению // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 385-401. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-867

Original article

PROBLEMS OF YEAR-ROUND MICROPROPIATION OF STRAWBERRY AND NEW APPROACHES TO THEIR SOLUTION

S.A. Kornatskiy

Clonal micropropagation of strawberries can significantly accelerate the start of mass use of new highly productive cultivars. Mostly such material is needed for planting nurseries. However, the discrepancy between the annual working rhythm of the laboratory and the culture development cycle in natural conditions requires solving the problems of ensuring the viability of microplants during the period from late August to early March before planting in the greenhouse. At this time, it is often impossible to provide adequate conditions for the adaptation of microplants due to the low influx of sunlight and the high cost of using artificial sources.

Purpose. *The purpose of the study was to develop a new scheme for working with test tube material obtained in the autumn-winter-spring period, which would eliminate the need for its adaptation immediately after the rooting of microcuttings.*

Materials and methods. *Strawberry cultivars of foreign selection Kimberly, Asia and Florence are studied. Cultivation was carried out on Murashige-Skoog medium at a temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 16-hour photoperiod, illumination of 5-6 kLx. In microplants obtained within 1.5-2 months, after rooting, the formed roots and leaves were removed. Next, they were transplanted in the form of vegetating buds onto fresh medium containing auxin at a concentration of 0.1 mg L⁻¹ for rehabilitation. Planting was carried out with 6-7 vegetating buds in 250 ml flasks.*

Results. *The restoration of leaves and roots of vegetating buds took place within 20-30 days, and their safety and survival rate was 100%. Subsequent repetitions of this procedure were also successful.*

Conclusion. *The new technique allows you to accurately plan the release of adapted strawberry microplants throughout the year. The material accumulated in the laboratory can be immediately adapted in a greenhouse with sufficient sunlight.*

Keywords: *strawberry; clonal micropropagation; microcutting; microplant; adaptation; vegetating bud*

For citation. *Kornatskiy S.A. Problems of Year-Round Micropropagation of Strawberry and New Approaches to Their Solution. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 385-401. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-867*

Введение

Одной из наиболее популярных ягодных культур в мире является земляника садовая [16-17]. Интересна она прежде всего высокими вкусовыми качествами, но также ценится за скороплодность, скороспелость и богатый биохимический состав ягод, определяющий их пищевую и терапевтическую значимость. Товарные насаждения земляники достаточно широко распространены в открытом грунте в зоне умеренного климата и их поддержание на соответствующем уровне ежегодно требует большого количества посадочного материала [1]. Преимущественно, обеспечение таким материалом происходит за счет специализированных питомников, в маточных насаждениях которых можно быстро нарастить выпуск здоровых растений земляники. Еще более ускорить внедрение в производство новых, перспективных и высокопродуктивных сортов позволяет метод клонального микроразмножения, одним из преимуществ которого является очень высокий коэффициентом размножения уже на начальном этапе [5; 19]. Адаптированный материал после культивирования *in vitro* как раз наиболее целесообразно использовать при закладке маточников для получения рассады. Однако, несовпадение годичного рабочего ритма лаборатории с циклом развития культуры в естественных условиях требует решения проблем обеспечения жизнеспособности микрорастений в течение периода с конца августа по начало марта до высадки в теплицу. В это время часто невозможно обеспечить полноценные условия для адаптации микрорастений из-за низкого притока солнечного света и дороговизны использования искусственных источников. Это обстоятельство, в целом, и является наиболее очевидной проблемой масштабирования использования метода микроразмножения, в том числе, и в отношении земляники. Мероприятия по обеспечению жизнеспособности микрорастений в этот период требу-

ют больших затрат ручного труда, специфических ресурсов, использования высокотехнологичного и всесезонного защищенного грунта [7; 22; 24]. Достаточно продолжительный отрезок времени научные изыскания и мероприятия по повышению эффективности клонального микроразмножения земляники сводились к оптимизации состава питательных сред и условий культивирования, о чем имеется много информации в соответствующей литературе [9; 15; 18; 23]. Разносторонне и неоднократно были рассмотрены вопросы выбора начальных эксплантов и их поверхностной стерилизации, выявлены особенности стабилизации пролиферирующих культур, изучена сортовая специфика ризогенеза микрочеренков, подобраны оптимальные питательные среды и эффективные концентрации регуляторов роста [3-4; 6; 10-11]. Кроме того, особое внимание было уделено вопросу, касающемуся генетической стабильности получаемого материала, поскольку подобный контроль важен как в лабораторных условиях, так и после посадки растений в полевые условия [8; 12-14; 21]. Общеизвестно, что выращивание растений *in vitro* сопряжено с высокой влажностью воздуха в культивационных сосудах, которая близка к 100%. Кроме того, относительно низкая освещенность (4-7 кЛк) очень слабо способствует автотрофному типу питания микрорастений. Эти обстоятельства во многом объясняют системные проблемы, возникающие при адаптации микрорастений. Преодоление микрорастениями на стадии адаптации комплекса стрессовых факторов, включающих принципиально иные уровни инфекционного фона, влажности воздуха и субстрата, интенсивности и спектральных характеристик света, состава субстрата часто сопровождается большими потерями материала и это постоянно служило объектом поиска решений многими исследователями. Было разработано большое число приемов и подходов к повышению эффективности адаптации микрорастений земляники, получивших впоследствии статус изобретений, однако успех достигался только локальный и не получал масштабирования. Совершенно очевидно, что результативность адаптации зависит от физических параметров самих микрорастений и календарного периода года, когда микрорастения переводят в нестерильные условия. Так как выращивание материала в лаборатории клонального микроразмножения осуществляется непрерывно и круглогодично, то адаптация как обязательная процедура является вынужденной, да еще и трудозатратной. И в то же время, затягивание ее проведения в течение 1-1,5 месяцев и более после укоренения микрочеренков приводит к прогрессирующей гибели пробирочных растений. Однако, наш опыт проведения подобных работ

свидетельствует, тем не менее, о невысокой целесообразности проведения адаптации микрорастений в период с сентября по апрель месяца, поскольку, чаще всего, нет возможности высаживать их куда-либо, согласно целевому назначению, в теплицу или полевые условия.

Цель исследования

Целью исследования была разработка новой схемы работы с пробирочным материалом, полученным в осенне-зимне-весенний период, которая позволила бы исключить необходимость его адаптации непосредственно после укоренения микрочеренков.

Материалы и методы исследования

Изучали сорта земляники зарубежной селекции *Кимберли*, *Азия*, *Флоренс*. В качестве питательной среды использовали пропись Мурасиге-Скуга [20]. Культивирование проводили при температуре $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 16-часовом фотопериоде, освещенности на уровне культур 5-6 кЛк. Пролиферацию стерильных культур земляники выполняли круглогодично в пробирках размером 200x21 мм. Материал на свежие питательные среды пересаживали с интервалом 3-5 недель. На этапе размножения в питательную среду в качестве регулятора добавляли 6-бензиламинопурин (БАП) в концентрации $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Для обеспечения устойчивого культивирования в очередном пассаже по каждому сорту высаживали по 120 пробирок, для чего использовали 15-20% материала из предыдущего пассажа. Оставшийся материал переносили на питательную среду для элонгации в колбы емкостью 100 мл на питательную среду с добавлением 6-БАП в концентрации $0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Микрочеренки с диаметром основания 2-5 мм и 3-5 листьями, которые визуально были классифицированы как пригодные для укоренения, извлекали из колб через 1 месяц после пересадки на элонгацию. Для посадки микрочеренков на укоренение использовали пробирки размером 150x16, в которые была добавлена питательная среда, содержащая индолмасляную кислоту (ИМК) в концентрации $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$. Микрорастения, полученные через 1,5 месяца в результате укоренения микрочеренков, к последующему культивированию начиная с сентября месяца готовили дифференцированно. Для очередной пересадки нами был использован принципиально новый тип растительного материала земляники, названный нами как «вегетирующая почка». При его подготовке, имеющиеся корни и листья у всех микрорастений полностью удаляли, после чего их пересаживали в виде вегетирующих почек на свежую питательную среду.

Для посадки вегетирующих почек при диаметре основания 4-5 мм использовали питательную среду для реабилитации с концентрацией ауксина $0,1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ (индолилмасляная кислота (ИМК) или нафтилуксусная кислота (НУК). Их высаживали по 6-7 штук в колбы объемом 250 мл, содержащие 70 мл питательной среды Мурасиге-Скуга. Вегетирующие почки диаметром 2-3 мм высаживали аналогично, но питательную среду с содержанием ауксина увеличенным до $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$, которую использовали для стимуляции корнеобразования. С интервалом 1,5-2 месяца процедуру периодически и кратно повторяли с очередной дифференциацией материала по размерам. Посадку на адаптацию выращенных таким способом микрорастений проводили, начиная с апреля месяца в теплице, оборудованной системой мелкодисперсного дождевания или под временным пленочным укрытием для поддержания повышенной влажности. Для посадки микрорастений применяли пластиковые контейнеры размером 40x20x30 (ДxВxШ) см, заполненные торфом. В эксперименте использовали нормализованный торф Агробалт (Агробалт Трейд, Российская Федерация) (фракция 0-35 мм, pH H_2O - 5,6). Торф предварительно увлажняли, какую-либо высокотемпературную стерилизацию не проводили. Микрорастения высаживали по схеме 4x4 см. В каждом варианте наблюдали по 30 растений. Против развития патогенных грибов субстрат после посадки в профилактических целях обрабатывали 0,2% раствором фундозола. Достоверность различий в экспериментах оценивали с помощью дисперсионного анализа при 5% уровне значимости [2; 25].

Результаты исследований и их обсуждение

Длительное культивирование изучаемых сортов земляники в асептических условиях выявило определенные особенности их реакции на различных этапах размножения. В целом, при использовании в составе питательной среды 6-бензиламинопурина в концентрации $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ коэффициент размножения по сортам в пассажах составлял в среднем 5-6 крат. То есть 20 пробирок из предыдущего пассажа было, как правило, достаточно для посадки 120 пробирок очередного пассажа. Такая схема позволила успешно поддерживать стабильное многолетнее культивирование материала изучаемых сортов. Стерильная полиэтиленовая пленка толщиной 7-9 микрон, используемая для укупорки пробирок, хорошо показала себя с сортами *Азия* и *Флоренс*, однако оказалась недостаточно пригодной в отношении сорта *Кимберли*. В последнем случае, у пересаженных конгломератов уже через 2 недели начинали проявляться признаки гипергидратации и задержка с их

пересадкой вела к потерям материала. Предположительно, причиной данной ситуации стало накопление определенных количеств этилена, мономера полиэтилена во внутреннем объеме пробирок. Сообщения о подобных эффектах на других культурах периодически появлялись и появляются в научной печати. В нашем случае проблема была устранена с переходом на использование поливинилхлоридной пленки аналогичной толщины, что подтверждает предположение. Остальную часть материала из предыдущего пассажа (ориентировочно по 100 пробирок каждого сорта) использовали для изучения особенностей побегообразования после высадки на питательную среду с относительно низкой концентрацией 6-БАП ($0,05 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$). Этап с названием «элонгация» проводили с применением колб объемом 100 мл, в ходе которого изучаемые сорта показали различную продуктивность по выходу побегов (микрочеренков), пригодных для укоренения. Таковыми считали побеги с диаметром основания 2-3 мм и 3-5 нормально развитыми листьями длиной 3-5 см. Критерием для подобной дифференциации служил факт очень низкой жизнеспособности слабее развитых, чем отбираемые, микрочеренков при их укоренении и последующих операциях. В ходе изучения было установлено, что на их выход существенное влияние оказывала освещенность на уровне эксплантов (таблица 1).

Таблица 1.

Зависимость выхода черенков, пригодных для укоренения от показателей освещенности на уровне культур на стадии элонгации в течение 1 месяца

Сорт земляники	Выход черенков, пригодных для укоренения, шт.			НСР ₀₅
	Диапазон уровней освещенности, Лк			
	3000-4000	4000-5000	5000-6000	
Кимберли	2,1	6,2	11,5	3,6
Азия	2,3	5,5	9,8	3,1
Флоренс	1,9	4,7	12,3	2,7
НСР ₀₅	Ффакт < Фтеор	Ффакт < Фтеор	2,4	

Ранее нами уже отмечался очевидный эффект снижения побеговой продуктивности по мере снижения уровня освещенности культур. Данные таблицы 1 наглядно иллюстрируют существенные различия вегетативной продуктивности по всем изучаемым сортам в сторону повышения с увеличением освещенности культур. Между сортами существенным оказалось различие только в диапазоне освещенности 5-6 тыс. лк, но это, скорее всего, связано с сортовыми особенностями, присущими сорту *Азия*, дающим более крупные побеги. Очевидно, что причиной этому явился естествен-

ный физический процесс потери эмиссии люминесцентных ламп в ходе длительной эксплуатации. Процесс этот, конечно, не одномоментный и не всегда равнозначный, но в течение 1-2 лет непрерывного использования ламп освещенность может падать в 1,5-2 раза, то есть с 5,5-6 кЛк до 3,0 кЛк и менее. Это ведет к тому, что микрочеренки не успевают достичь требуемых параметров до того момента, когда исчерпывается ресурс питательной среды, то есть к этому времени она фактически пересыхает окисляющимися продуктами жизнедеятельности и становится токсичной для растительного материала. Единственным выходом в подобной ситуации является повторная элонгация, но это уже удлинение цикла еще на 1-1,5 месяца, снижение продуктивности работы и лишние затраты.

Изучение ризогенной активности у микрочеренков на питательной среде с ауксином позволило выявить ее уже на 5-8-й день по всем изучаемым сортам. ИМК в концентрации $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ способствовала разрастанию оснований микрочеренков за счет активного корнеобразования и формирования каллуса в этой зоне. Очевидно, что при этом улучшалось питание развивающихся листьев и стеблей, однако пребывание укорененных микрорастений на питательной среде более 1-1,5 месяцев уже отрицательно сказывалось на их дальнейшей жизнеспособности. Нежелательные эффекты от длительного контакта растительных тканей с ауксинами хорошо известны и в данном случае заканчиваются дедифференциацией клеток корней, что ведет к гибели микрорастений, когда момент пересадки упущен. Традиционно проблему решают в ходе адаптации микрорастений к нестерильным условиям, но для этого требуется круглогодично функционирующая светокomната или теплица. Достижение достаточной эффективности процесса возможно при уровне освещенности 15-20 кЛк, но чаще всего в светокomнате технически сложно получить показатели более 5-6 кЛк. В этом случае приживаемость растений при адаптации может снизиться до 20-30% и менее, сопровождаться при этом развитием конкурентной патогенной микрофлоры и затягиваться до 2-3 месяцев. В то же время уход за такими растениями обязателен, очень сложен и весьма трудоемок даже при небольших объемах. И его нельзя прекратить до тех пор, пока не появится возможность переместить растения в теплицу или высадить в открытый грунт. Этот комплекс проблем послужили нам основанием для пересмотра принципов работы с материалом, полученным в неблагоприятный для адаптации микрорастений период. Было решено не проводить адаптацию сразу после укоренения микрочеренков, а периодически с интервалом 1,5-2 месяца пересаживать их на свежие питательные среды в виде вегетирующих почек, для получения которых прибегали к

полному удалению у всех микрорастений уже сформировавшихся листьев и корней. Весь цикл периодически проводимых работ с материалом иллюстрируют Рисунки 1-5.



Рис. 1. Микрорастения земляники после 2 мес. пребывания на среде для реабилитации (сорт Кимберли)

Высадка микрорастений, полученных после первичного укоренения микрочеренков или прошедших цикл реабилитации на питательную среду для содержащую ауксин в концентрации $0,1 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ позволила обеспечить успешное восстановление листьев и корней у всех вегетирующих почек (таблица 2).

Восстановление (реабилитация) успешно проходила в течение 20-30 дней, а сохранность и приживаемость вегетирующих почек составила по всем сортам 100%. Очевидных достоверных различий в развитии микрорастений изучаемых сортов по названным показателям к окончанию периода наблюдений не было выявлено. Несколько отличался сорт *Флоренс*, однако его микрочеренки изначально были объективно слабее в развитии, что дало более низкую скорость реабилитации по сравнению с другими сортами.



Рис. 2. Материал перед подготовкой «вегетирующих почек» (сорт Кимберли)



Рис. 3. Подготовленные к посадке «вегетирующие почки» (сорт Кимберли)

Таблица 2.

Динамика восстановления листьев и корней у вегетирующих почек после их высадки на питательную среду с ИМК в концентрации 0,1 мг·л⁻¹ (среда для реабилитации вегетирующих почек)

Сорт земляники	Число дней до начала восстано- вления вегетативных органов после посадки		Морфометрические показатели микрорас- тений после посадки через:						Выжи- вае- мость, (%)
			10 дней	20 дней	30 дней	10 дней	20 дней	30 дней	
	Листья	Корни	Число листьев, шт.			Число корней, шт.			
Кимберли	3-5	10-12	1,9	4,3	5,4	1,1	4,5	5,8	100
Азия	3-6	10-12	1,6	4,1	5,2	0,9	4,2	5,4	100
Флоренс	5-7	12-14	1,1	3,9	4,9	0,4	3,1	4,5	100
НСР ₀₅					Ффакт < Fтеор			0,9	



Рис. 4. Посаженные на очередную реабилитацию «вегетирующие почки» (сорт Кимберли)



Рис. 5. Вегетирующие почки через 10 дней после посадки на реабилитацию (сорт Флоренс)

Основываясь на полученных результатах, есть все основания полагать, что поставленная в работе цель была достигнута. Удалось полностью исключить потери материала в неблагоприятный для адаптации период, работая с разработанной схемой и, как следствие, существенно выровнять параметры развития микрорастений, к моменту адаптации в нестерильных условиях.

Заключение

Использование разработанной методики позволяет с достаточно высокой степенью точности прогнозировать выпуск адаптированных микрорастений в течение календарного года. Расчетное количество такого материала можно компактно накопить в светокмнате, существенно сэкономив при этом время и материальные ресурсы. Это стало реализуемо благодаря тому, что все микрорастения, полученные при размножении, хорошо сохраняются до удобного момента адаптации в жизнеспособном состоянии в виде вегетирующих почек. После окончания циклов реабилитации микрорастения могут быть одномоментно высажены в теплицу ранней весной при уровне естественной освещенности, исключающей потери материала.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование. Публикация подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер проекта FSSF-2023-0014)

Список литературы

1. Высоцкий В.А. Биотехнологические методы в современном садоводстве // Плодоводство и ягодоводство России. Т. XXVI. Изд-во ВСТИСП, 2011. С. 3–10.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с.
3. Есаулко А.Н. Изучение эффективности новых питательных сред для производства растений земляники *in vitro* / Есаулко А.Н., Раджабов А.К., Айсанов Т.С., Величко В.Ю., Акимова С.В., Нинулина Е.А., Мацнева А.Е. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. Т. 5. С. 21–34. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-21-34>
4. Иванова Н.Н. Клональное микроразмножение и сохранение земляники садовой сорта 'Крымчанка 87' *in vitro* / Иванова Н.Н., Лесникова-Седошенко Н.П., Корзина Н.В. // Бюллетень Государственного Никитского ботани-

- ческого сада. 2023. Т. 146. С. 124-141. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2023-146-134-141>
5. Карпушина М.В., Винтер М.А. Микроклональное размножение земляники садовой // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2021. Т. 31. С. 108–113.
 6. Ashrafuzzaman M., Faisal S.M., Yadav D., Khanam D., Raihan F. Micropropagation of strawberry (*Fragaria ananassa*) through runner culture // Bangladesh J. Agric. Res. 2013. Vol. 38, No. 3. P. 467–472. <https://doi.org/10.3329/bjar.v38i3.16973>
 7. Batukaev A.A., Kornatskiy S.A., Gaplaev, M.S. Block-container system for growing strawberry planting material in greenhouses // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 624. P. 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012116>
 8. Capocasa F., Balducci F., Marcellini M., Bernardini D., Navacchi O., Mezzetti B. Comparing nursery behavior, field plant yield and fruit quality of in vitro and in vivo propagated strawberry mother plants // Plant Cell Tissue Organ Cult. 2019. Vol. 136. No 1. P. 65–74. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1492-8>
 9. Cappelletti R., Sabbadini S., Mezzetti, B. The use of TDZ for the efficient in vitro regeneration and organogenesis of strawberry and blueberry cultivars // Sci. Hortic. (Amsterdam). 2016. Vol. 207. P. 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.016>
 10. El-Sayed S.F., El-Sawy A.M., Taha S.S., Gomah M.Sh. Effect of Benzyl aminopurine Concentration and Number of Subcultures on Behavior of Some Strawberry Cultivars in Vitro // Egyptian Journal of Plant Breeding. 2017. Vol. 21. P. 1-12. <https://doi.org/10.12816/0046534>
 11. Emarah H. Factors Affecting Propagation of Strawberry (*Fragaria spp.*) through Tissue Culture Techniques // Journal of Productivity and Development. 2008. Vol. 13. P. 191-212. <https://doi.org/10.21608/jpd.2008.44837>
 12. Gaafar R.M., Saker M.M. Monitoring of Cultivars Identity and Genetic Stability in Strawberry Varieties Grown in Egypt // World Journal of Agricultural Sciences. 2006. Vol. 2. P. 29-36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.439.8>
 13. Gantait S., Mandal N., Bhattacharyya S., Das P.K. Field Performance and Molecular Evaluation of Micropropagated Strawberry // Recent Research in Science and Technology. 2010. Vol. 2. P. 12-16.
 14. Karmaker S., Hossain Md.M., Hoque Md.A., Kaium Md.A., Ali T.B., Ferdous M. In Vitro Propagation of Three Strawberry Varieties and Field Evaluation // American Journal of Plant Sciences. 2023. Vol. 14. P. 1214-1222. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411082>

15. Karmaker S., Hossain Md.M., Hoque Md.A., Kaium Md.A., Al Amin Md., Islam Md.S. In Vitro Propagation of Three Strawberry Cultivars through Runner Tips Culture // American Journal of Plant Sciences. 2023. Vol. 14. P. 1296-1304. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411087>
16. Lal M., Sharma S., Hegde M.V. Micropropagation of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) // Indian Journal of Horticultural Research. 2003. Vol. 37. P. 231-234.
17. López-Aranda J.M., Soria C., Sanots B.M., Mirand L., Domínguez P., Medina-Mínguez J. Strawberry production in mild climates of the world: a review of current cultivar use // Intl. Journal of Fruit Sciences. 2011. Vol. 11. P. 232-224. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.608294>
18. Moradi K., Otroshy M., Azimi M.R. Micropropagation of strawberry by multiple shoots regeneration tissue cultures // Journal of Agricultural Technology. 2011. Vol. 7, No. 6. P. 1755-1763.
19. Munir M., Iqbal S., Baloch J.U.D., Khakwani A.A. In vitro explant sterilization and bud initiation studies of four strawberry cultivars // J. Appl. Hortic. 2015. Vol. 17, No. 03. P. 192–198. <https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i03.36>
20. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. P. 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
21. Naing A.H., Kim S.H., Chun M.Y., Park S.K., Kim, C.K. In vitro propagation method for production of morphologically and genetically stable plants of different strawberry cultivars // Plant Methods. 2019. Vol. 15, No. 1. P. 36. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0421-0>
22. Park S.W., Kwack Y., Chun C. Growth of runner plants grown in a plant factory as affected by light intensity and container volume // Horticultural Science and Technology. 2017. Vol. 35, No. 4. P. 439-445. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170047>
23. Sabbadinia S., Marcellini M., Mezzetti B., Capocasa F. Establishing micropropagation protocols for new strawberry (*Fragaria × ananassa*) breeding lines // Acta Hortic. 2021. Vol. 1309. P. 573-578. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.82>
24. Sakila S., Ahmed M.B., Roy U.K., Biswas M.K., Karim R., Razvy M.A., Hos-sain M., Islam R., Hoque A. Micropropagation of Strawberry (*Fragaria x anan-assa* Duch.) a Newly Introduced Crop in Bangladesh // American-Eurasian Journal of Scientific Research. 2007. Vol. 2. P. 151-154.
25. Steel R.G.D., Torrie J.H. Principle of statistics. A biometrical approach 2nd. McGraw-Hill Kogakusha (Ltd). 1980. 245 p.

References

1. Vysotsky V.A. Biotechnological methods in modern horticulture. *Fruit and berry growing in Russia*. Vol. XXVI. VSTISP, 2011, pp. 3-10.
2. Dospekhov B.A. *Methods of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*. 1985. M.: Alliance, 2011, 350 p.
3. Esaulko AN Study of the effectiveness of new nutrient media for the production of strawberry plants in-vitro / Esaulko A.N., Rajabov A.K., Aisanov T.S., Velichko V.Y., Akimova S.V., Ninulina E.A., Matsneva A.E. *Izvestia Timiryazevskaya Agricultural Academy*, 2022, vol. 5, pp. 21-34. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-5-21-34>
4. Ivanova N.N. Clonal micropropagation and conservation of garden strawberry variety 'Krymchanka 87' in-vitro / Ivanova N.N., Lesnikova-Sedoshenko N.P., Corzine N.B. *Bulletin of the State Nikita Botanical Garden*, 2023, vol. 146, pp. 124-141. <https://doi.org/10.36305/0513-1634-2023-146-134-141>
5. Karpushina MV, Winter MA Microclonal propagation of garden strawberries. *Scientific Proceedings of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking*, 2021, vol. 31, pp. 108-113.
6. Ashrafuzzaman M., Faisal S.M., Yadav D., Khanam D., Raihan F. Micropropagation of strawberry (*Fragaria ananassa*) through runner culture. *Bangladesh J. Agric. Res.*, 2013, vol. 38, no. 3, pp. 467–472. <https://doi.org/10.3329/bjar.v38i3.16973>
7. Batukaev A.A., Kornatskiy S.A., Gaplaev M.S. Block-container system for growing strawberry planting material in greenhouses. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 624, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012116>
8. Capocasa F., Balducci F., Marcellini M., Bernardini D., Navacchi O., Mezzetti B. Comparing nursery behavior, field plant yield and fruit quality of in vitro and in vivo propagated strawberry mother plants. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 2019, vol. 136, no. 1, pp. 65–74. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1492-8>
9. Cappelletti R., Sabbadini S., Mezzetti, B. The use of TDZ for the efficient in vitro regeneration and organogenesis of strawberry and blueberry cultivars. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 2016, vol. 207, pp. 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.016>
10. El-Sayed S.F., El-Sawy A.M., Taha S.S., Gomah M.Sh. Effect of Benzyl amino-purine Concentration and Number of Subcultures on Behavior of Some Strawberry Cultivars in Vitro. *Egyptian Journal of Plant Breeding*, 2017, vol. 21, pp. 1-12. <https://doi.org/10.12816/0046534>

11. Emarah H. Factors Affecting Propagation of Strawberry (*Fragaria spp.*) through Tissue Culture Techniques. *Journal of Productivity and Development*, 2008, vol. 13, pp. 191-212. <https://doi.org/10.21608/jpd.2008.44837>
12. Gaafar R.M., Saker M.M. Monitoring of Cultivars Identity and Genetic Stability in Strawberry Varieties Grown in Egypt. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2006, vol. 2, pp. 29-36. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.439.8>
13. Gantait S., Mandal N., Bhattacharyya S., Das P.K. Field Performance and Molecular Evaluation of Micropropagated Strawberry. *Recent Research in Science and Technology*, 2010, vol. 2, pp. 12-16.
14. Karmaker S., Hossain Md.M., Hoque Md.A., Kaium Md.A., Ali T.B., Ferdous M. In Vitro Propagation of Three Strawberry Varieties and Field Evaluation. *American Journal of Plant Sciences*, 2023, vol. 14, pp. 1214-1222. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411082>
15. Karmaker S., Hossain Md.M., Hoque Md.A., Kaium Md.A., Al Amin Md., Islam Md.S. In Vitro Propagation of Three Strawberry Cultivars through Runner Tips Culture. *American Journal of Plant Sciences*, 2023, vol. 14, pp. 1296-1304. <https://doi.org/10.4236/ajps.2023.1411087>
16. Lal M., Sharma S., Hegde M.V. Micropropagation of Strawberry (*Fragaria* × *ananassa Duch.*). *Indian Journal of Horticultural Research*, 2003, vol. 37, pp. 231-234.
17. López-Aranda J.M., Soria C., Sanots B.M., Mirand L., Domínguez P., Medina-Mínguez J. Strawberry production in mild climates of the world: a review of current cultivar use. *Intl. Journal of Fruit Sciences*, 2011, vol. 11, pp. 232-224. <https://doi.org/10.1080/15538362.2011.608294>
18. Moradi K., Otroshy M., Azimi M.R. Micropropagation of strawberry by multiple shoots regeneration tissue cultures. *Journal of Agricultural Technology*, 2011, vol. 7, no. 6, pp. 1755-1763.
19. Munir M., Iqbal S., Baloch J.U.D., Khakwani A.A. In vitro explant sterilization and bud initiation studies of four strawberry cultivars. *J. Appl. Hortic.*, 2015, vol. 17, no. 03, pp. 192–198. <https://doi.org/10.37855/jah.2015.v17i03.36>
20. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco cultures. *Physiol. Plant.*, 1962, vol. 15, pp. 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
21. Naing A.H., Kim S.H., Chun M.Y., Park S.K., Kim, C.K. In vitro propagation method for production of morphologically and genetically stable plants of different strawberry cultivars. *Plant Methods*, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 36. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0421-0>
22. Park S.W., Kwack Y., Chun C. Growth of runner plants grown in a plant factory as affected by light intensity and container volume. *Horticultural Science*

- and Technology*, 2017, vol. 35, no. 4, pp. 439-445. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20170047>
23. Sabbadinia S., Marcellini M., Mezzetti B., Capocasa F. Establishing micropropagation protocols for new strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) breeding lines. *Acta Hortic.*, 2021, vol. 1309, pp. 573-578. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1309.82>
24. Sakila S., Ahmed M.B., Roy U.K., Biswas M.K., Karim R., Razvy M.A., Hos-sain M., Islam R., Hoque A. Micropropagation of Strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*) a Newly Introduced Crop in Bangladesh. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 2007, vol. 2, pp. 151-154.
25. Steel R.G.D., Torrie J.H. *Principle of statistics. A biometrical approach*, 2nd. McGraw-Hill Kogakusha (Ltd), 1980, 245 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Корнацкий Сергей Аркадьевич, канд. с.-х. наук, доцент, заведующий полнофункциональной биотехнологической лабораторией оздоровления и первичного размножения сельскохозяйственных растений

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

ул. Миклухо-Маклая, 6, г. Москва, 117198, Российская Федерация
kornatskiy_sa@pfur.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Sergey A. Kornatskiy, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of a Full-Functional Biotechnological Laboratory for the Healing and Primary Propagation of Agricultural Plants

RUDN University

6, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

kornatskiy_sa@pfur.ru

SPIN-code: 7064-5197

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1721-4529>

Scopus Author ID: 57218892023

kornatskiy_sa@pfur.ru

Поступила 06.12.2023

После рецензирования 25.12.2023

Принята 06.01.2024

Received 06.12.2023

Revised 25.12.2023

Accepted 06.01.2024

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1259

УДК 612.82:57.034/616.1-036.22:550.385.4



Научная статья

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ НА ГОДОВУЮ ДИНАМИКУ ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА

**О.Н. Рагозин, Е.Ю. Шаламова, И.В. Радыш, Д.А. Погонышев,
С.М. Чибисов, И.А. Погонышева**

В статье приведены данные о годовых вариациях и уровне фотопериодического широтного коэффициента на территории России, которые необходимо использовать для вычисления поправок при проведении поперечных и продольных исследований. Для сравнительного анализа были выбраны города России, расположенные на территории от 73о до 42о с.ш. и распределенных по долготе от 20 до 137о в.д., разделенные на 4 группы: ~60о; ~55о; ~50о; ~40о с. ш. и города России, находящиеся за Полярным кругом. Наличие годовой динамики фотопериодического широтного коэффициента предполагает внесение поправок при сезонных продольных исследованиях. Одномоментные межширотные исследования для нивелирования географических и сезонных особенностей светового режима целесообразно проводить в периоды осеннего и весеннего равноденствия, когда фотопериодический широтный коэффициент равен нулю. Изменение длительности светового дня при трансширотном перелете в границах Российской Федерации составляет до 9 часов, что может индуцировать фотодесинхроноз или широтный джетлаг.

Ключевые слова: фотопериод; географическая широта; годовая динамика; джетлаг; десинхроноз

Для цитирования. Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю., Радыш И.В., Погонышев Д.А., Чибисов С.М., Погонышева И.А. Влияние географической широты на годовую динамику фотопериодического коэффициента // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 402-415. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1259

Original article

THE INFLUENCE OF GEOGRAPHICAL LATITUDE ON THE ANNUAL DYNAMICS OF THE PHOTOPERIODIC COEFFICIENT

***O.N. Ragozin, E.Yu. Shalamova, I.V. Radysh, D.A. Pogonyshv,
S.M. Chibisov, I.A. Pogonysheva***

The article presents data on annual variations and the level of the photoperiodic latitudinal coefficient on the territory of Russia, which must be used to calculate corrections during transverse and longitudinal studies. For comparative analysis, the cities of Russia were selected, located on the territory from 73o to 42oN.S. and distributed by longitude from 20o to 137oE.W., divided into 4 groups: ~60o; ~55o; ~50o; ~40oN. S. and the cities of Russia located beyond the Arctic Circle. The presence of the annual dynamics of the photoperiodic latitudinal coefficient implies the introduction of corrections during seasonal longitudinal studies. Simultaneous inter-latitude studies, in order to level the geographical and seasonal features of the light regime, it is advisable to carry out during the autumn and spring equinoxes, when the photoperiodic latitude coefficient is zero. The change in the duration of daylight during a trans-latitude flight within the borders of the Russian Federation is up to 9 hours, which can induce photodesynchronosis or latitudinal jetlag.

Keywords: *photoperiod; geographic latitude; annual dynamics; jetlag; desynchronosis*

For citation. *Ragozin O.N., Shalamova E.Yu., Radysh I.V., Pogonyshv D.A., Chibisov S.M., Pogonysheva I.A. The Influence of Geographical Latitude on the Annual Dynamics of the Photoperiodic Coefficient. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 402-415. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1259*

А если, вопреки моим ожиданиям, я и на этот раз ошибусь, то разве наш долг не повелевает нам продвигаться и дальше по тридцать седьмой параллели, и если понадобится, то совершить... даже кругосветное путешествие?

*Жак Элиасен Франсуа Мари Паганель
Жюль Верн «Дети капитана Гранта»*

Введение

Еще в 1991 году российские ученые И.А. Гундаров и Н.Л. Зильберт [4] ввели термин «синдром географической широты», основываясь на том, что по мере удаления места проживания от экватора наблюдается рост заболе-

ваемости и смертности населения. Широтный фактор определяется углом падения солнечных лучей и включает целый ряд параметров среды: световой климат, геомагнитное поле, ветер, атмосферное давление, облачность, осадки, температура, влажность воздуха, высота над уровнем моря, близость моря. Изучение влияния широтного фактора на организм человека, представляющее одно из актуальных направлений экологической физиологии, было предложено называть «широтная физиология» [12].

В отечественной и зарубежной литературе представлено значительное количество широтных исследований по анатомии [15], физиологии [14] и соматической патологии [8; 16].

Без учета географических особенностей также нельзя рассматривать региональные особенности соматических заболеваний, в связи с чем возникли дисциплины как краевая патология, гепатология, нозогеография, климатопатология [1; 17], изучающие патологию человека, животных и растений в связи с географическими факторами.

Широтные и меридиональные перемещения индуцируют острый [6; 7] и поддерживают хронический [5; 19] десинхронозы [2; 11], поэтому оценивать их влияние на психофизиологический статус здорового человека, возникновение и обострение разнообразной патологии необходимо с привлечением методологии хронобиологических исследований, учитывая основополагающий принцип цикличности.

Основным экзогенным синхронизатором биологических ритмов является смена дня и ночи, сезонно-годовые колебания климатических и геофизических факторов. Это необходимо учитывать в исследованиях закономерностей кратковременной и долговременной адаптации человека при воздействии экстремальных внешних факторов и реакции на широтное перемещение [3; 13]. При многолетних хронобиологических исследованиях в разных регионах России [20], мы столкнулись с последствиями влияния измененного фотопериода на структуру ритмов, в том числе и в зависимости от вида деятельности и хронотипа обследованных [9]. Исходя из вышесказанного, **целью** настоящего исследования явилось исследование годовых вариаций и величины фотопериодического широтного коэффициента на территории России для вычисления поправок при проведении поперечных и продольных исследований.

Материал и методы исследования

При сравнении результатов исследований, различающихся в географическом и временном аспектах, в качестве поправки предлагается использовать так называемый «фотопериодический широтный коэффициент»

(далее – ФШК) [10]. ФШК рассчитывается, как нормальный логарифм отношения продолжительности дня и ночи в конкретной географической точке на дату исследования (информация размещена на астрономических сайтах [18]), выраженный в условных единицах ($\ln$ день/ночь, усл. ед.).

Сравнительный анализ был проведен для городов России, расположенных в границах от 73° до 42° с.ш. и от 20° до 137° в.д. Города, разделили на 4 группы:

Расположенные на $\sim 60^\circ$ (Санкт-Петербург $59^\circ/30^\circ$ (здесь и далее – с. ш. / в. д.); Ханты-Мансийск $61^\circ/69^\circ$; Магадан $59^\circ/150^\circ$;

$\sim 55^\circ$ (Калининград $54^\circ/20^\circ$; Москва $55^\circ/37^\circ$; Челябинск $55^\circ/61^\circ$; Новосибирск $55^\circ/82^\circ$;

$\sim 50^\circ$ (Воронеж $51^\circ/39^\circ$; Оренбург $51^\circ/55^\circ$; Горно-Алтайск $51^\circ/85^\circ$; Кызыл $51^\circ/94^\circ$; Улан-Удэ $\sim 51^\circ/107^\circ$; Благовещенск $50^\circ/127^\circ$; Комсомольск-на-Амуре $50^\circ/137^\circ$;

$\sim 43^\circ$ (Севастополь $44^\circ/33^\circ$; Сочи $43^\circ/39^\circ$; Владикавказ $43^\circ/44^\circ$; Дербент $42^\circ/48^\circ$; Владивосток $43^\circ/131^\circ$).

В отдельную группу выделены города России, находящиеся за Полярным кругом (Мурманск $68^\circ/33^\circ$; Диксон $73^\circ/80^\circ$; Норильск $69^\circ/88^\circ$; Певек $69^\circ/170^\circ$).

Для координат перечисленных городов в каждом из 12 месяцев рассчитывался ФШК, который суммировался в своей широтной группе и представлялся в виде реконструированной кривой.

Результаты исследования и обсуждение

Все реконструированные кривые величин ФШК в течение года обнаруживали выраженную сезонную динамику, с максимумом в летние месяцы и минимумом в зимние. Широтные отличия заключаются в амплитуде колебаний, уровнях ФШК (рис. 1).

Для группы южных городов России (~ 42 - 44° с.ш.) обнаружили следующую динамику ФШК. Минимальные значения коэффициента отмечены в январе, они колеблются от $-0,42$ до $-0,46$ усл. ед.; максимальные величины ФШК – в июне – составляют от $0,56$ до $0,61$ усл. ед. Градиент сезонных различий *зима-лето* равен $1,02$.

В городах, находящихся в районе 50° с. ш., минимальные зимние значения ФШК колеблются от $-0,58$ до $-0,63$ усл. ед., максимальные (июнь) находятся в границах от $0,77$ до $0,85$ усл. ед. Градиент сезонных различий *зима-лето* составляет уже $1,47$.

Территории группы городов, расположенных около $\sim 55^\circ$ с. ш., включающей Калининград, Москву, Челябинск и Новосибирск, характеризуются

минимальными значениями ФШК от -0,71 до -0,74 усл. ед. (зима) и максимальными – от 0,95 до 1,01 усл. ед. (лето). Градиент сезонных различий *зима-лето* здесь еще выше и равен 1,69.

В следующей группе городов, находящихся уже на 60° с.ш. (Санкт-Петербург, Ханты-Мансийск и Магадан), минимальные зимние значения ФШК варьируют от -0,90 до -0,98 усл. ед., максимальные летние – от 1,30 до 1,42 усл. ед., а градиент различий *зима-лето* равен 2,26.

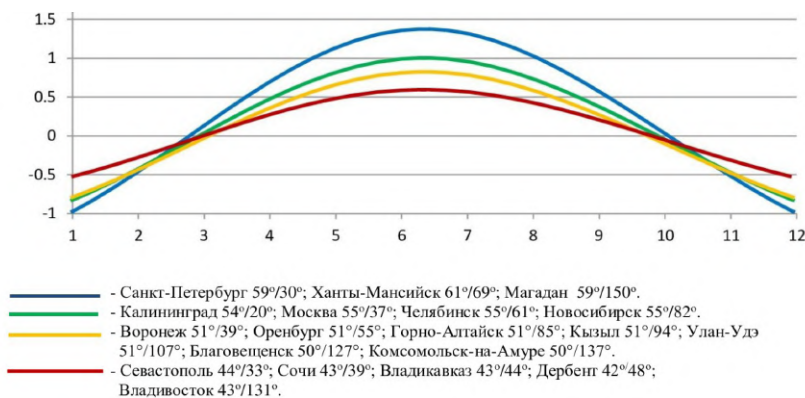


Рис. 1. Реконструированные кривые годовой динамики ФШК в городах России, находящихся на одной широте и разной долготе.

Примечание: Координаты: с. ш./в.д. Ось абсцисс – месяцы (1 - 12); ось ординат – усл. ед.

Зимние различия ФШК, при сравнении его значений на различных широтах, меньше, чем летние (-0,5 vs 0,8); наблюдаются осенне-весенние перекресты анализируемых кривых (весеннее и осеннее равноденствие). В направлении от южных широт к северным так же наблюдается рост зимне-летнего градиента ФШК: 1,02 – 1,47 – 1,69 – 2,26 усл. ед.

В качестве примера можно привести одно из немногих исследований [14], где сравнивали частоту дефицита и недостаточности витамина D среди населения, проживающего в регионах Российской Федерации, расположенных в широтах от 45° до 70° (гг. Москва, Ростов-на-Дону, Санкт-Петербург, Мурманск, Екатеринбург, Тюмень, Кызыл, Владивосток, Норильск, Новосибирск). Период исследования включал промежуток с 01 марта по 31 мая 2020.

Разброс ФШК в городах от Норильска до Ростова-на-Дону в период исследования колеблется от 0 до 1,0 усл. ед. (рис. 1 и рис. 2), а значит, эти ко-

лебания фотопериода необходимо учитывать, особенно в исследовании, где уровень инсоляции имеет важное значение. Идеальный период для аппаратных исследований и забора биологического материала – день равноденствия, который в 2020 году пришелся на 20-21 марта, когда ФШК равен нулю.

Годовая динамика ФШК в городах России, расположенных за Полярным кругом, отличается от таковой в более низких широтах (рис. 2).

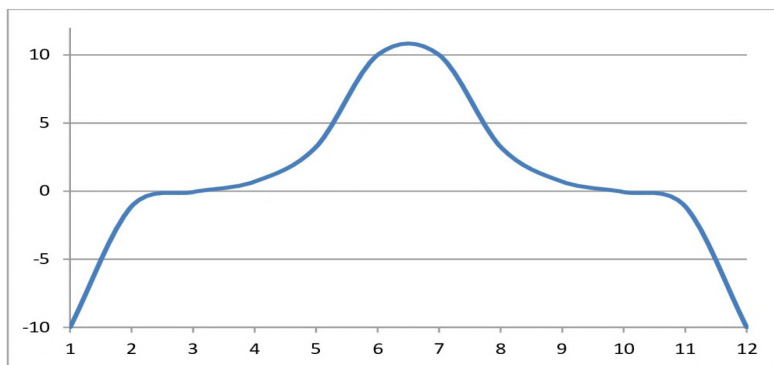


Рис. 2. Реконструированная кривая годовой динамики фотопериодического широтного коэффициента в городах России, находящихся за Полярным кругом (Диксон 73°/80°; Мурманск 68°/33°; Норильск 69°/88°; Певек 69°/170°).

Примечание: Координаты: с. ш./в.д. Ось абсцисс – месяцы (1 - 12); ось ординат – усл. ед.

В гг. Мурманске, Норильске и Певеке, расположенных на 68-69° с. ш. с большим размахом по долготе (от 33° до 170° в. д.), реконструированная кривая ФШК выглядит своеобразно за счет периодов полярной ночи и полярного дня. Резкие прирост и падение ФШК весной и осенью создают условия для возникновения внутригодового полярного фотодесинхроноза.

ФШК на всех рассматриваемых территориях претерпевает околородовые колебания, причем зимние различия меньше, чем летние. Осенне-весенние перекресты реконструированных кривых годовой динамики ФШК в периоды равноденствия одинаковы на всех анализируемых широтах. Прирост амплитуды околородовой кривой величины коэффициента повышает вероятность сезонного фотодесинхроноза, как хронобиологического компонента адаптационного процесса.

Поскольку продолжительность светового дня и ночи по одной широте практически одинакова, пересечение часовых поясов при авиаперелете (классический *меридиональный джетлаг*) вызывает *социально-навязан-*

ный десинхроноз. Например, в январе 2023 г. в городах, расположенных на 60°с.ш., продолжительность дня/ночи отличалась всего на 22 минуты: г. Санкт-Петербург (06:49/17:11) (*здесь и далее – часы:минуты день / часы:минуты ночь*); г. Ханты-Мансийск (06:32/17:28); г. Магадан (06:54/17:06).

Динамика отношения *день/ночь* более выражена при смещении по меридиану: Мурманск (68°) – 2:28/21:32; Архангельск (64°) – 05:21/18:39; Санкт-Петербург (59°) – 06:49/17:11; Воронеж (51°) – 08:23/15:37; Севастополь (44°) – 09:15/14:45; Дербент (42°) – 09:30/14:30.

Таким образом, световой день при перелете из Мурманска в Дербент увеличивается на 07 часов 02 минуты. Такой выраженный дрейф индуцирует *естественный фотодесинхроноз*, который, по нашему мнению, можно обозначить как *широтный джетлаг*.

Заключение

Окологодовую динамику светового режима необходимо учитывать при проведении исследований на территориях, расположенных на разной широте и долготе, что предполагает внесение поправок при сезонных продольных исследованиях. Особенности фотопериода региона проживания находят отражение в величинах *фотопериодического широтного коэффициента*.

Одномоментные межширотные исследования для коррекции географических и сезонных поправок рекомендуется проводить в периоды осеннего и весеннего равноденствия, так как в эти дни значение *фотопериодического широтного коэффициента* равно нулю.

Изменение длительности светового дня при транширотном перелете в границах Российской Федерации составляет до 9 часов, что может индуцировать фотодесинхроноз или *широтный джетлаг*.

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

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-15-20023, <https://rscf.ru/project/22-15-20023/>

Список литературы

1. Авцын А.П. Введение в географическую патологию. М., 1972. С. 242–275.
2. Бобок М.Н., Краснюк И.И., Козлова Ж.М. Регуляция биологических ритмов. Современные способы коррекции десинхронозов // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 7-1 (97). С. 182-188.

3. Гаранина О.А. Особенности организации времени жизни специалистов, работающих в режиме сменного графика // Организационная психология. 2015. Т. 5. № 2. С. 10-25. URL: <https://orgpsyjournal.hse.ru/2015-5-2/151999667.html> (дата обращения: 29.12.2023)
4. Гундаров И.А., Зильберт Н.Л. Изучение региональных различий в заболеваемости и смертности населения с позиций синдрома географической широты // Вестн. АМНСССР. 1991. № 11. С. 52–56.
5. Зарипов А.А., Янович К.В., Потапов Р.В., Корнилова А.А. Современные представления о десинхронозе // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19744> (дата обращения: 28.12.2023).
6. Кикун П.Ф., Хотимченко М.Ю., Нагирная Л.Н. Проблемы трансмеридиональных перелетов // Экология человека. 2015. № 1. С. 15-20.
7. Осиков М.В., Бойко М.С., Огнева О.И., Федосов А.А. Этолого-иммунологические взаимосвязи при экспериментальном десинхронозе в условиях люминисцентного освещения // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2023. Т. 67, № 3. С. 58–67. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2023.03.58-67>
8. Плисс М.Г. Кузьменко Н.В., Цырлин В.А. Влияние географической широты на количество госпитализаций по поводу сердечно-сосудистых заболеваний в годы с низкой и высокой геомагнитной активностью // Трансляционная медицина. 2017. Т. 4, № 6. С. 13–21.
9. Рагозин О.Н., Гудков А.Б., Шаламова Е.Ю., Погонишева И.А., Рагозина О.В., Погонишев Д.А., Симонов В.Н. Фотопериодическая устойчивость и распределение хронотипов у молодых жителей Севера при разной организации деятельности // Экология человека. 2022. № 9. С. 653-661.
10. Рагозин О.Н., Татаринцев П.Б., Погонишева И.А., Гудков А.Б., Шаламова Е.Ю., Погонишев Д.А., Бейсембаев А.А. Поправки при анализе временных рядов с учётом географических различий фотопериода // Экология человека. 2023. № 2. С. 139-149.
11. Самойлов А.С., Рылова Н.В., Кожокару А.Б., Жолинский А.В., Пустовойт В.И., Ключников М.С., Назарян С.Е. Нарушение циркадных ритмов у спортсменов и возможности коррекции // Практическая медицина. 2021. Т. 19, № 1. С. 62-65. <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2021-1-62-65>
12. Солонин Ю.Г. Гемодинамика, выносливость и психомоторика у жителей разных широт в контрастные периоды года // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 3. С. 113–117.

13. Солонин Ю.Г., Логинова Т.П., Черных А.А., Гарнов И.О., Марков А.Л., Паршукова О.И., Прошева В.И., Потопицына Н.Н., Бойко Е.Р. Влияние широтного фактора на организм лыжников Республики Коми // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. 2018. №4 (36). С. 19-25.
14. Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Трошина Е.А. Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны // Проблемы эндокринологии. 2021. Т. 67, № 2. С. 84-92. <https://doi.org/10.14341/probl12736>
15. Dos Santos F.K., Prista A., Gomes T.N., Santos D., Damasceno A., Madeira A., Katzmarzyk P.T., Maia J.A. Body Mass Index, Cardiorespiratory Fitness and Cardiometabolic Risk Factors in Youth from Portugal and Mozambique // Int. J. Obes. (Lond.). 2015. Vol. 39, № 10. P. 1467–1474.
16. Hedayat L.M.A., Murchison C.C., Foulds H.J.A. A Systematic Review and Meta-Analysis of Cardiorespiratory Fitness Among Indigenous Populations in North America and Circumpolar Inuit Populations // Prev. Med. 2018. Vol. 109. P. 71–81.
17. Henschen F., Maegraith B. Grundzüge einer historischen und geographischen Pathologie / Pathological Anatomy of Mediterranean and Tropical Diseases. 1966. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48127-7>
18. Время восхода и захода солнца. <https://voshod-solnca.ru/sun>
19. Борисенков М.Ф. Часовые пояса с точки зрения хронобиологии // Химия и жизнь. 2013. №1. <https://hij.ru/read/1936/>
20. Ragozin O.N., Schalamova E.Y., Datieva F.S., Pogonysheva I.A. Photoperiodic chronotype stability in students of Khanty-Mansi Autonomous Area – Yugra and Vladikavkaz // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2022. Vol. 57. N. 1. P. 65-72. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/07>

References

1. Avtsyn A.P. *Introduction to geographical pathology*. M., 1972, pp. 242-275.
2. Bobok M.N., Krasniuk I.I., Kozlova J.M. Regulation of biological rhythms. Modern ways of correction of desynchronization. *International Research Journal*, 2020, no. 7-1 (97), pp. 182-188.
3. Garanina O.A. Features of the organization of the time of life of specialists working in the mode of shift schedule. *Organizational psychology*, 2015, vol. 5, no. 2, pp. 10-25. URL: <https://orgpsyjournal.hse.ru/2015-5-2/151999667.html>
4. Gundarov I.A., Zilbert N.L. Study of regional differences in morbidity and mortality of the population from the perspective of the syndrome of geograph-

- ic latitude. *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*, 1991, no. 11, pp. 52-56.
5. Zaripov A.A., Yanovich K.V., Potapov R.V., Kornilova A.A. Modern ideas about desynchronosis. *Modern problems of science and education*, 2015, no. 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19744>
 6. Kiku P.F., Khotimchenko M.Yu., Nagirnaya L.N. Problems of transmeridional flights. *Human Ecology*, 2015, no. 1, pp. 15-20.
 7. Osikov M.V., Boyko M.S., Ogneva O.I., Fedosov A.A. Ethology-immunologic interrelationships in experimental desynchronosis under conditions of luminescent illumination. *Pathologic Physiology and Experimental Therapy*, 2023, vol. 67, no. 3, pp. 58-67. <https://doi.org/10.25557/0031-2991.2023.03.58-67>
 8. Pliss M.G. Kuzmenko N.V., Tsyrlin V.A. Influence of geographical latitude on the number of hospitalizations for cardiovascular diseases in years with low and high geomagnetic activity. *Translational Medicine*, 2017, vol. 4, no. 6, pp. 13-21.
 9. Ragozin O.N., Gudkov A.B., Shalamova E.Yu., Pogonysheva I.A., Ragozina O.V., Pogonyshev D.A., Simonov V.N. Photoperiodic stability and distribution of chronotypes in young residents of the North at different organization of activity. *Human Ecology*, 2022, no. 9, pp. 653-661.
 10. Ragozin O.N., Tatarintsev P.B., Pogonysheva I.A., Gudkov A.B., Shalamova E.Y., Pogonyshev D.A., Beisembaev A.A. Corrections in time series analysis taking into account geographical differences of photoperiod. *Human Ecology*, 2023, no. 2, pp. 139-149.
 11. Samoilov A.S., Rylova N.V., Cojocar A.B., Zholinsky A.V., Pustovoit V.I., Klyuchnikov M.S., Nazarian S.E. Violation of circadian rhythms in athletes and the possibility of correction. *Practical Medicine*, 2021, vol. 19, no. 1, pp. 62-65. <https://doi.org/10.32000/2072-1757-2021-1-62-65>
 12. Solonin Yu.G. Hemodynamics, endurance and psychomotorics in inhabitants of different latitudes in contrasting periods of the year. *Human Physiology*, 1996, vol. 22, no. 3, pp. 113-117.
 13. Solonin Y.G., Loginova T.P., Chernykh A.A., Garnov I.O., Markov A.L., Parshukova O.I., Prosheva V.I., Pitolitsyna N.N., Boyko E.R. Influence of latitude factor on the body of skiers of the Komi Republic. *Proceedings of the Komi Science Centre Ural Branch Russian Academy of Sciences*, 2018, no. 4 (36), pp. 19-25.
 14. Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Pigarova E.A., Rozhinskaya L.Y., Troshina E.A. Vitamin D deficiency in Russia: the first results of the register non-interventional study of the frequency of vitamin D deficiency and insufficiency in different geographical regions of the country. *Problems of endocrinology*, 2021, vol. 67, no. 2, pp. 84-92. <https://doi.org/10.14341/probl12736>

15. Dos Santos F.K., Prista A., Gomes T.N., Santos D., Damasceno A., Madeira A., Katzmarzyk P.T., Maia J.A. Body Mass Index, Cardiorespiratory Fitness and Cardiometabolic Risk Factors in Youth from Portugal and Mozambique. *Int. J. Obes. (Lond.)*, 2015, vol. 39, no. 10, pp. 1467-1474.
16. Hedayat L.M.A., Murchison C.C., Foulds H.J.A. A Systematic Review and Meta-Analysis of Cardiorespiratory Fitness Among Indigenous Populations in North America and Circumpolar Inuit Populations. *Prev. Med. Med.*, 2018, vol. 109, pp. 71-81.
17. Henschen F., Maegraith B. Grundzüge einer historischen und geographischen Pathologie / Pathological Anatomy of Mediterranean and Tropical Diseases. 1966. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-48127-7>
18. Sunrise and sunset times. <https://voshod-solnca.ru/sun>
19. Borisenkov M.F. Time zones from the point of view of chronobiology. *Chemistry and Life*, 2013, no. 1. <https://hij.ru/read/1936/>
20. Ragozin O.N., Schalamova E.Y., Datieva F.S., Pogonysheva I.A. Photoperiodic chronotype stability in students of Khanty-Mansi Autonomous Area - Yugra and Vladikavkaz. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2022, vol. 57, no. 1, pp. 65-72. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/22-1/07>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Рагозин Олег Николаевич, д.м.н., профессор, профессор кафедры госпитальной терапии

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия»

*ул. Мира 40, г. Ханты-Мансийск, 628012, Российская Федерация
oragozin@mail.ru*

Шаламова Елена Юрьевна, д.б.н., доцент, профессор кафедры физиологии и спортивной медицины

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа-Югры «Ханты-Мансийская государственная медицинская академия»

*ул. Мира 40, г. Ханты-Мансийск, 628012, Российская Федерация
selenzik@mail.ru*

Радыш Иван Васильевич, д.м.н., профессор, профессор кафедры нормальной физиологии
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
ул. Миклухо-Маклая, 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
iradysh@mail.ru*

Погоньшев Денис Александрович, к.б.н., доцент, доцент кафедры экологии
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижевартовский государственный университет»
ул. Ленина, 56, Ханты-Мансийский автономный округ-Югра, г. Нижневартовск, 628602, Российская Федерация
d.pogonyshev@mail.ru*

Чибисов Сергей Михайлович, д.м.н., профессор, профессор кафедры патологической физиологии
*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»
ул. Миклухо-Маклая 8, г. Москва, 117198, Российская Федерация
kalcna@mail.ru*

Погоньшева Ирина Александровна, к.б.н., доцент, доцент кафедры экологии
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижевартовский государственный университет»
ул. Ленина, 56, Ханты-Мансийский автономный округ-Югра, г. Нижневартовск, 628602, Российская Федерация
severina.i@bk.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Oleg N. Ragozin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Hospital Therapy

Khanty-Mansiysk State Medical Academy
40, Mira Str., Khanty-Mansiysk, 628012, Russian Federation
oragozin@mail.ru
SPIN-code: 7132-3844
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5318-9623>
Researcher ID: JPA-6193-2023
Scopus Author ID: 6507880447

Elena Yu. Shalamova, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Professor of the Department of Physiology and Sports Medicine
Khanty-Mansiysk State Medical Academy
40, Mira Str., Khanty-Mansiysk, 628012, Russian Federation
selenzik@mail.ru
SPIN-code: 8125-9359
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5201-4496>
Scopus Author ID: 55773809000

Ivan V. Radysh, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Normal Physiology
RUDN University
8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation
iradysh@mail.ru
SPIN-code: 4780-5985
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0939-6411>
Researcher ID: H-1026-2019
Scopus Author ID: 6602124877

Denis A. Pogonyshev, Cand. of Biol. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology
Nizhnevartovsk State University
56, Lenin Str., Yugra, Nizhnevartovsk, 628602, Russian Federation
d.pogonyshev@mail.ru
SPIN-code: 1179-9674
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8815-1556>
Researcher ID: JPA-6283-2023
Scopus Author ID: 57194619592

Sergey M. Chibisov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Pathological Physiology

RUDN University

8, Miklukho-Maklaya Str., Moscow, 117198, Russian Federation

kalcna@mail.ru

SPIN-code: 6691-1012

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3091-6418>

Researcher ID: U-2681-2017

Scopus Author ID: 6602649721

Irina A. Pogonysheva, Cand. of Biol. Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ecology

Nizhnevartovsk State University

56, Lenin Str., Yugra, Nizhnevartovsk, 628602, Russian Federation

severina.i@bk.ru

SPIN-code: 6095-8392

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5759-0270>

Researcher ID: AAB-3834-2020

Scopus Author ID: 57194619104

Поступила 15.11.2023

После рецензирования 28.12.2024

Принята 03.01.2024

Received 15.11.2023

Revised 28.12.2023

Accepted 03.01.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1260

УДК 159.92:632.95.026.1



Научная статья

ФАКТОР ТРЕВОЖНОСТИ У ПОДРОСТКОВ РАЗНЫХ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ГРУПП СИБИРИ С АЛЕКСИТИМИЕЙ

О.И. Зайцева, Т.А. Колодяжная, Ж.Г. Зайцева

Данные о взаимосвязи тревожности с алекситимией у подростков разных популяционных групп Сибири малочисленны и носят фрагментарный характер.

Цель. Изучить фактор «тревожности» у подростков разных популяционных групп Сибири с алекситимией с учетом возраста и гендерной принадлежности, этнического происхождения и региональных особенностей, установить взаимосвязи.

Материалы и методы. Интервьюирование подростков в возрасте 11-18 лет при помощи Торонтской алекситимической шкалы (TAS-26) и «Шкалы реактивной и личностной тревожности» Ч.Д. Спилбергера – Ю.Л. Ханина.

Результаты. Среди подростков разных популяционных групп Сибири частота алекситимии у подростков-хакасов в 1,6 раза выше в сравнении с подростками-европеоидами Республики Хакасия (РХ). Подростки г. Красноярска занимают промежуточное положение. Характерным признаком алекситимии у подростков является высокий уровень тревожности, о чем свидетельствуют положительные корреляционные связи алекситимии с ситуативной ($r=0,47$; $p<0,01$) и личностной тревожностью ($r=0,56$; $p<0,01$). Среди всех подростков-европеоидов с алекситимией высокая ситуативная тревожность регистрируется в 2 раза чаще у подростков-европеоидов РХ. В плане развития высокотрещежной алекситимической личности уязвимы девочки, по возрасту - старшие подростки.

Заклучение. Выявление среди практически здоровых подростков высокотрещежных алекситимичных индивидов необходимо для своевременного проведения профилактических мероприятий.

Ключевые слова: алекситимия; подростки-европеоиды; подростки-хакасы; ситуативная тревожность; личностная тревожность; профилактические мероприятия

Для цитирования. Зайцева О.И., Колодяжная Т.А., Зайцева Ж.Г. Фактор тревожности у подростков разных популяционных групп Сибири с алекситимией // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 416-436. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1260

Original article

ANXIETY FACTOR IN ADOLESCENTS OF DIFFERENT POPULATION GROUPS OF SIBERIA WITH ALEXITHYMIA

O.I. Zaitzeva, T.A. Kolodyazhnaya, Gh.G. Zaitzeva

Data on the relationship between anxiety and alexithymia in adolescents from different population groups in Siberia are scarce and fragmentary.

Purpose. *To study the factor of “anxiety” in adolescents of different population groups in Siberia with alexithymia, taking into account age and gender, ethnic origin and regional characteristics, and to establish relationships.*

Materials and methods. *Interviewing adolescents aged 11-18 years using the Toronto Alexithymic Scale (TAS-26) and the “Reactive and Personal Anxiety Scale” by Ch.D. Spielberger – Yu.L. Hanina.*

Results. *Among adolescents of different population groups in Siberia, the frequency of alexithymia in Khakass adolescents is 1.6 times higher in comparison with Caucasian adolescents of the Republic of Khakassia (RKh). Teenagers in Krasnoyarsk occupy an intermediate position. A characteristic sign of alexithymia in adolescents is a high level of anxiety, as evidenced by positive correlations between alexithymia and situational ($r=0,47$; $p<0,001$) and personal anxiety ($r=0,56$; $p<0,001$). Among all Caucasian adolescents with alexithymia, high situational anxiety is registered 2 times more often in Caucasian adolescents RKh. In terms of the development of a highly anxious alexithymic personality, girls are vulnerable, and by age - older teenagers.*

Conclusion. *Identification of highly anxious alexithymic individuals among practically healthy adolescents is necessary for the timely implementation of preventive measures of a psychological, pedagogical and medical plan, which will reduce the risk of psychosomatic disorders and deviant behavior.*

Keywords: *alexithymia; caucasian adolescents; khakass adolescents; situational anxiety; personal anxiety; preventive measures*

For citation. Zaitzeva O.I., Kolodyazhnaya T.A., Zaitzeva Gh.G. *Anxiety Factor in Adolescents of Different Population Groups of Siberia with Alexithymia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 416-436. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1260*

Введение

Развитие общества в значительной степени зависит от уровня популяционного здоровья подростков, который обуславливает здоровье нации в целом и определяет ее интеллектуальные, производственные, репродуктивные возможности. В большинстве научных обзоров дефицитарность эмоциональной сферы подростков рассматривается как один из ведущих факторов риска психосоматических расстройств подросткового возраста [1; 2].

В настоящее время в педиатрии для описания эмоционального состояния подростков все чаще пользуются понятием «алекситимия». Конструкт алекситимии был сформулирован на Европейской конференции по психосоматическим исследованиям в г. Гейдельберге в 1976 году и включает в себя: трудности определения и описания эмоций, распознавания эмоций и телесных ощущений, бедность фантазии, низкий уровень самосознания [3; 4].

В текущее время существует значительное количество теорий происхождения алекситимии. Наибольшее признание в медицинском сообществе получили следующие теории: теория биологических причин, рассматривающая алекситимию как врожденную [5]; теория травматической соматизации, трактующая алекситимию как результат психотравмы, состояние торможения аффектов [6]; теория социализации - как следствие социальных и культурных факторов [7]. В рамках теории социализации этническая составляющая подростка (традиционный уклад жизни, семейный характер воспитания, культурные ценности) играет важную роль [8]. Первостепенное значение эти факторы приобретают в Сибири, где компактно проживают многонациональные сибирские этносы, в том числе и хакасы, со свойственными генетическими особенностями и этнокультурными характеристиками. Обозначенные выше категории обуславливают своеобразие психоэмоциональной сферы и физическое развитие подростков разных этносов Сибири [9].

В литературе присутствуют сведения о связи алекситимии с другим психологическим фактором - тревожностью. В Большом психологическом словаре имеется такое определение тревоги: «переживание эмоционального дискомфорта, связанное с ожиданием неблагополучия, предчувствием грядущей опасности» [10].

В настоящее время для определения уровня тревожности часто используется в педиатрической практике «Шкала реактивной и личностной тревожности» Ч.Д. Спилбергера в адаптации Ю.Л. Ханина [11]. Опросник оценивает две формы тревожности: тревога как психоэмоциональное состояние человека в конкретной ситуации - ситуативная тревожность; тревога как свойство личности - личностная тревожность. В то же время измененный уровень тревожности самостоятельно может выступать индикаторным фактором соматизации тревоги [12-14]. В таком случае сочетание нежелательных характеристик (высокой тревожности) в структуре личности будут усугублять трудности в коммуникации, неблагоприятно влиять на завершение формирования эмоциональной сферы подростков, в том числе, и на закрепление алекситимических черт, если таковые имеются [3; 15].

Приводимые в научной литературе сведения по вопросу алекситимии и тревожности в подростковой среде указывают на масштабы этой проблемы [16, 17]. В то же время в нашей стране этот вопрос недостаточно изучен. Немногочисленные публикации, посвященные проблеме тревожности у подростков с разным уровнем алекситимии в России, касаются в основном групп европейского происхождения (русские, украинцы) [1; 6]. Сведения о распространённости алекситимии и ее взаимосвязи с фактором «тревожности» у подростков коренных жителей Сибири, в частности хакасов, малочисленны и носят фрагментарный характер.

Цель исследования – изучить фактор «тревожности» у подростков разных популяционных групп Сибири с алекситимией с учетом возраста и гендерной принадлежности, этнического происхождения и региональных особенностей, установить взаимосвязи.

Материалы и методы

Обследованы подростки 11-18 лет из центральных и южных территорий Сибири, обучающиеся в общеобразовательных учреждениях. Общая выборка составила 1045 человека. Интервьюирование подростков Центральной Сибири проводилось в г. Красноярске. Обследованы школьники/европеоиды (русские, украинцы): 543 подростка (261 мальчик и 282 девочки). Юг Сибири представлен в настоящем исследовании Республикой Хакасия (РХ, г. Абакан). Коренным населением республики являются хакасы, которые по данным генетического исследования относятся к одной из азиатских по происхождению групп с наибольшей долей монголоидного расового компонента [18]. Помимо хакасов-монголоидов в

республике проживают представители славянского этноса - европеоиды (русские, украинцы). В г. Абакане обследовано 239 хакасских школьников (103 мальчика и 136 девочек) и 263 школьника-европеоида (113 мальчиков и 150 девочек).

Исследование одобрено Этическим комитетом ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН. Подростки были клинически здоровые. Сбор информации проводился в начале учебного года (сентябрь, октябрь) в течение трех лет (2021 г., 2022 г., 2023 г.). После получения информированного согласия родителей ученики заполняли анкеты.

Для изучения алекситимии у подростков применялась широко используемая в разных областях медицины Торонтская алекситимическая шкала (TAS-26), разработанная G.J. Taylor и соавт. [4]. Торонтская шкала алекситимии включает 26 утверждений, оцениваемых в баллах, подсчет которых проводится в соответствии с ключом, оценивается общий балл. Согласно нормативным интервалам TAS-26 теста выделяют следующие варианты алекситимии: общий балл ≤ 62 баллов: низкая степень алекситимии (отсутствие признаков алекситимии, ОПА); общий балл в диапазоне 63 - 73 балла: средняя степень алекситимии (группа риска по алекситимии, ГРА); общий балл ≥ 74 баллов: высокая степень алекситимии (наличие алекситимии, НПА).

Фактор «тревожности» оценивали при помощи «Шкалы реактивной и личностной тревожности» Ч.Д. Спилберга – Ю.Л. Ханина [11].

Цифровой материал обработан стандартным пакетом программ STATISTICA, ver. 10.0. Статистический анализ качественных признаков осуществляется путем подсчетом относительной частоты, или доли (%). Оценка доверительного интервала (95% ДИ) для долей и частот проводится по методу Уилсона. Сравнение групп по качественному бинарному признаку оценивается с помощью критерия Pearson χ^2 . При описании статистических показателей указывается абсолютное значение Pearson χ^2 и статистическая значимость различий (p). Анализ зависимости признаков производится при помощи непараметрического коэффициента корреляции по Спирмену. Различия считаются значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Данные о распространенности алекситимии среди подростков центральных и южных регионов Сибири представлены на рисунке 1.

Среди всех респондентов с ОПА самой многочисленной была группа подростков-европеоидов РХ с ОПА (41,2%; 108 человек) как в сравнении

с подростками г. Красноярска с ОПА ($P=0,0123$), так и в сопоставлении с подростками-хакасами РХ с ОПА ($P=0,0048$). В группе испытуемых с НПА большей по численности была когорта подростков-хакасов с НПА (42,2%, 82 человека) в сравнении аналогичной группой подростков-европеоидов РХ ($P=0,0447$), подростки г. Красноярска с НПА (32,7%, 177 человек) занимают промежуточное положение. Статистически значимых различий среди респондентов категории ГРА не выявлено. Полученные данные указывают на преобладание среди хакасских подростков высокоалекситимичных индивидов со свойственным дефицитом в когнитивно-эмоциональной сфере, в то время как среди подростков-европеоидов преимущественно РХ чаще регистрируются неалекситимичные индивиды.

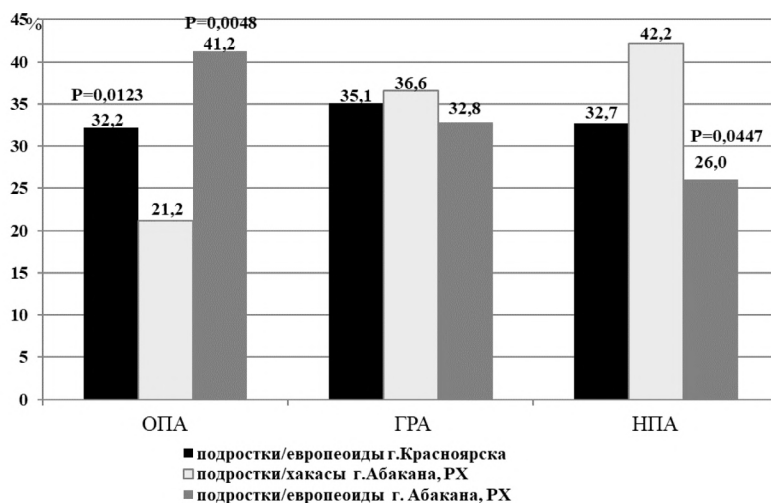


Рис. 1. Варианты алекситимии у подростков разных популяционных групп Сибири по Торонтской шкале алекситимии

Примечание: статистически значимые различия между подростками-европеоидами РХ и подростками г. Красноярска ($P=0,0123$); между подростками-европеоидами РХ и подростками-хакасами ($P=0,0048$), ($P=0,0447$).

Вероятно, лабильное состояние психоэмоциональной сферы хакасских подростков может быть генетически обусловлено [19]. По интересующему нас вопросу не обнаружено научных публикаций, посвященных хакасам. В то же время имеются единичные публикации, касающиеся другого самобытного сибирского этноса, проживающего на юге Сибири и являющегося территориально ближайшим соседом хакасов – тувинцев [20]. Сибирскими

учеными-генетиками обнаружена связь уровня личностной тревожности с полиморфными вариантами гена транспортера серотонина (5-НТТ) у сибиряков/европеоидов (русских) и этнических тувинцев. Авторы констатируют высокий уровень личностной тревожности у носителей генотипа SS, фиксируя достоверно высокую частоту S-аллель гена 5-НТТ в группе тувинцев. В то же время невысокий уровень личностной тревожности регистрируется у носителей генотипа LL, высокая частота которого (L-аллель гена 5-НТТ) выявляется у русских. Однако современная медицинская наука связывает проблему этнопсихологического своеобразия индивида не только с особенностями генетического фона, но и с социокультурными условиями.

Интересным в этом плане представляется работа Ю. Г. Кустовой, в которой автор указывает на отличительные качества хакасских подростков: скромность, застенчивость, сдержанность в проявлениях чувств и связывает их наличие с традиционной культурой хакасского народа, основанной на общепринятых восточных ценностях (уважение к старшим, заботливость) [8]. Эти социокультурные установки хакасских подростков сказываются на формировании копинг-стратегий у них. По данным Т.Г. Бохан и соавт. у хакасских подростков встречаются чаще в сравнении с другими сибирскими этносами такие неадаптивные копинг-стратегии как «подавление эмоций» и «диссимиляция» [7].

Принимая во внимание значимость фактора «тревожности» в структуре алекситимической личности далее изучали ситуативную и личностную тревожность по Ч.Д. Спилбергеру у подростков с алекситимией с учетом возраста. Результаты приведены в таблице 1.

Умеренный (нормальный) уровень ситуативной тревожности среди подростков-европеоидов г. Красноярска вне зависимости от возраста регистрируется у преобладающего большинства испытуемых (63,4%-65,1%). Наряду с этим низкая (также нормальная) ситуативная тревожность у подростков-красноярцев встречается преимущественно среди неалекситимичных респондентов (группа с ОПА) в сравнении с респондентами ГРА ($P=0,0113$; $P=0,0259$) и младшими подростками с НПА ($P=0,0016$). Среди старших подростков с НПА индивиды с низкой ситуативной тревожностью наблюдаются в единичных случаях, а потому нами не учитываются. В то же время у испытуемых отмечается рост высокой ситуативной тревожности по мере нарастания алекситимических признаков в структуре личности у подростков обеих возрастных групп с НПА ($P=0,0001$; $P<0,001$) и ГРА ($P=0,0255$; $P=0,0148$) в сравнении с аналогичными возрастными группами подростков с ОПА.

Таблица 1.

**Уровень ситуативной и личностной тревожности по Ч.Д. Спилбергеру
у подростков разных популяционных групп Сибири с алекситимией
с учетом возраста (в%)**

Тревож- ность	ОПА (≤62 баллов)		ГРА (63-73 баллов)		НПА (≥74 баллов)		χ^2	Р по χ^2
	Подростки-европеоиды г. Красноярск							
	11-14 n=83	15-18 n=93	11-14 n=110	15-18 n=81	11-14 n=102	15-18 n=74		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
	Шкала « Ситуативная тревожность»							
Низкая ($<30б.$)	18,1 11,3-27,7	17,2 10,9-26,2	6,4 3,2-12,6	6,2 2,7-13,6	3,9 1,6-9,6	-	6,42 9,94 4,96	$P_{1-3}=0,0113$ $P_{1-5}=0,0016$ $P_{2-4}=0,0259$
Умеренная (30-45 б.)	65,1 54,3-74,4	63,4 53,3-72,5	62,7 53,4-71,2	55,5 44,7-65,9	51,9 42,3-61,4	43,2 32,5-54,6	6,78 2,34	$P_{2-6}=0,0092$ $P_{4-6}=0,1257$
Высокая ($>45 б.$)	16,7 10,3-26,4	19,3 12,6-28,6	30,9 23,0-40,1	35,8 26,2-46,7	44,1 34,8-53,8	55,4 44,6-66,2	4,99 15,60 4,28 23,40 5,94 4,50	$P_{1-3}=0,0255$ $P_{1-5}=0,0001$ $P_{2-4}=0,0148$ $P_{2-6}<0,001$ $P_{2-6}=0,0143$ $P_{4-6}=0,0386$
	Шкала « Личностная тревожность»							
Низкая ($<30б.$)	5,2 3,4-14,9	15,1 9,2-23,7	-	4,9 2,0-12,0	-	5,4 2,2-13,1	4,21 4,78 4,37	$P_{1-2}=0,0475$ $P_{2-4}=0,0289$ $P_{2-6}=0,0458$
Умеренная (30-45 б.)	62,6 51,9-72,3	55,9 45,8-65,6	60,0 50,6-68,7	39,5 29,5-50,4	52,0 42,3-61,4	31,1 21,7-42,4	4,67 10,27 7,00 7,62	$P_{2-4}=0,0307$ $P_{2-6}=0,0014$ $P_{3-4}=0,0082$ $P_{3-6}=0,0058$
Высокая ($>45 б.$)	32,1 21,3-40,7	29,0 20,8-39,0	40,0 31,3-40,4	53,1 42,3-63,6	48,0 38,6-57,6	62,2 50,7-72,4	11,34 7,39 5,24 18,38	$P_{1-5}=0,0008$ $P_{1-3}=0,0065$ $P_{2-4}=0,0221$ $P_{2-6}<0,001$
	Подростки-хакасы г. Абакана, РХ							
	11-14 n=19	15-18 n=51	11-14 n=47	15-18 n=42	1 1 - 1 4 n=56	15-18 n=24		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
	Шкала «Ситуативная тревожность»							
Низкая ($<30б.$)	26,3 11,9-49,1	43,1 30,5-56,8	8,5 3,5-20,0	16,7 8,4-30,7	-	-	3,6 15,79	$P_{1-3}=0,0563$ $P_{2-4}=0,0061$
Умеренная (30-45 б.)	52,6 31,5-72,8	41,2 28,7-54,9	48,9 35,2-62,8	50,0 35,5-64,5	30,3 19,9-43,4	37,5 30,9-68,2	3,06 1,33	$P_{1-5}=0,0805$ $P_{2-4}=0,2438$
Высокая ($>45 б.$)	21,1 8,7-43,7	15,7 7,5-28,1	42,5 29,5-56,8	33,3 21,0-48,5	69,6 56,6-80,1	62,5 33,8-75,1	13,107,84 3,69 3,97	$P_{1-3}=0,0003$ $P_{1-5}=0,0002$ $P_{2-4}=0,0463$ $P_{2-6}=0,0051$
	Шкала «Личностная тревожность»							
Низкая ($<30б.$)	26,3 11,9-49,1	21,6 12,5-34,7	10,6 4,7-22,6	11,9 5,3-25,1	5,4 2,9-15,3	16,7 6,8-36,1	3,71 4,20	$P_{1-5}=0,0622$ $P_{2-4}=0,0405$

Умеренная (30-45 б.)	52,6 31,5-72,8	49,0 35,8-62,4	36,2 24,0-50,5	35,7 23,0-50,9	17,8 10,0-29,9	29,2 14,9-49,4	8,77 2,63	$P_{1-3}=0,0037$ $P_{2-6}=0,1049$
Высокая (>45 б.)	21,1 8,7-43,7	29,4 18,7-43,1	53,2 39,2-66,7	52,4 37,6-66,7	76,7 60,3-85,0	54,2 34,9-72,2	5,67 16,00 5,07 20,53 4,03	$P_{1-3}=0,0172$ $P_{1-5}=0,0001$ $P_{2-4}=0,0243$ $P_{2-6} < 0,001$ $P_{3-6}=0,0447$
Подростки-европеиды г. Абакана, РХ								
	11-14 n=23	15-18 n=85	11-14 n=39	15-18 n=46	11-14 n=37	15-18 n=33		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
Шкала «Ситуативная тревожность»								
Низкая (<30б.)	16,6 3,7-37,9	39,8 31,6-48,7	-	14,9 8,4-25,4	-	-	4,06 12,57	$P_{1-3}=0,0440$ $P_{2-4}=0,0004$
Умеренная (30-45 б.)	83,4 59,0-99,6	51,2 42,5-59,9	40,0 16,7-69,2	50,7 39,0-62,4	55,6 26,2-81,3	39,6 27,0-53,8	6,01 11,39 5,00	$P_{1-3}=0,0143$ $P_{1-3}=0,0007$ $P_{1-5}=0,0254$
Высокая (>45 б.)	-	8,9 5,1-15,3	60,0 30,8-83,2	34,3 24,1-46,3	44,4 18,7-73,7	60,4 46,2-73,0	19,02 28,05	$P_{2-4} < 0,001$ $P_{2-6} < 0,001$
Шкала «Личностная тревожность»								
Низкая (<30б.)	-	26,0 19,1-34,4	-	3,0 0,9-10,2	-	-	15,66	$P_{2-4}=0,0001$
Умеренная (30-45 б.)	83,3 42,1-96,3	56,9 48,1-65,3	50,0 23,4-76,6	53,7 41,9-65,2	55,4 25,7-73,7	25,0 14,9-38,9	6,08 14,09 11,30	$P_{1-3}=0,0136$ $P_{2-6}=0,0002$ $P_{3-6}=0,0016$
Высокая (>45 б.)	16,7 3,7-57,9	17,1 11,5-24,7	50,0 23,4-76,6	43,3 32,1-55,2	44,6 18,7-73,7	75,0 61,1-85,0	5,99 4,27 15,37 35,13 7,60	$P_{1-3}=0,0144$ $P_{1-3}=0,0389$ $P_{2-4}=0,0001$ $P_{2-6} < 0,001$ $P_{3-6}=0,0058$

Кроме того в группе старших подростков определяются статистически значимые различия по фактору ситуативной тревожности между подростками ГРА и респондентами с НПА ($P=0,0143$).

Динамика показателя личностной тревожности по опроснику Ч.Д. Спилбергера у подростков-европеидов г. Красноярск с алекситимией с учетом возраста подобна распределению ситуативной тревожности у них. У преобладающего большинства подростков регистрируется умеренный (нормальный) уровень личностной тревожности (55,9%-62,6%), что является естественной и неотъемлемой частью активной деятельности любого человека [4]. При этом младшие подростки независимо от степени алекситимии в сравнении со старшеклассниками демонстрируют статистически значимо чаще умеренную личностную тревожность в ГРА ($P=0,0082$) и в группе с НПА ($P=0,0058$). Высокая личностная тревожность статистически значимо чаще регистрируется у подростков обеих возрастных групп с НПА ($P=0,0008$; $P < 0,001$) и ГРА ($P=0,0065$; $P=0,0221$). Низкий уровень личностной тревожности среди

учащихся встречается в небольшом проценте случаев (4,9%-15,1%), причем старшие подростки с ОПА чаще обнаруживают низкую личностную тревожность ($P=0,0475$) в сравнении с младшими подростками.

У подростков-хакасов с разным уровнем алекситимии независимо от возраста умеренный уровень ситуативной тревожности фиксируется не реже чем у каждого третьего респондента (30,3%-54,2%) и низкий уровень - в интервале (8,5%-43,1%) у респондентов с ОПА и ГРА. Высокий уровень ситуативной тревожности статистически значимо чаще встречается у подростков-хакасов ГРА ($P=0,0003$; $P=0,0463$) и респондентов-хакасов с НПА ($P=0,0002$; $P=0,0051$) в сравнении с учащимися с ОПА.

Исследование по шкале «личностная тревожность» у школьников-хакасов выявляет умеренный уровень личностной тревожности независимо от возраста у половины респондентов с ОПА (49,0%-51,2%). В категории ГРА и НПА частота умеренной личностной тревожности снижается, доходя до уровня статистической значимости в группе младших подростков-хакасов с НПА ($P=0,0037$) в сопоставлении с аналогичной группой школьников-хакасов с ОПА. Низкая личностная тревожность независимо от возраста регистрируется практически у каждого четвертого респондента-хакаса с ОПА (21,6%-26,3%) с тенденцией к снижению в других группах, доходя до степени статистической значимости среди старших подростков ГРА ($P=0,0405$) в сравнении со сверстниками с ОПА. Высокий уровень личностной тревожности статистически значимо чаще демонстрируют подростки-хакасы разного возраста ГРА ($P=0,0172$; $P=0,0243$) и группы с НПА ($P=0,0001$; $P<0,001$) против ровесников с ОПА.

Исследование уровня ситуативной и личностной тревожности у подростков-европеоидов РХ с алекситимией выявляет аналогичную с подростками-европеоидами г. Красноярска структуру ситуативной и личностной тревожности. У подростков-европеоидов РХ умеренный уровень ситуативной тревожности регистрируется практически у половины всех респондентов-европеоидов РХ (49,8%; 131 чел.), причем младшие подростки-европеоиды с ОПА чаще ($P=0,0143$) демонстрируют умеренную ситуативную тревожность, в то время как низкую ситуативную тревожность - чаще старшие подростки с ОПА ($P=0,0440$). Рост частоты высокой ситуативной тревожности прослеживается в группах старших подростков ГРА ($P<0,001$) и с НПА ($P<0,001$) в сравнении с ровесниками с ОПА.

Умеренный уровень личностной тревожности у респондентов-европеоидов РХ разного возраста с алекситимией регистрируется не реже чем у каждого второго испытуемого (50,0%-83,3%) за исключением группы старших подростков с НПА (25,0%, 8 чел.). Частота высокого уровня лич-

ностной тревожности возрастает в обеих возрастных группах респондентов ГРА ($P=0,0144$; $P=0,0001$) и с НПА ($P=0,0389$; $P<0,001$). Наблюдается возрастная динамика фактора личностной тревожности, сопровождающаяся снижением частоты умеренной личностной тревожности среди старших подростков в сравнении с младшими подростками в группах с ОПА ($P=0,0136$) и с НПА ($P=0,0016$) и ростом частоты высокой личностной тревожности в группе старшеклассников с НПА ($P=0,0058$). Низкий уровень личностной тревожности регистрируется только у каждого четвертого старшеклассника с ОПА (26,0%, 22 чел.).

Суммируя данные, следует констатировать рост высокой ситуативной и личностной тревожности у подростков независимо от возраста по мере накопления признаков алекситимии в структуре личности. Психологическими особенностями возрастного порядка следует считать увеличение частоты низкой личностной тревожности на фоне снижения умеренной личностной тревожности в группе старших подростков.

Затем проанализировали ситуативную и личностную тревожность по Ч.Д. Спилбергеру у подростков с алекситимией с учетом гендерной принадлежности. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Уровень ситуативной и личностной тревожности по Ч.Д. Спилбергеру у подростков разных популяционных групп Сибири с алекситимией с учетом гендерной принадлежности (в%)

Тревожность	ОПА (≤ 62 баллов)		ГРА (63-73 баллов)		НПА (≥ 74 баллов)		χ^2	Р по χ^2
	мальчики n=93	девочки n=83	мальчики n=93	девочки n=98	мальчики n=75	девочки n=101		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
Подростки-европеоиды г. Красноярск								
Шкала « Ситуативная тревожность»								
Низкая (<306 .)	19,3	15,7	6,5	6,1	5,3		6,89	$P_{1-3}=0,0087$
	12,6-28,6	9,4-25,0	3,0-13,4	2,9-12,7	2,2-12,9	4,9	7,17	$P_{1-5}=0,0074$
Умеренная (30-45 б.)						2,2-11,1	4,35	$P_{2-4}=0,0369$
	69,9	57,8	58,1	61,2	54,7	39,6	5,92	$P_{2-6}=0,0149$
Высокая (>45 б.)	59,9-78,3	47,1-67,9	47,9-67,6	51,3-70,3	43,4-65,4	30,6- 49,4	4,13	$P_{1-5}=0,0421$
	10,7	26,5	35,5	32,6	40,0		3,93	$P_{1-5}=0,0474$
	6,0-18,7	18,2-36,9	26,5-45,6	24,2-42,5	29,6-51,3		7,32	$P_{1-2}=0,0068$
						55,4	16,00	$P_{1-3}=0,0001$
						45,7-64,8	19,58	$P_{1-5}<0,001$
							15,62	$P_{2-6}=0,0001$
Шкала « Личностная тревожность»								$P_{5-6}=0,0427$
Низкая (<306 .)	16,1	6,0	4,3	-	5,3	-	4,45	$P_{1-2}=0,0350$
	10,0-24,9	2,7-13,3	1,7-10,5		2,2-12,9		7,09	$P_{1-3}=0,0077$
							4,82	$P_{1-5}=0,0281$

Умеренная (30-45 б.)	64,5 54,4-73,5	67,5 56,8-76,6	60,2 50,0-69,6	42,9 33,5-52,8	58,7 47,3-69,3	31,7 23,4-41,3	38,95 10,96 5,75 12,23	$P_{2-4}=0,0009$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{2-6}=0,0164$ $P_{3-4}=0,0004$
Высокая (>45 б.)	19,3 12,6-28,6	39,8 29,9-50,5	35,5 26,5-45,6	57,1 47,2-66,5	36,0 26,0-47,3	68,3 58,7-76,7	8,87 5,87 5,43 15,04 9,00 18,13	$P_{1-2}=0,0029$ $P_{1-5}=0,0154$ $P_{2-4}=0,0198$ $P_{2-6}=0,0001$ $P_{3-4}=0,0027$ $P_{3-6}<0,001$
Подростки-хакасы г. Абакана, РХ								
	мальчики n=28	девочки n=42	мальчики n=46	девочки n=43	мальчики n=29	девочки n=51		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
Шкала «Ситуативная тревожность»								
Низкая (<30б.)	46,4 29,4-64,3	33,3 21,0-48,5	10,9 4,8-23,1	18,9 6,6-27,3	-	-	11,96 4,44	$P_{1-3}=0,0005$ $P_{1-3}=0,0352$
Умеренная (30-45 б.)	39,3 23,5-57,7	42,5 31,2-60,1	60,9 46,4-73,6	28,2 24,3-52,2	44,8 28,3-62,6	33,3 22,0-47,1	4,98	$P_{3-4}=0,0257$
Высокая (>45 б.)	14,3 5,8-31,7	21,4 11,7-36,0	28,3 17,3-42,6	53,8 34,6-63,3	55,2 37,4-71,6	66,7 52,9-78,0	10,46 3,99 6,99 18,96	$P_{1-5}=0,0012$ $P_{1-3}=0,0459$ $P_{2-6}=0,0082$ $P_{2-6}<0,001$
Шкала «Личностная тревожность»								
Низкая (<30б.)	28,6 15,3-47,2	19,0 10,0-33,4	-	-	-	-		
Умеренная (30-45б.)	50,0 32,5-67,5	50,0 35,5-64,5	45,6 32,1-59,9	39,5 26,3-54,5	34,5 19,9-52,8	23,5 14,0-36,8	7,05	$P_{2-6}=0,0079$
Высокая (>45 б.)	21,4 10,3-39,7	30,9 19,1-46,1	50,0 36,1-63,9	55,8 41,0-69,6	58,6 40,6-74,5	70,6 56,9-81,3	5,96 8,19 5,34 14,52	$P_{1-3}=0,0146$ $P_{1-5}=0,0042$ $P_{2-4}=0,0208$ $P_{2-6}=0,0001$
Подростки-европеиды г. Абакана, РХ (n= 263)								
	мальчики n=56	девочки n=73	мальчики n=31	девочки n=46	мальчики n=26	девочки n=31		
	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]		
Шкала «Ситуативная тревожность»								
Низкая (<30б.)	33,9 22,9-47,1	45,2 34,3-56,6	12,9 5,3-29,0	13,0 6,2-25,7	-	-	4,54 13,25	$P_{1-3}=0,0332$ $P_{1-3}=0,0003$
Умеренная (30-45 б.)	51,8 39,0-64,4	47,9 36,8-59,2	48,4 31,9-65,3	50,0 36,1-63,9	42,3 25,5-61,2	41,9 26,4-59,3		
Высокая (>45 б.)	14,3 7,5-25,8	6,8 3,0-15,1	38,7 23,7-56,3	36,9 24,5-51,5	57,7 38,8-74,5	58,1 40,6-73,6	6,72 16,58 16,97 33,14	$P_{1-3}=0,0095$ $P_{1-5}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{2-6}<0,001$
Шкала «Личностная тревожность»								
Низкая (<30б.)	32,1 21,4-45,2	21,9 14,0-32,7	6,4 2,0-20,8	6,5 2,4-17,5	-	-	7,44 10,71	$P_{1-3}=0,0064$ $P_{1-3}=0,0256$
Умеренная (30-45 б.)	53,6 40,6-66,0	57,5 46,1-68,2	58,1 40,6-73,6	39,1 26,4-53,6	46,2 36,3-59,7	38,7 23,7-56,3	3,82	$P_{2-4}=0,0506$
Высокая (>45 б.)	14,3 7,5-25,8	20,5 12,9-31,2	35,5 21,1-53,2	54,3 40,1-67,9	53,8 66,3-93,7	61,3 43,7-76,3	5,25 37,86 14,45 16,4	$P_{1-3}=0,0219$ $P_{1-5}<0,001$ $P_{2-4}=0,0001$ $P_{2-6}=0,0001$

Среди подростков г. Красноярска независимо от пола умеренная ситуативная тревожность регистрируется у преобладающего большинства подростков с различным уровнем алекситимии (39,6%-69,9%). Умеренная ситуативная тревожность у девочек с НПА фиксируется статистически значимо реже ($p=0,0474$) против мальчиков с НПА. Нарастание признаков алекситимии у подростков обоих полов г. Красноярска сопровождается статистически значимым убыванием низкой ситуативной тревожности в категории ГРА ($P=0,0087$; $P=0,0369$) и с НПА ($P=0,0074$; $P=0,0149$), и соответственно, ростом высокой ситуативной тревожности у мальчиков ГРА ($P=0,0001$) и с НПА ($P<0,0001$) и у девочек с НПА ($P=0,0001$) в сравнении с аналогичными группами испытуемых с ОПА. Обращает внимание факт исходно большей частоты высокой ситуативной тревожности у девочек с ОПА ($P=0,0068$) в сравнении с мальчиками этой же группы. Аналогичные гендерные различия выявляются по показателю высокой ситуативной тревожности у подростков с НПА ($P=0,0427$).

Умеренная личностная тревожность у красноярских подростков с учетом гендерной принадлежности находится в диапазоне 31,7%-67,5%. При этом мальчики-подростки независимо от уровня алекситимии демонстрируют стабильно высокую частоту умеренной личностной тревожности (54,7%-69,9%), в то время как у девочек-подростков регистрируется снижение частоты умеренной личностной тревожности по мере роста признаков алекситимии: в группе девочек ГРА ($p=0,0009$) и с НПА ($p=0,0001$) против девочек с ОПА. Примечательно, что девочки с разной степенью алекситимии чаще демонстрируют высокий уровень личностной тревожности в группах с ОПА ($P=0,0004$), ГРА ($P=0,0164$) и с НПА ($P=0,0031$) в сравнении с мальчиками их этих групп. Низкий уровень личностной тревожности чаще регистрируется в группе мальчиков с ОПА ($P=0,0350$).

Далее изучили фактор «тревожности» у подростков коренного населения РХ с алекситимией с учетом гендерной принадлежности. Умеренный уровень ситуативной тревожности среди девочек-хакасок регистрируется реже, имея статистически значимые различия в категории девочек-хакасок ГРА ($P=0,0257$) в сравнении с мальчиками-хакасами из этой группы. Низкий уровень ситуативной тревожности в группе подростков-хакасов с ОПА встречается довольно часто у мальчиков (46,4%; 12 человек) и девочек (33,3%; 13 человек), и частота его снижается у подростков ГРА: у мальчиков ($P=0,0352$) и у девочек ($P=0,0005$) в сравнении с аналогичными гендерными группами хакаских подростков с ОПА. Независимо от гендерной принадлежности частота высокой ситуативной тревожности у

подростков-хакасов возрастает с увеличением признаков алекситимии: у мальчиков-хакасов с НПА ($P < 0,001$) и у девочек-хакасов с НПА ($P = 0,0012$) в сравнении с аналогичными гендерными группами подростков с ОПА, а также в группе мальчиков-хакасов ГРА ($P = 0,0082$) в сопоставлении с мальчиками-хакасами с ОПА. Гендерные различия у подростков-хакасов по уровню ситуативной тревожности характеризуются ростом высокотреховых индивидов среди девочек-хакасов НПА ($P = 0,0459$) с сравнении с мальчиками-хакасами этой же группы.

Умеренная личностная тревожность у подростков-хакасов обоих полов в группах с разной степенью алекситимии регистрируется не реже чем у каждого третьего испытуемого (34,5%-50,0%). Исключение составляют девочки-хакаски с НПА (23,5%;), в группе которых зафиксированы статистически значимые различия ($P = 0,0079$) в сопоставлении с аналогичной группой хакаских девочек с ОПА. Низкий уровень личностной тревожности регистрируется у каждого пятого респондента в группе подростков-хакасов с ОПА (19,0-28,6%), в остальных анализируемых группах низкий уровень отмечается в единичных случаях и нами не учитывается. Динамика показателя высокой личностной тревожности у подростков-хакасов независимо от гендера сопровождается его увеличением по мере нарастания признаков алекситимией: среди подростков ГРА ($P = 0,0164$; $P = 0,0208$) и в группе с НПА ($P = 0,0042$; $P = 0,0001$) в сопоставлении с аналогичными группами подростков-хакасов с ОПА.

Затем фактор «тревожности» оценили у подростков-европеоидов РХ с учетом гендерной принадлежности. Умеренная ситуативная тревожность у подростков-европеоидов РХ сохраняется на относительно стабильном уровне в разных по степени алекситимии группах (41,9%-51,8%). Частота низкой ситуативной тревожности независимо от гендера убывает в группах подростков-европеоидов РХ с алекситимией: у подростков ГРА ($P = 0,0332$; $P = 0,0003$) в сравнении с подростками с ОПА. Изменения показателя высокой ситуативной тревожности у подростков-европеоидов РХ независимо от гендера характеризуются его ростом в группах с алекситимией: ГРА ($P = 0,0095$; $P < 0,001$) и в группе НПА ($P < 0,001$) в сопоставлении с ОПА. По шкале «личностная тревожность» подростки-европеоиды РХ демонстрируют относительно стабильный показатель умеренной личностной тревожности в своих группах (38,7%-54,7%). Частота низкой личностной тревожности независимо от гендера снижается у испытуемых ГРА ($P = 0,0064$; $P = 0,0256$). Наблюдается рост показателя высокой личностной тревожности у респондентов-европеоидов обоих полов РХ в ГРА ($P = 0,0219$; $P = 0,0001$) и в группе с НПА ($P < 0,001$; $P = 0,0001$).

Суммируя данные, следует отметить гендерные особенности фактора «тревожности» в подростковом возрасте. Независимо от этнической принадлежности девочки-подростки с алекситимией демонстрируют в 1,3-2,0 раза чаще высокий уровень ситуативной и личностной тревожности. Полученные результаты согласуются с данными других авторов, подчеркивающих гендерный характер различий в эмоциональной сфере [21].

Установлены региональные особенности фактора «тревожности» у подростков-европеоидов с алекситимией, проявляющиеся высокой ситуативной тревожностью преимущественно у мальчиков-европеоидов РХ с НПА (мальчики-европеоиды РХ с НПА: 57,7%; 15 чел., 95% ДИ 38,8-74,5 и мальчики-красноярцы с НПА 40,0%; 30 чел., 95% ДИ 29,6-51,3; $\chi^2=4,01$; $P=0,0478$). Согласно данным литературы уровень ситуативной тревожности у подростков зависит в большей степени от социально-бытовых факторов и условий воспитания [1, 3]. По всей видимости, подростки-европеоиды РХ (проживают в небольшом городе) реже сталкиваются с оценочными ситуациями и так называемая «тестовая тревожность» у них оказывается выше, что отражает в целом их ситуативную (оценочную) тревожность, нормальный уровень которой исходно оказался сниженным. На это указывает реже встречающийся умеренный уровень ситуативной тревожности в группе мальчиков-европеоидов РХ с ОПА в сравнении с аналогичной группой мальчиков-красноярцев (мальчики-европеоиды РХ с ОПА: 51,8%; 29 чел., 95% ДИ 39,0-64,4 и мальчики-красноярцы с ОПА 69,9%; 65 чел., 95% ДИ 59,9-78,3; $\chi^2=8,63$; $P=0,0033$).

Этнические особенности фактора «тревожности» у подростков с разным уровнем алекситимии характеризуются небольшой частотой умеренной (нормальной) ситуативной тревожности у подростков-хакасов, определяемые как среди хакаских мальчиков с ОПА (мальчики-хакасы с ОПА: 39,3%; 11 чел., 95% ДИ 23,5-57,7 и мальчики-европеоиды РХ с ОПА: 51,8%; 29 чел., 95% ДИ 39,0-64,4; $\chi^2=4,92$; $P=0,0265$), так и среди хакаских девочек в ГРА (девочки-хакаски ГРА: 28,2%; 12 чел., 95% ДИ 24,3-52,2 и девочки-европеоиды РХ ГРА: 50,0%; 23 чел., 95% ДИ 36,1-63,9; $\chi^2=4,55$; $P=0,0330$) в сопоставлении с аналогичными гендерными группами подростков-европеоидов РХ.

Выявлены положительные корреляционные связи показателя алекситимии с уровнем тревожности по шкале Ч.Д. Спилбергера у подростков г. Красноярска: нарастание признаков алекситимии сопровождается ростом ситуативной ($R=0,47$; $P<0,001$; для $N=543$) и личностной тревожности ($R=0,56$; $P<0,001$; для $N=543$). Аналогичные корреляционные взаимосвязи

установлены в группе подростков-хакасов PX: рост ситуативной ($R=0,42$; $P<0,001$; для $N=239$) и личностной тревожности ($R=0,34$; $P<0,001$; для $N=239$) с увеличением признаков алекситимии; а также у подростков-европеоидов PX: увеличение ситуативной ($R=0,49$; $P<0,001$; для $N=263$) и личностной тревожности ($R=0,47$; $P<0,001$; для $N=263$) при повышении признаков алекситимии.

Заключение

Таким образом, наиболее «уязвимыми» в плане формирования высоко-тревожной алекситимической личности среди подростков разных популяционных групп Сибири оказываются подростки-хакасы, а по гендерной принадлежности – девочки, по возрасту - старшие подростки.

Выявление среди практически здоровых подростков высокотревожных алекситимичных индивидов необходимо для своевременного проведения профилактических мероприятий психолого-педагогического и медицинского плана, что позволит снизить риск психосоматических нарушений и девиантного поведения у них.

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

Список литературы

1. Денисова Е.Г., Быкова Я.А. Исследование совладающего поведения и саморегуляции старших подростков в зависимости от уровня тревожности и алекситимии // Вопросы психического здоровья детей и подростков. 2023. № 1. Т. 23. С.47-56.
2. Justicia M.R., Saam M.C., Flamarique I. Subgrouping children and adolescents with disruptive behaviors: symptom profiles and the role of callous-unemotional traits // Eur Chil Adolesc. Psychiatry. 2022. Vol. 31, No. 1. P. 51-66. <https://doi.org/10.1007/s00787-020-01662-w>
3. Горобец Е.А., Есин Р.Г., Вольская Ю.А. Междисциплинарное изучение алекситимии // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Гуманит. науки. 2022. № 1–2. Т. 164. С. 180–196. <https://doi.org/10.26907/2541-7738.2022.1-2.180-196>
4. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения. М.: Книга по Требованию, 2021. Т. 1. 392 с.
5. Xu P., Opmeer E.M., van Tol M.J. Structure of the alexithymic brain: A parametric coordinate-based meta-analysis // Neurosci Biobehav Rev. 2018, Vol. 87. P. 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.01.004>

6. Сурова Т.С. К вопросу о диагностике вторичной алекситимии как последствия детской психотравмы: психологический феномен // *Universum: психология и образование*. 2022. № 1. Т. 91. С. 22-26. <https://doi.org/10.32743/UniPsy.2022.91.1.12903>
7. Бохан Т.Г. Этнопсихологические, гендерные и возрастные особенности совладающего поведения подростков и юношей разных национальностей Сибирского региона // *Сибирский психологический журнал*. 2005. №22. С. 71-78.
8. Кустова Ю.Г. Чувства и эмоции в хакасской семье // *Кунсткамера*. 2018. № 2. С.39-45. <https://doi.org/10.31250/2618-8619-2018-2-39-45>
9. Лушников О.Л. Монопрофильные территории Хакасии: социальное самочувствие населения // *Регионалистика*. 2020. №4. Т. 7. С. 53-61. <https://doi.org/10.14530/reg.2020.4.53>
10. Авдеева Н.Н., Мещерякова Б.Г., Зинченко В.П. Большой психологический словарь. М: АСТ, СПб: Прайм Евроникс, 2009. 811 с.
11. Шмелев А.Г. Психодиагностика личностных черт. СПб.: Речь, 2002. 480 с.
12. Москаленко О.Л., Пуликов А.С. Оценка уровня тревожности юношей в условиях санитарно-защитной зоны горно-химического комбината (ГХК) // *В мире научных открытий*. 2015. № 2(62). С. 108-125. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-2-7>
13. Zaitseva O., Klimatskaya L., Kolodyazhnaya T. et al. Features of the emotional status of schoolchildren with different profiles of the lateral phenotype // *Puls Uczelni*. 2014. Vol. 8, No. 2, P. 4-8.
14. Hawes M.T., Szenczy A.K., Klein D.N., Hajcak G., Nelson B.D. Increases in depression and anxiety symptoms in adolescents and young adults during the COVID-19 pandemic // *Psychol. Med.* 2022. Vol. 52, No. 14, P. 3222-3230. <https://doi.org/10.1017/S0033291720005358>
15. Roberts C. Impact and centrality of attention dysregulation on cognition, anxiety, and low mood in adolescents // *Sci Rep*. 2023, Vol. 13, No. 1. P. 9106. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34399-y>
16. Скрынникова Н.В. Личностная тревожность и ее проявление в младшем подростковом возрасте // *Педагогика: история, перспективы*. 2021. № 1. Т. 4. С. 134-142. <https://doi.org/10.17748/2686-9969-2021-4-1-134-142>
17. Li R., Kajanoja J., Karlsson L. et al. Sex-specific role of alexithymia in associations between parental bonding and mental health: A moderated mediation model // *J. Clin. Psychol.* 2023. Vol. 79, No. 1, P. 126-142. <https://doi.org/10.1002/jclp.23372>
18. Kano M., Mizuno T., Kawano Y. et al. Serotonin transporter gene promoter polymorphism and alexithymia // *Neuropsychobiol.* 2012. Vol. 65, No. 2. P. 76-82. <https://doi.org/10.1159/000329554>

19. Степанов В.А., Балановский О.П., Мельников А.В. Характеристика популяций Российской Федерации по панели пятнадцати локусов, используемых для ДНК-идентификации и в судебно-медицинской экспертизе // *Acta naturae*. 2011. № 2. Т. 9. С. 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2008.08.007>
20. Савостьянов А.Н., Наumenко В.С., Синяков Н.А., Львова М.Н., Левин Е.А., Залешин М.С., Кавай-оол У.Н. Взаимосвязь уровня тревожности с полиморфными вариантами гена серотонинового транспортера у русских и тувинцев // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2014. Т. 18. № 4-3. С. 1268-1280.
21. Прайзендорф Е.С. Половая идентичность девочек и мальчиков младшего подросткового возраста // *Педагогика и просвещение*. 2022. № 2. С. 116-133. <https://doi.org/10.7256/2454-0676.2022.2.35661>

References

1. Denisova E.G., Bykova Ja.A. Issledovanie sovladajushhego povedenija i samoreguljarii starshih podrostkov v zavisimosti ot urovnja trevozhnosti i aleksitimii [Study of coping behavior and self-regulation of older adolescents depending on the level of anxiety and alexithymia]. *Voprosy psicheskogo zdorov'ja detej i podrostkov*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 47-56.
2. Justicia M. R., Saam M.C., Flamarique I. Subgrouping children and adolescents with disruptive behaviors: symptom profiles and the role of callous-unemotional traits. *Eur Chil Adolesc. Psychiatry*, 2022, vol. 31, no. 1, pp. 51-66. <https://doi.org/10.1007/s00787-020-01662-w>
3. Gorobec E.A., Esin R.G., Vol'skaja Ju.A. Mezhdisciplinarnoe izuchenie aleksitimii [Interdisciplinary study of alexithymia]. *Uchen. zap. Kazan. unta. Ser. Gumanit. Nauki*, 2022, vol. 164, no. 1-2, pp. 180-196. <https://doi.org/10.26907/2541-7738.2022.1-2.180-196>
4. Leont'ev A. N. *Izbrannye psihologicheskie proizvedenija* [Selected psychological works]. M.: Kniga po Trebovaniju, 2021, vol. 1, 392 p.
5. Xu P., Opmeer E.M., van Tol M.J. Structure of the alexithymic brain: A parametric coordinate-based meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.*, 2018, vol. 87, pp. 50-55. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.01.004>
6. Surova T.S. K voprosu o diagnostike vtorichnoy aleksitimii kak posledstviya detskoy psikhotravmy: psikhologicheskij fenomen [On the issue of diagnosing secondary alexithymia as a consequence of childhood psychotrauma: a psychological phenomenon]. *Universum: psikhologiya i obrazovanie*, 2022, vol. 91, no. 1, pp. 22-26. <https://doi.org/10.32743/UniPsy.2022.91.1.12903>

7. Bokhan T.G., Galazhinskiy E.V., Meshcheryakova E.I. Etnopsikhologicheskie, gendernye i vozrastnye osobennosti sovladayushchego povedeniya podrostkov i yunoshey raznykh natsional'nostey Sibirskogo regiona [Ethnopsychological, gender and age features of coping behavior of adolescents and young men of different nationalities of the Siberian region]. *Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal*, 2005, no. 22, pp. 71-78.
8. Kustova Ju. G. Chuvstva i jemocii v hakasskoj sem'e [Feelings and emotions in a Khakass family]. *Kunstkamera*, 2018, no. 2, pp. 39-45. <https://doi.org/10.31250/2618-8619-2018-2-39-45>
9. Lushnikova O.L. Monoprofil'nye territorii Hakasii: social'noe samochuvstvie naselenija [Single-industry territories of Khakassia: social well-being of the population]. *Regionalistika*, 2020, vol. 7, no. 4, pp. 53-61. <https://doi.org/10.14530/reg.2020.4.53>
10. Avdeeva N. N., Meshherjakova B. G., Zinchenko V. P. *Bol'shoy psikhologicheskij slovar'* [Large psychological dictionary]. M: AST, SPb: Prajm Evroznak, 2009, 811 p.
11. Shmelev A.G. *Psichodiagnostika lichnostnyh chert* [Psychodiagnostics of personality traits]. SPb.: Rech Publ., 2002, 480 p.
12. Moskalenko O.L., Pulikov A.S. *Otsenka urovnya trevozhnosti yunoshey v usloviyakh sanitarno-zashchitnoy zony gorno-khimicheskogo kombinata (GKhK)* [Assessment of the level of anxiety of young men in the conditions of the sanitary protection zone of the mining and chemical plant (MCC)]. *V mire nauchnykh otkryti* [Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture], 2015, no. 2(62), pp. 108-125. <https://doi.org/10.12731/wsd-2015-2-7>
13. Zaitseva O., Klimatskaya L., Kolodyazhnaya T. et al. Features of the emotional status of schoolchildren with different profiles of the lateral phenotype. *Puls Uczelni*, 2014, no. 2, vol. 8, pp. 4-8.
14. Hawes M.T., Szenczy A.K., Klein D.N., Hajcak G., Nelson B.D. Increases in depression and anxiety symptoms in adolescents and young adults during the COVID-19 pandemic. *Psychol. Med.*, 2022, vol. 52, no. 14, pp. 3222-3230. <https://doi.org/10.1017/S0033291720005358>
15. Roberts C. Impact and centrality of attention dysregulation on cognition, anxiety, and low mood in adolescents. *Sci Rep.*, 2023, vol. 13, no. 1, p. 9106. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34399-y>
16. Skrynnikova N.V. Lichnostnaja trevozhnost' i ee pojavlenie v mladshem podrostkovom vozraste [Personal anxiety and its manifestation in early adolescence]. *Pedagogika: istorija, perspektivy*, 2021, vol. 4, pp. 134-142. <https://doi.org/10.17748/2686-9969-2021-4-1-134-142>

17. Li R., Kajanoja J., Karlsson L. et al. Sex-specific role of alexithymia in associations between parental bonding and mental health: A moderated mediation model. *J. Clin. Psychol.*, 2023, vol. 79, no. 1, pp. 126-142. <https://doi.org/10.1002/jclp.23372>
18. Kano M., Mizuno T., Kawano Y. et al. Serotonin transporter gene promoter polymorphism and alexithymia. *Neuropsychobiol.*, 2012, vol. 65, no. 2, pp. 76-82. <https://doi.org/10.1159/000329554>
19. Stepanov V.A., Balanovskiy O.P., Mel'nikov A. V. Kharakteristika populyatsiy Rossiyskoy Federatsii po paneli pyatnadsati lokusov, ispol'zuemykh dlya DNK-identifikatsii i v sudebno-meditsinskoy ekspertize [Characteristics of the populations of the Russian Federation according to a panel of fifteen loci used for DNA identification and forensic medical examination]. *Acta naturae*, 2011, vol. 9, no. 2, pp. 59-71. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2008.08.007>
20. Savost'janov A.N., Naumenko V.S., Sinjakov N.A., L'vova M.N., Levin E.A., Zaleshin M.S., Kavaj-ool U.N. Vzaimosvjaz' urovnja trevozhnosti s polimorfnyimi variantami gena serotoninovogo transportera u russkikh i tuvincev [The relationship between the level of anxiety and polymorphic variants of the serotonin transporter gene in Russians and Tuvans]. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*, 2014, vol. 18, no. 3-4, pp. 1268-1280.
21. Prajzendorf E.S. Polovaja identichnost' devochek i mal'chikov mladshego podrostkovogo vozrasta [Gender identity of girls and boys of early adolescence]. *Pedagogika i prosveshhenie*, 2022, no. 2, pp. 116-133. <https://doi.org/10.7256/2454-0676.2022.2.35661>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Зайцева Ольга Исаевна, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии ФИЦ КНЦ СО РАН
КНЦ СО РАН «НИИ МПС»
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
1081959@mail.ru

Колодяжная Татьяна Александровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клинической патофизиологии ФИЦ КНЦ СО РАН
КНЦ СО РАН «НИИ МПС»
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская Федерация
tat2360955@mail.ru

Зайцева Жанна Геннадьевна, младший научный сотрудник лаборатории
клинической патофизиологии ФИЦ КНЦ СО РАН
КНЦ СО РАН «НИИ МПС»
ул. Партизана Железняка, 3г, г. Красноярск, 660022, Российская
Федерация
89831549968@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Olga I. Zaitseva, Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher of the Laboratory of Clinical Pathophysiology of FRC KSC SB RAS
KSC SB RAS, Research Institute of Medical Problems of the North
3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
1081959@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7199-2308>

Tatyana A. Kolodyazhnaya, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Clinical Pathophysiology of FRC KSC SB RAS
KSC SB RAS, Research Institute of Medical Problems of the North
3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
tat2360955@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5695-4880>

Zhanna G. Zaitseva, Junior Researcher of the Laboratory of Clinical Pathophysiology of FRC KSC SB RAS
KSC SB RAS, Research Institute of Medical Problems of the North
3g, Partizan Zheleznyak Str., Krasnoyarsk, 660022, Russian Federation
89831549968@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6863-7014>

Поступила 16.02.2024

После рецензирования 04.03.2024

Принята 26.03.2024

Received 16.02.2024

Revised 04.03.2024

Accepted 26.03.2024

ОПЫТ РЕГИОНОВ

EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-877

УДК 339.564



Научная статья

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА
ЭКСПОРТА ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ АЛТАЙСКОГО КРАЯ****С.Н. Бочаров, М.М. Бутакова, О.Н. Соколова**

Изменения структуры поставок зерна в Европе, сложности с логистикой, а также инструменты санкционного давления существенно трансформировали механизмы функционирования глобальных продовольственных рынков. Как следствие, для регионов-экспортеров продовольствия возрастает значимость вопросов, связанных с исследованием структуры и динамики экспорта, а также оценкой перспектив отдельных видов продукции.

Цель. Предложить подход к оценке динамики и структуры экспорта Алтайского края применительно к продукции растительного происхождения на основе количественных методов. Информационную основу исследования составили данные по экспорту продукции растительного происхождения АПК Алтайского края за 2013 - 2020 гг.

Методы и материалы. Авторами предложено проведение комплексной оценки состояния экспорта по товарным группам и видам продукции, включающей расчет темпов роста, доли в объеме экспорта (ABC анализ) и коэффициента вариации (XYZ анализ по модифицированной методике) в динамике за ряд лет. Методика предусматривала последовательное углубление ABC анализа по лидирующим группам соответствующих совокупностей.

Результаты. По результатам ABC и модифицированного XYZ анализа проранжированы экспортные позиции продукции растительного происхождения Алтайского края, сделан вывод об узкой специализации экспорта и нестабильности его объемов.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс; продукция растительного происхождения; экспорт; ABC анализ; XYZ анализ

Для цитирования. Бочаров С.Н., Бутакова М.М., Соколова О.Н. Количественная оценка экспорта продукции растительного происхождения Алтайского края // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 437-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-877

Original article

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF EXPORTS OF PLANT PRODUCTS OF THE ALTAI REGION

S.N. Bocharov, M.M. Butakova, O.N. Sokolova

Changes in the structure of grain supplies in Europe, difficulties with logistics, as well as sanctions pressure instruments have significantly transformed the functioning mechanisms of global food markets. As a result, for food exporting regions the importance of issues related to the study of the structure and dynamics of exports, as well as assessing the prospects of certain types of products, is increasing.

Purpose. To propose an approach to assessing the dynamics and structure of exports of the Altai Territory in relation to products of plant origin based on quantitative methods. The information basis of the study was data on the export of plant products of the agro-industrial complex of the Altai Territory for 2013 - 2020.

Methods and materials. The authors proposed a comprehensive assessment of the state of exports by product groups and types of products, including the calculation of growth rates, shares in export volumes (ABC analysis) and the coefficient of variation (XYZ analysis using a modified method) over a number of years. The methodology provided for a consistent deepening of the ABC analysis for the leading groups of the relevant populations.

Results. Based on the results of ABC and modified XYZ analysis, the export positions of products of plant origin in the Altai Territory were ranked, and a conclusion was made about the narrow specialization of exports and the instability of its volumes.

Keywords: agro-industrial complex; products of plant origin; export; ABC analysis; XYZ analysis

For citation. Bocharov S.N., Butakova M.M., Sokolova O.N. Quantitative Assessment of Exports of Plant Products of the Altai Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 437-453. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-877

Введение

Актуальность темы исследования связана с необходимостью укрепления экспортных позиций агропромышленного комплекса Алтайского края в новых условиях развития мировой экономики. В качестве объекта анализа выбрана продукция растительного происхождения, занимающая доминирующее положение в структуре экспорта продукции АПК региона.

Проблемы экспорта достаточно широко освещаются в научной литературе. Потенциальные возможности и тенденции развития экспорта продукции АПК глубоко исследованы в большом количестве работ, среди которых можно выделить публикации Б.А. Воронина, И.П. Чупиной, Я.В. Ворониной [5], С.Г. Митина, С.Н. Серегина, Г.В. Сысоева [9], С.А. Поповой [12], А.Н. Ставцева, А.В. Алпатова, А.Н. Осипова [19], В. Плотникова и др. [25]. Авторы единодушны в оценке экспорта продукции АПК как одного из основных приоритетов российской аграрной политики на современном этапе. В своих работах они анализируют роль Российской Федерации на мировом агропродовольственном рынке, отмечают взаимосвязь развития экспортной деятельности и с развитием отечественного сельского хозяйства и АПК.

Возможности математического моделирования развития экспорта рассмотрены К.Г. Бородиным [2; 23], С.В. Киселевым, Р.А. Ромашкиным, А.Ю. Белугиной [7], предлагающими использование модели частичного равновесия для долгосрочного прогнозирования агропродовольственного экспорта и оценки взаимовлияния экспорта, импорта и внутренних продаж. Предлагаемая модель представляет научный интерес, однако, в условиях турбулентной экономики сложно ожидать корректных результатов от ее применения.

Методологические аспекты развития экспорта рассмотрены М.Е. Отиновой, Е.В. Сальниковой [10]: обобщены классические и современные теории внешней торговли, предложена разработка организационно-экономического механизма развития экспортно ориентированного агропродовольственного рынка, спецификой которого является создание равных возможностей всем субъектам рынка, включая малые и средние предприятия.

Рассматривая вопросы продвижения продукции АПК на мировые рынки, О.Ю. Воронкова, Л.И. Петрова, А.Ю. Межова [6], В.В. Рау [13], О.В. Святова, Д.А. Зюкин, И.В. Костерина, О.А. Овчинникова [16], А.Л. Севостьянов [17], М.О. Синеговский [26], О.В. Святова, Д.И. Жиликов, Ю.В. Плахутина [21], И.Д. Котляров [8] говорят о необходимости формирования новых механизмов, отвечающих условиям турбулентной экономики, среди

которых выделяют сетевое сотрудничество, информационное обеспечение и аналитическое сопровождение продвижения экспорта продукции АПК на международные рынки, развитие экспортной логистики.

Авторы данной статьи на протяжении ряда лет исследовали проблемы, перспективы и целевые рынки экспорта продукции АПК Алтайского края, уделяя основное внимание региональным аспектам экспортной деятельности [3; 4; 22; 24].

Проблемам экспорта продукции зернового производства как приоритетного направления экспорта продукции АПК посвящены исследования О.В. Сидоренко, С.А. Сергеева [18], А.В. Алпатова, А.Н. Осипова [15], О.В. Петрушиной [11], Д.И. Жиликова, В.Я. Башкатова, Ю.В. Плахутиной [1], которые оценивают состояние мировых рынков зерна, динамику и структуру зернового экспорта, его долгосрочные перспективы. Отмечая динамичность данного рынка, авторы акцентируют внимание на необходимости расширения экспортного ассортимента зерновой продукции за счет продуктов глубокой степени переработки.

Несмотря на многогранность и комплексность исследований по проблематике экспортной деятельности, недостаточно изученными остаются вопросы количественной оценки структуры и динамики экспорта товарных групп, необходимой для принятия обоснованных управленческих решений на уровне субъекта федерации.

Цель статьи – систематизация информации об экспорте растительной продукции региона, обоснование необходимости модификации применяемых методов количественной оценки динамики и структуры экспорта.

Конкретные задачи, решаемые в рамках исследования:

- анализ ситуации в сфере экспорта продукции растительного происхождения АПК Алтайского края;
- обоснование необходимости модификации XYZ анализа и содержания изменений в традиционной методике его проведения;
- ранжирование экспортных позиций продукции растительного происхождения Алтайского края по результатам ABC и модифицированного XYZ анализа.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ динамики, продуктовой и страновой структуры экспорта продукции АПК Алтайского края за 2013-2020 гг. Применен ABC и модифицированный XYZ анализ в разрезе экспортируемой продукции АПК Алтайского края с последовательным углублением ABC анализа по

лидирующим группам соответствующих совокупностей. Классический XYZ анализ корректно применять при стабильном развитии с незначительными разнонаправленными отклонениями от среднего уровня, т.е. когда временной ряд является стационарным. В случае явно выраженной направленной динамики такой анализ дает неверное представление о стабильности и предсказуемости исследуемой характеристики. На наш взгляд, подобную ситуацию логичнее оценивать отклонением не от средней величины за период, а от соответствующих теоретических значений тренда. В этой связи, начинать XYZ анализ следует с выявления типа движения исследуемой характеристики, выбора функции, дающей наиболее точное описание динамики, сложившейся в анализируемом периоде, и расчета параметров тренда.

Исследование выполнено на материалах официальной отечественной статистики, опубликованной на сайтах Федеральной службы государственной статистики, и баз данных ВЭД онлайн.

Результаты

В рамках данного исследования на основе доступной информации официальной статистики проанализирована динамика и структура экспорта продукции АПК Алтайского края за 2013-2020 гг. [20]. Расчеты показали, что за этот период доля продукции АПК - в экспорте региона возросла с 15,6% в 2013 г. до 33,5% в 2020 г., что в значительной степени является результатом целенаправленных действий по реализации регионального проекта «Экспорт продукции АПК Алтайского края», утвержденного в декабре 2018 г. В структуре экспорта продукции АПК наибольшую долю занимают продукты растительного происхождения: в 2013 г. – 41,5%, в 2020 г. – 66,8%, темпы роста которых значительно превышают средние по АПК. Данным обстоятельством обусловлен выбор продуктов растительного происхождения в качестве объекта ABC и XYZ анализа, результаты которых отражены в статье.

В таблице 1 представлены результаты ABC анализа объемов экспорта в 2013 г. и 2020 г. в стоимостном выражении продуктов растительного происхождения в целом. Данные таблицы 1 свидетельствуют о структурных изменениях в продуктах растительного происхождения, которые, прежде всего, отражают резкий рост экспорта продуктов групп 12: семена, зерно, лекарственные растения (в 16 раз), 10: злаки (6 раз), при менее заметных увеличениях объемов экспорта по всем остальным товарным группам. В результате в 2020 г. наибольший удельный вес в объеме экспорта продук-

тов растительного происхождения в стоимостном выражении занимали три товарные группы - семена, зерно, лекарственные растения; продукты из муки и круп; злаки.

Таблица 1.

Результаты АВС анализа по продуктам растительного происхождения

Код товарной группы	Наименование товарной группы	Объем экспорта, млн. долл. США	Накопленная доля, %	Группа
<i>2013 г.</i>				
11	продукты из муки и круп	34	62,86	А
12	семена, зерно, лекарственные растения	7,2	76,17	А
07	Овощи	6,4	88,01	В
10	Злаки	5,7	98,54	С
13	шеллак, смолы и прочие экстракты	0,487	99,45	С
06	живые деревья и растения	0,279	99,96	С
08	фрукты и орехи	0,021	100,00	С
	Итого продукты растительного происхождения	54,087		
<i>2020 г.</i>				
12	семена, зерно, лекарственные растения	116	54,52	А
11	продукты из муки и круп	41,9	74,21	А
10	Злаки	34,8	90,57	А
07	Овощи	13,3	96,82	С
08	фрукты и орехи	6,5	99,87	С
13	шеллак, смолы и прочие экстракты	0,18	99,96	С
06	живые деревья и растения	0,094	100,00	С
	Итого продукты растительного происхождения	212,774		

Источник: рассчитано авторами по данным Экспорт и импорт России по товарам и странам (<https://ru-stat.com/>)

Несмотря на достаточно широкую географию экспортных поставок, в ее структуре по основным товарным группам явно доминирует азиатское направление. Так, семена, зерно, лекарственные растения в 2020 г. в основ-

ном поставлялись в Китай (83,8%), Монголию (5,8%), Казахстан (5,6%); продукты из муки и круп – в Азербайджан (17,4%), Узбекистан (15,4%), Китай (10,8%); злаки - в Казахстан (32,7%), Монголию (15,8%), Киргизию (15,2%) [15]. В последующие годы тенденция сохраняется.

Проведен ABC анализ лидирующих групп с учетом сложившейся в 2020 г. специализации алтайского экспорта продукции растительного происхождения, выделены основные товарные позиции внутри каждой группы. В таблице 2 представлен фрагмент, содержащий информацию по группе А.

Таблица 2.

Результаты ABC анализа по лидирующим позициям продуктов растительного происхождения, 2020 г. (фрагмент)

Код товарной группы	Наименование товарной группы	Объем экспорта, млн. долл. США	Накопленная доля, %	Группа
<i>12 : семена, зерно, лекарственные растения</i>				
1205	семена рапса	55,1	47,59	А
1204	семена льна	28,4	72,12	А
1206	семена подсолнечника	16,5	86,37	А
<i>11 : продукты из муки и круп</i>				
1104	зерно злаков обработанное	32,7	78,06	А
<i>10 : злаки</i>				
1001	пшеница и меслин	20	57,40	А
1008	гречиха и др. злаки	10,4	87,25	А

Источник: рассчитано авторами по данным Экспорт и импорт России по товарам и странам (<https://ru-stat.com/>)

Метод ABC позволяет убедиться в достаточно узкой специализации алтайского экспорта продукции растительного происхождения. Данные анализа позволяют сделать вывод о том, что локомотивом алтайского экспорта продукции растительного происхождения является ограниченное количество позиций в товарных группах, каждая из которых отличается опережающими темпами роста в 2013-2020 гг. Из 12 экспортных позиций, относящихся к семенам, зерну и лекарственным растениям, лишь 3 входят в группу А; из 7 экспортных позиций, относящихся к продуктам из муки и круп – 1; из 8 экспортных позиций, относящихся к злакам – 2. Кроме того, наибольшее число товарных групп относятся к группе С и занимают менее 1 % в структуре экспорта, т.е. осуществляются по разовым сделкам, не являющимися регулярными.

Потенциальные возможности экспорта определяются объемами производства соответствующих видов продукции, которые устойчиво превышают внутренние потребности региона и позволяют занимать лидирующие позиции не только в производстве, но и в вывозе основных видов пищевых продуктов за пределы края. Например, согласно данным Федеральной службы государственной статистики, по валовому сбору зерна Алтайский край занимает 4-е место в Российской Федерации, по сбору семян подсолнечника – 9-е место. Также край занимает первое место среди субъектов РФ по вывозу муки и крупы, первое место среди субъектов РФ, входящих в состав Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, по вывозу растительных масел и сахара [14]. Для алтайских товаропроизводителей продукции на базе биоресурсов региона интерес представляют не только внутренние, но и внешние рынки. Вместе с тем, объемы экспорта определяются не столько потенциальными возможностями региона, сколько величиной спроса и уровнем конкуренции на мировых рынках анализируемой продукции. Поэтому динамика экспорта не коррелируется с динамикой производства и, как правило, является менее предсказуемой.

В этой связи интерес представляет оценка возможности прогнозирования объемов экспорта, в качестве инструмента которой может быть использован XYZ анализ. В рамках данного исследования расчет показателя вариации осуществлен по среднему абсолютному отклонению в процентах от линейного тренда.

Таблица 3.

Результаты XYZ анализа по лидирующим позициям группы продуктов растительного происхождения, Алтайский край, 2013-2020 гг.

Код товарной группы	Наименование товарной группы	Показатель вариации, %	Группа
12	<i>семена, зерно, лекарственные растения</i>	176,06	Z
1205	семена рапса	63,21	Z
1204	семена льна	190,40	Z
1206	семена подсолнечника	87,15	Z
11	<i>продукты из муки и круп</i>	11,47	Y
1104	зерно злаков обработанное	12,53	Y
10	<i>Злаки</i>	156,63	Z
1001	пшеница и меслин	156,23	Z
1008	гречиха и др. злаки	50,99	Z

Источник: рассчитано авторами по данным Экспорт и импорт России по товарам и странам (<https://ru-stat.com/>)

Результаты XYZ анализа по лидирующим позициям продукции растительного происхождения (таблица 3) показывают высокую степень вариации объемов экспорта в стоимостном выражении как по отдельным видам продукции, так и по каждой товарной группе. Лишь продукты из муки и круп и лидирующее в ней зерно злаков обработанное отнесены нами к группе Y, изменчивость объема экспорта которых не является критичной и сохраняет возможность разработки прогнозов.

Рост турбулентности мировой экономики в настоящее время позволяет предположить, что степень вариации объемов экспорта будет увеличиваться, что ориентирует сельхозпроизводителей на гибкую экспортную политику, разработку новых алгоритмов принятия оперативных управленческих решений, снижающих риски неопределенности.

Обсуждение

Алтайский край вносит существенный вклад в объемы российского экспорта продукции растительного происхождения. Проведенный анализ обозначил проблему выбора приоритетных позиций экспорта продукции растительного происхождения и создания условий для стабилизации связей со странами-импортерами. Присутствие алтайских экспортеров на мировом рынке продукции АПК определяется не только потенциальными возможностями производить продукцию в объемах, превышающих потребности локального рынка, но и высокой конкурентоспособностью выпускаемой продукции.

Результаты анализа убеждают в динамичном стремительном развитии алтайского экспорта продукции растительного происхождения, темпы роста которого в целом и по отдельными видам продукции показывают многократный рост. Это свидетельствует не только о благоприятной конъюнктуре мировых рынков, но и о результативности мер по стимулированию экспорта продукции АПК. Однако при оценке будущих тенденций следует учитывать закономерности цикличного развития рынков и возможное замедление темпов роста, обусловленное исчерпанием внутренних возможностей производства соответствующих видов продукции. Многократный рост объемов экспорта на протяжении анализируемого периода не может носить долговременный характер.

В то же время, анализируя структурные сдвиги в экспорте продукции растительного происхождения, можно отметить увеличение доли продукции нижних переделов (меньше муки и круп, больше зерна). Авторы полагают в дальнейшем оценить эффективность экспорта и возможности повышения доли в его структуре продукции глубокой переработки.

Для продукции растительного происхождения характерны существенные колебания объемов производства под влиянием природно-климатических факторов и объемов продаж вследствие изменчивости рыночного спроса. Годовые темпы роста объемов экспорта конкретных видов продукции не показательны для анализа. Поэтому представляется целесообразным проводить комплексную оценку состояния экспорта по товарным группам и видам продукции с учетом темпов роста, доли в объеме экспорта (ABC анализ) и коэффициента вариации (XYZ анализ по модифицированной методике, предложенной авторами) в динамике за ряд лет.

Заключение

В результате исследования установлено, что экспорт продукции растительного происхождения Алтайского края на протяжении исследуемого периода существенно увеличил свои объемы и изменил структуру.

При проведении комплексной оценки состояния экспорта по товарным группам и видам продукции, включающей расчет темпов роста, доли в объеме экспорта (ABC анализ) и коэффициента вариации (XYZ анализ по модифицированной методике) в динамике за 2013-2020 гг., авторами проанжированы экспортные позиции продукции растительного происхождения Алтайского края, сделан вывод об узкой специализации экспорта и нестабильности его объемов. ABC анализ показал, что в 2020 г. наибольший удельный вес в объеме экспорта продуктов растительного происхождения в стоимостном выражении занимали три товарные группы - семена, зерно, лекарственные растения; продукты из муки и круп; злаки. Локомотивом алтайского экспорта в этих товарных группах являются семена рапса, льна, подсолнечника, зерно злаков, пшеница и меслин, гречиха. XYZ анализ по лидирующим позициям продукции растительного происхождения показал высокую степень вариации объемов экспорта как по отдельным видам продукции, так и по каждой товарной группе. Лишь для продуктов из муки и круп и входящего в эту группу зерна злаков изменчивость объема экспорта не является критичной и сохраняется возможность разработки прогнозов.

Авторы пришли к выводу, что Алтайский край имеет перспективы сохранения и роста доли на международном зерновом рынке, но разработка точных количественных прогнозов на долгосрочную перспективу затруднена высокой турбулентностью мировой экономики.

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

Информация о спонсорстве. Статья написана по результатам исследования, выполняемого при финансовой поддержке исследований за счет средств федерального бюджета, тема «Алтайский вектор евразийской экономической интеграции: вызовы трансграничности, эффекты, стратегические задачи и приоритеты для Алтайского края» (FZMW-2023-0015).

Список литературы

1. Анализ состояния мирового рынка пшеницы и перспективы России по расширению экспортного потенциала / Д. И. Жилияков, В. Я. Башкатова, Ю. В. Плахутина [и др.] // Экономические науки. 2020. № 183. С. 38-43. <https://doi.org/10.14451/1.183.38>
2. Бородин К.Г. Экспорт, внутренние продажи и импорт: взаимосвязи на рынке страны-экспортера // Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика. 2023. № 3. С. 261-286. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-3-13>
3. Бутакова М.М., Соколова О.Н., Горянинская О.А. Качество продовольствия как фактор обеспечения конкурентоспособности продукции АПК на национальном и мировом рынках // Экономика. Профессия. Бизнес. 2021. № 2. С. 5-12. <https://doi.org/10.14258/epb202116>
4. Бутакова М.М., Соколова О.Н. Экспорт продукции Алтайского края как составляющая имиджа региона // Экономика. Профессия. Бизнес. 2022. № 2. С. 23-27. <https://doi.org/10.14258/epb202217>
5. Воронин Б. А., Чупина И. П., Воронина Я. В. Экспортно-ориентированное развитие российского сельского хозяйства и АПК // Аграрный вестник Урала. 2020. Специальный выпуск «Экономика». С. 2-9. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-13-2-9>
6. Воронкова О.Ю., Петрова Л.И., Межова А.Ю. и др. Управление цепями поставок органической продукции в продовольственной системе региона // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 3. С. 99-118. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-99-118>
7. Киселев С. В., Ромашкин Р. А., Белугин А. Ю. Агропродовольственный экспорт России до 2030 г.: прогноз на основе модели частичного равновесия // Журнал Новой экономической ассоциации. 2022. № 4 (56). С. 69–90. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-56-4-4>
8. Котляров И.Д. Развитие экспорта российской сельскохозяйственной продукции на основе сетевого сотрудничества в АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2018. № 2. С. 76-84. <https://doi.org/10.32651/2070-0288-2018-2-76-84>
9. Митин С.Г., Серегин С.Н., Сысоев Г.В. Экспорт продукции АПК: проблемы и основные ориентиры развития // Научные труды Вольного экономического общества России. 2019. Т. 219, № 5. С. 26-46.

10. Отинова М.Е., Сальникова Е.В. Теоретические и методологические аспекты развития экспортно ориентированного агропродовольственного рынка // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 6. С. 113-120.
11. Петрушина О. В. Экспортно-ориентированная стратегия зернового производства // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 90-97.
12. Попова С.А. Современная экономика сельского хозяйства: формирование нового облика // Вестник института мировых цивилизаций. 2020. Т. 11, № 2 (27). С. 117-127.
13. Рау В.В. Продовольственный экспорт: курс на восток // Проблемы прогнозирования. 2018. № 1 (166). С. 56-67.
14. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / М.: Росстат. 2022. 1122 с. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2022.pdf
15. Российский экспорт зерна и его инфраструктурное обеспечение / А. В. Алпатов, А. Н. Осипов, О. В. Сидоренко [и др.] // Экономика сельского хозяйства России. 2017. № 1. С. 18-25.
16. Святова О.В., Зюкин Д.А., Костерина И.В., Овчинникова О.А. Развитие экспортного потенциала сельскохозяйственного сырья и продовольствия Российской Федерации // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 181-186.
17. Севостьянов А.Л. Логистическая концепция экспорта и международной торговли продукции АПК // Вестник аграрной науки. 2021. № 2 (89). С. 160-166. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.2.160>
18. Сидоренко О. В., Сергеева С.А. Внешнеторговые позиции зернового рынка России // Вестник аграрной науки. 2020. № 6(87). С. 143-149. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.143>
19. Ставцев А.Н., Алпатов А.В., Осипов А.Н. Перспективы реализации экспортного потенциала АПК России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 9 (78). С. 21-27. <https://doi.org/10.33938/219-21>
20. Экспорт и импорт России по товарам и странам. URL: <https://ru-stat.com/> (дата обращения: 12.12.2023)
21. Экспорт как этап дальнейшей реализации политики импортозамещения / О. В. Святова, Д. И. Жилияков, Ю. В. Плахутина [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 5(383). С. 41-45. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-41-45>
22. Экспорт продукции АПК Алтайского края: перспективы, проблемы, целевые рынки: монография / под ред. С.Н. Бочарова, М.М. Бутаковой и др.

- Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2020. 244 с. <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/8733/read.7book?sequence=3&isAllowed=y>
23. Borodin K., Salnikov S. Development of sunflower oil exports in Russia and the EEU: main trends, prospects, and evaluations by the gravity model // *International Economic Journal*, 2018, vol. 32, no. 3, pp. 418-437. <https://doi.org/10.1080/10168737.2018.1520280>
 24. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
 25. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience) // *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41, no. 1-2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
 26. Sinegovskii M. O., Malashonok A. A., Sinegovskaya V. T. Assessment of the export potential of Russian soybeans. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, vol. 677, no. 2, e022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022025>

References

1. Analiz sostoyaniya mirovogo rynka pshenitsy i perspektivy Rossii po rasshireniyu eksportnogo potentsiala [Analysis of the state of the world wheat market and Russia's prospects for expanding export potential] / D.I. Zhilyakov, V.YA. Bashkatova, YU.V. Plakhutina [et al.]. *Ekonomicheskiye nauki* [Economic Sciences], 2020, no. 183, pp. 38-43. <https://doi.org/10.14451/1.183.38>
2. Borodin K.G. Eksport, vnutrenniye prodazhi i import: vzaimosvyazi na rynke strany-eksportera [Export, domestic sales and import: relationships in the market of the exporting country]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika* [Bulletin of Moscow University. Episode 6: Economics], 2023, no. 3, pp. 261-286. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-3-13>
3. Butakova M.M., Sokolova O.N., Goryaninskaya O.A. Kachestvo prodovol'stviya kak faktor obespecheniya konkurentosposobnosti produktsii APK na natsional'nom i mirovom rynkakh [Food quality as a factor in ensuring the competitiveness of agricultural products in the national and world markets]. *Ekonomika. Professiya. Biznes*, 2021, no. 2, pp. 5-12. <https://doi.org/10.14258/epb202116>
4. Butakova M.M., Sokolova O.N. Eksport produktsii Altayskogo kraya kak sostavlyayushchaya imidzha regiona [Export of products from the Altai Territory as a component of the region's image]. *Ekonomika. Professiya. Biznes* [Economy. Profession. Business], 2022, no. 2, pp. 23-27. <https://doi.org/10.14258/epb202217>

5. Voronin B. A., Chupina I. P., Voronina YA. V. Eksportno-oriyentirovannoye razvitiye rossiyskogo sel'skogo khozyaystva i APK [Export-oriented development of Russian agriculture and agro-industrial complex]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2020, Special issue "Economics", pp. 2-9. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-13-2-9>
6. Voronkova O.YU., Petrova L.I., Mezheva A.YU. i dr. Upravleniye tsepyami postavok organicheskoy produktsii v prodovol'stvennoy sisteme regiona [Organic supply chain management in the regional food system]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 3, pp. 99-118. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-3-99-118>
7. Kiselev S. V., Romashkin R. A., Belugin A. YU. Agroprodovol'stvennyy eksport Rossii do 2030 g.: prognoz na osnove modeli chastichnogo ravnovesiya [Agri-food exports of Russia until 2030: forecast based on a partial equilibrium model]. *Zhurnal Novoy ekonomicheskoy assotsiatsii* [Journal of the New Economic Association], 2022, no. 4 (56), pp. 69–90. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2022-56-4-4>
8. Kotlyarov I. D. Razvitiye eksporta rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy produktsii na osnove setevogo sotrudnichestva v APK [Development of export of Russian agricultural products based on network cooperation in the agro-industrial complex]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Agricultural Economics of Russia], 2018, no. 2, pp. 76-84. <https://doi.org/10.32651/2070-0288-2018-2-76-84>
9. Mitin S.G., Seregin S.N., Sysoyev G.V. Eksport produktsii APK: problemy i osnovnyye oriyentiry razvitiya [Export of agricultural products: problems and main development guidelines]. *Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii* [Scientific works of the Free Economic Society of Russia], 2019, vol. 219, no. 5, pp. 26-46.
10. Otinova M.E., Sal'nikova YE.V. Teoreticheskiye i metodologicheskiye aspekty razvitiya eksportno oriyentirovannogo agroprodovol'stvennogo rynka [Theoretical and methodological aspects of the development of an export-oriented agri-food market]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2019, no. 6, pp. 113-120.
11. Petrushina O.V. Eksportno-oriyentirovannaya strategiya zernovogo proizvodstva [Export-oriented strategy of grain production]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2021, no. 2, pp. 90-97.
12. Popova S.A. Sovremennaya ekonomika sel'skogo khozyaystva: formirovaniye novogo oblika [Modern agricultural economics: the formation of a new image]. *Vestnik instituta mirovykh tsivilizatsiy* [Bulletin of the Institute of World Civilizations], 2020, vol. 11, no. 2 (27), pp. 117-127.

13. Rau V.V. Prodovol'stvennyy eksport: kurs na vostok [Food exports: heading east]. *Problemy prognozirovaniya* [Forecasting problems], 2018, no. 1 (166), pp. 56-67.
14. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskiye pokazateli. 2022: Stat. sb.* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022: Stat. Sat.]. Moscow: Rosstat, 2022, 1122 p. https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Region_Pokaz_2022.pdf
15. Rossiyskiy eksport zerna i yego infrastrukturnoye obespecheniye [Russian grain exports and its infrastructure support] / A.V. Alpatov, A.N. Osipov, O.V. Sidorenko [et al.]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* [Russian Agricultural Economics], 2017, no. 1, pp. 18-25.
16. Svyatova O.V., Zyukin D.A., Kosterina I.V., Ovchinnikova O.A. Razvitiye eksportnogo potentsiala sel'skokhozyaystvennogo syr'ya i prodovol'stviya Rossiyskoy Federatsii [Development of the export potential of agricultural raw materials and food in the Russian Federation]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2019, no. 3, pp. 181-186.
17. Sevost'yanov A.L. Logisticheskaya kontseptsiya eksporta i mezhdunarodnoy trgovli produktsii APK [Logistics concept of export and international trade of agricultural products]. *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], 2021, no. 2 (89), pp. 160-166. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.2.160>
18. Sidorenko O. V., Sergeyeva S. A. Vneshnetorgov'yye pozitsii zernovogo rynka Rossii [Foreign trade positions of the Russian grain market]. *Vestnik agrarnoy nauki* [Bulletin of Agrarian Science], 2020, no. 6(87), pp. 143-149. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.6.143>
19. Stavtsev A.N., Alpatov A.V., Osipov A.N. Perspektivy realizatsii eksportnogo potentsiala APK Rossii [Prospects for realizing the export potential of the Russian agro-industrial complex]. *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* [Economics, labor, management in agriculture], 2021, no. 9 (78), pp. 21-27. <https://doi.org/10.33938/219-21>
20. *Eksport i import Rossii po tovaram i stranam* [Export and import of Russia by goods and countries]. URL: <https://ru-stat.com/>
21. Eksport kak etap dal'neyshey realizatsii politiki importozameshcheniya [Export as a stage in the further implementation of the import substitution policy] / O.V. Svyatova, D.I. Zhilyakov, YU.V. Plakhutina [et al.]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], 2021, no. 5(383), pp. 41-45. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-41-45>
22. *Eksport produktsii APK Altayskogo kraya: perspektivy, problemy, tselevyye rynki* : monografiya [Export of agricultural products of the Altai Territory: prospects, problems, target markets] / ed. S.N. Bocharov, M.M. Butakova et al. Bar-

- naul: AltSU Publ., 2020, 244 p. <http://elibrary.asu.ru/xmlui/bitstream/handle/asu/8733/read.7book?sequence=3&isAllowed=y>
23. Borodin K., Salnikov S. Development of sunflower oil exports in Russia and the EEU: main trends, prospects, and evaluations by the gravity model. *International Economic Journal*, 2018, vol. 32, no. 3, pp. 418-437. <https://doi.org/10.1080/10168737.2018.1520280>
24. Butakova M.M., Sokolova O.N., Churina L.I. Export of agro-industrial products of Russia: new opportunities and development problems. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 342-354. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-342-354>
25. Plotnikov V., Nikitin Y., Maramygin M., Ilyasov R. National food security under institutional challenges (Russian experience). *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41, no. 1-2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
26. Sinegovskii M. O., Malashonok A. A., Sinegovskaya V. T. Assessment of the export potential of Russian soybeans. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 677, no. 2, e022025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022025>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Бочаров Сергей Николаевич, д-р экон. наук, профессор, ректор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр-т Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
bocharov@mc.asu.ru

Бутакова Марина Михайловна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры менеджмента, организации бизнеса и инноваций
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр-т Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
marina.butakova.59@mail.ru

Соколова Ольга Николаевна, канд. экон. наук, профессор, профессор кафедры менеджмента, организации бизнеса и инноваций
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Алтайский государственный университет»
пр-т Ленина, 61, г. Барнаул, 656049, Российская Федерация
son-555@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey N. Bocharov, Dr. Ec. (Economics), Professor, Rector
*Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
bocharov@mc.asu.ru
SPIN-code: 8134-3512
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0707-813X>
ResearcherID: F-7858-2016
Scopus Author ID: 57205028663*

Marina M. Butakova, Ph.D. Sc. (Economics), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management, Business Organization and Innovation
*Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
marina.butakova.59@mail.ru
SPIN-code: 3912-6789
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6331-0258>
Scopus Author ID: 57200190174*

Olga N. Sokolova, Ph.D. Sc. (Economics), Professor, Professor of the Department of Management, Business Organization and Innovation
*Altai State University
61, Lenin Ave., Barnaul, 656049, Russian Federation
son-555@mail.ru
SPIN-code: 4458-1509
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8148-614X>*

Поступила 28.12.2023

После рецензирования 18.01.2024

Принята 26.01.2024

Received 28.12.2023

Revised 18.01.2024

Accepted 26.01.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1261

УДК 338.43:636.29



Научная статья

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ (НА ПРИМЕРЕ МАРАЛОВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ)

И.С. Абдуллаев, Р.Г. Ахмадеев, Д.Н. Аванесян, И.Ю. Ваславская

Обоснование. Мараловодство является одним из ключевых направлений развития животноводства в Республике Алтай. Уникальная территория региона позволяет обеспечить развитие мараловодческих хозяйств, однако для устойчивого развития территории необходима обоснованная стратегия развития отрасли мараловодства в Республике Алтай, в основу которой будут включены сценарии для формирования стратегических альтернатив развития мараловодческого комплекса региона.

Цель исследования. Целью исследования является разработка стратегии развития мараловодства Республики Алтай.

Материалы и методы. В ходе написания работы использовались такие методы исследования как: общенаучный метод анализа и синтеза, статистические методы, а также табличные методы.

Результаты. Разработана стратегия развития мараловодства Республики Алтай.

Заключение. В ходе исследования был выявлен ряд проблем, с которыми сталкиваются мараловодческие хозяйства региона. Рассмотрено стратегическое развитие мараловодства в региональном АПК как новая форма регионального управления. Были выделены стратегические направления развития мараловодства. Особый интерес представляет развитие мараловодства в симбиозе с развитием туристской отрасли, что способствует синергетическому эффекту. Также хорошие перспективы имеются у создания биофармацевтического кластера по производству продукта для российского рынка из пантов маралов, в том числе в комбинации с алтайским медом и лекарственными травами.

Ключевые слова: мараловодство; стратегия развития; панты; туризм; Республика Алтай

Для цитирования. Абдуллаев И.С., Ахмадеев Р.Г., Аванесян Д.Н., Ваславская И.Ю. Формирование стратегии развития животноводства на региональном уровне (на примере мараловодства Республики Алтай) // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №4. С. 454-474. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1261

Original article

FORMATION OF A STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF ANIMAL HUSBANDRY AT THE REGIONAL LEVEL (USING THE EXAMPLE OF MARAL BREEDING IN THE ALTAI REPUBLIC)

I.S. Abdullayev, R.G. Akhmadeev, D.N. Avanesian, I.Yu. Vaslavskaya

Background. Maral breeding is one of the key areas of animal husbandry development in the Altai Republic. The unique territory of the region allows for the development of maral farms, however, for the sustainable development of the territory, a sound strategy for the development of the maral breeding industry in the Altai Republic is needed, which will be based on scenarios for the formation of strategic alternatives for the development of the maral breeding complex in the region.

Purpose. The purpose of the study is to develop a strategy for the development of maral breeding in the Altai Republic.

Materials and methods. In the course of writing the work, such research methods were used as: the general scientific method of analysis and synthesis, statistical methods, as well as tabular methods.

Results. A strategy for the development of maral breeding in the Altai Republic has been developed.

Conclusion. The study identified a number of problems faced by maral farms in the region. The strategic development of maral breeding in the region is considered.

Keywords: maral breeding; development strategy; antlers; tourism; Altai Republic

For citation. Abdullayev I.S., Akhmadeev R.G., Avanesian D.N., Vaslavskaya I.Yu. Formation of a Strategy for the Development of Animal Husbandry at the Regional Level (using the Example of Maral Breeding in the Altai Republic). Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 454-474. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-1261

Введение

Мараловодство является одной из основных сфер хозяйственной деятельности Республики Алтай. В хозяйствах республики содержатся 78 % всех российских маралов. Консервированные панты маралов являются основным экспортным продуктом региона. Мараловодческий комплекс в сложные 1990-ые годы поддерживал экономику региона.

По состоянию на лето 2024 г. в хозяйствах региона лежит более половины прошлогоднего урожая неокостенелых рогов. Текущий кризис перепроизводства мараловоды связывают не столько с санкционной политикой, сколько с перегревом рынка в период пандемии и сговором среди скупщиков-импортеров. В 2023 году спрос на российские панты в Юго-Восточных странах резко упал, а вместе с ним резко снизились и цены. Если в 2022 году корейские импортеры покупали сырые панты по цене в среднем 400-500 долл. США за килограмм, то в 2023 году средняя цена составила 280-320 долларов США.

Объектом исследования является мараловодческий комплекс Республики Алтай. Предметом исследования выступает процесс формирования стратегии развития мараловодческого комплекса.

Цель исследования – разработка стратегии развития мараловодства Республики Алтай с учетом существующих проблем, препятствующих эффективному функционированию данной отрасли.

Методика исследования

В работе использовались общенаучный метод анализа и синтеза, статистические методы, а также табличные методы.

Результаты исследований

Горный Алтай – это уникальное место, которое объединило в себе неповторимые красоты культурно-исторических и природных памятников.

Традиционно в Республике Алтай основной отраслью специализации сельского хозяйства с учетом природно-климатических условий является животноводство, на долю которого приходится 87% от общего производства сельскохозяйственной продукции [1]. Одним из направлений животноводства в данном регионе активно развивается мараловодство. Мараловодство, как отрасль хозяйства, возникла в XIX веке в культуре старообрядцев [4].

В связи с тем, что благородные олени – маралы – содержатся в полудиких условиях, для их содержания требуются большие по площади огороженные парки. Территориальные факторы, необходимые для мара-

ловодства, прежде всего включают природные ресурсы Горного Алтая, которые находятся в основном на гористой территории, а так как маралы – дикие животные, их держат в тайге. В горах региона распространено свыше 20 основных типов почв. Флора состоит более чем из 2500 видов, из них 200 видов растений встречаются только в горах Алтая. Многие из представленных видов растений являются лекарственными: около 100 видов используются в фармацевтической промышленности [6; 7]. Горная территория позволяет маралам питаться разнообразными травами.

Однако, помимо территориальных факторов, развитию мараловодства Республики Алтай способствуют административные факторы.

Республика Алтай помогает в развитии мараловодческих хозяйств, вводя различные государственные программы для поддержки регионального АПК. Регулированием развития мараловодства занимается Министерство сельского хозяйства Республики Алтай.

Следует отметить, что в отрасли мараловодства Республики Алтай практически отсутствуют маркетинговые коммуникации ввиду того, что большая часть России не знает о лечебных свойствах пантов маралов, соответственно, совокупный спрос на внутреннем рынке Российской Федерации находится на низком уровне. Это ведет к высокой значимости экспортных поставок для эффективного функционирования отрасли. Однако для того, чтобы организовать экспорт пантовой продукции за границу, надо консервировать панты маралов, а в Республике Алтай отсутствует необходимый уровень технического потенциала.

Сделать мараловодство более эффективным и даже прибыльным необходимо за счёт развития туризма в Республике Алтай. Большинство мараловодческих хозяйств уже занимаются и сельским туризмом, что позволяет им компенсировать возросшие расходы. Помимо пантовых ванн туристам предлагают прогулки на лошадях, экскурсии на маральник, подъём по р. Белухе, рыбалку на озёрах, баню, летние и зимние виды спорта.

Республика Алтай обладает туристско-рекреационным потенциалом, благодаря которому развиваются лечебные санатории, где практикуются пантовые ванны. Развитие туризма также оказывает положительное влияние на развитие мараловодства в Республике Алтай, так как продукция данного комплекса пользуется высоким спросом у туристов.

Кроме того, необходимо развивать биофармацевтическое производство с использованием пантовых составляющих.

Несмотря на то, что Республика Алтай является уникальной территорией, где сохранилось и развивается пантовое мараловодство (поголовье

маралов составляет более 57 тыс. голов), в регионе практически отсутствует глубокая переработка сырья, что не позволяет получать высокую добавленную стоимость от пантового мараловодства [8].

Представим данные развития мараловодства в Республике Алтай с помощью таблицы 1.

Таблица 1.

Динамика развития мараловодства в Республике Алтай в 2020-2022 гг.

Показатели	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Абсолютное отклонение		Темп прироста, %	
				2021-2020 гг.	2022-2021 гг.	2021-2020 гг.	2022-2021 гг.
1. Численность оленеводческих хозяйств, ед.	76	76	76	-	-	-	-
2. Численность голов оленей, голов	57568	57259	57878	-309	+619	-3,87	+1,08
3. Нарезано сырых пантов, кг	115825	124730	129200	+8905	+4470	+7,69	+3,58
4. Консервированные панты, кг	38462,93	41158,7	44044	+2695,77	+2885,3	+7	7

Источник: составлено авторами на основе [9]

Следует отметить, что в Республике Алтай мараловодством в 2020 г. занимались 76 хозяйств с общим поголовьем 57568 голов. При этом количество хозяйств занимающихся разведением маралов составило: сельскохозяйственные организации (СХО) – 43,9 тыс. гол. и крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ) – 13,3 тыс. гол. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Динамика голов маралов в Республике Алтай по СХО и КФХ за 2020-2021 гг.

Регион	Олени-маралы, голов					
	Сельскохозяйственные и прочие организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	Хозяйства всех категорий в 2021 г.	Справочно: Хозяйства всех категорий в 2020 г.	2021 в % к 2020
Республика Алтай	43918	9	13332	57259	57568	99,46

Источник: составлено авторами на основе [9]

Данные таблицы 2 показывают, что в 2021 г. по сравнению с 2020 г. численность голов маралов сократилась, в связи с чем темп роста составил 99,46 %. Исследуем, как снижение поголовья маралов в регионе отразилось на объеме произведенной консервированной пантовой продукции.

Следует отметить, что мараловодческие хозяйства Республики Алтай ежегодно производят сырые и консервированные панты. Систематизируем данные о динамике производства пантов в Республике Алтай в 2020-2021 гг. с помощью данных таблицы 3.

Таблица 3.

Панты оленей-маралов (сырые и консервированные за 2021 г.)

Панты оленей-маралов (сырые), кг					
Сельскохозяйственные и прочие организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	Хозяйства всех категорий	Справочно хозяйства всех категорий 2020 г.	2021 в % к 2020
89391,2	7,5	35331,3	124730	115825	107,7
Панты оленей-маралов (консервированные), кг					
Сельскохозяйственные и прочие организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	Хозяйства всех категорий в 2021 г.	Справочно: Хозяйства всех категорий в 2020 г.	2021 в % к 2020
30681	2,6	10475,1	41158,7	38462,9	107

Источник: составлено авторами на основе [9]

Таблица 4.

Динамика поголовья маралов в Республике Алтай по СХО и КФХ за 2021-2022 гг.

Олени-маралы, голов					
Сельскохозяйственные и прочие организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	Хозяйства всех категорий в 2022 г.	Справочно: хозяйства всех категорий в 2021 г.	2022 в % к 2021
44520	12	13346	57878	57259	101,1

Источник: составлено авторами на основе [9]

В 2022 г. в Республике Алтай разведением маралов занимались 76 хозяйств различных форм собственности с общим поголовьем 57878 голов. При этом количество хозяйств занимающихся разведением маралов со-

ставило: СХО – 43,9 тыс. голов и КФХ – 13,3 тыс. голов. Проанализируем полученные данные с помощью таблицы 4.

Данные таблицы 4 показывают, что в 2022 г. по сравнению с 2021 г. численность голов маралов возросла, в связи с чем темп роста составил 101,1%. Исследуем, как повышение поголовья маралов в регионе отразилось на динамике объема произведенной консервированной пантовой продукции.

Следует отметить, что мараловодческие хозяйства Республики Алтай ежегодно производят сырые и консервированные панты. Систематизируем данные о динамике производства пантов в Республике Алтай в 2020-2021 гг. с помощью данных таблицы 5.

Таблица 5.

Панты оленей-маралов (сырые и консервированные за 2022 г.)

	Сельско-хозяйственные и прочие организации	Хозяйства населения	Крестьянские (фермерские) хозяйства и индивидуальные предприниматели	Хозяйства всех категорий в 2022 г.	Справочно хозяйства всех категорий 2021 г.	2022 в % к 2021
Панты оленей-маралов (сырые), кг	93858,2	10,5	35331,3	129200	124730	103,6
Панты оленей-маралов (консервированные), кг	33368,1	3,6	10675,9	44044	41158,7	107

Источник: составлено авторами на основе [9]

Данные таблицы 5 показывают, что в 2022 г. по сравнению с 2021 г. объем срезанных сырых пантов маралов в Республике Алтай увеличился на 3,6 % преимущественно за счет работы сельскохозяйственных организаций. При этом объем производства консервированных пантов возрос на 7 %. Далее исследуем динамику поголовья маралов в таблице 6.

Данные таблицы 6 показывают, что в 2022 г. наибольший прирост поголовья маралов наблюдалось в Усть-Коксинском и Усть-Канском районах Республики Алтай, а снижение численности маралов на 43 головы было отмечено только в Онгудайском районе.

Далее исследуем динамику структуры поголовья маралов в Республике Алтай по районам в 2020-2022 гг. с помощью таблицы 7.

Таблица 6.

**Динамика поголовья маралов в Республике Алтай по районам
в 2020-2022 гг. (голов)**

Район	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Абсолютное отклонение		Темп прироста, %	
				2021- 2020 гг.	2022- 2021 гг.	2021- 2020 гг.	2022- 2021 гг.
Кош-Агачский	25	24	31	-1	+6	-4	+29,17
Майминский	2660	2082	2116	-578	+34	-21,73	+1,63
Онгудайский	11517	11551	11508	+34	-43	+0,3	-0,37
Турочакский	0	0	0	-	-	-	-
Улаганский	18	19	26	+1	+7	+5,56	+36,84
Усть-Канский	8874	9044	9145	+170	+101	+19,16	+1,12
Усть-Коксинский	25181	25119	25590	-62	+471	-0,25	+1,88
Чемальский	2037	2140	2144	+103	+4	+5,06	+0,19
Чойский	10	10	12	-	+2	-	+20
Шебалинский	7271	7294	7306	+23	+12	+0,32	+0,17
Республика Алтай всего:	57568	57259	57878	-309	+619	-3,87	+1,08

Источник: составлено авторами на основе [9]

Таблица 7.

**Динамика поголовья маралов в Республике Алтай по районам
в 2020-2022 гг., %**

Район Республики Алтай	2020 г., голов	2021 г., голов	2022 г., голов	Удельный вес, %			Изменение, %	
				2020 г.	2021 г.	2022 г.	2021- 2020 гг.	2022- 2021 гг.
Кош-Агачский	25	24	31	0,04	0,04	0,05	-	+0,01
Майминский	2660	2082	2116	4,62	3,64	3,66	-0,98	+0,02
Онгудайский	11517	11551	11508	20	20,17	19,88	+0,17	-0,29
Турочакский	0	0	0	0	0	0	-	-
Улаганский	18	19	26	0,03	0,03	0,04	-	+0,01
Усть-Канский	8874	9044	9145	15,41	16,79	15,8	+1,38	-0,99
Усть-Коксинский	25181	25119	25590	43,74	43,87	44,21	+0,13	+0,34
Чемальский	2037	2140	2144	3,54	3,74	3,7	+0,2	-0,04
Чойский	10	10	12	0,02	0,02	0,02	-	-
Шебалинский	7271	7294	7306	12,6	11,7	12,62	-0,9	+0,92
Республика Алтай всего:	57568	57259	57878	100	100	100	-	-

Источник: составлено авторами на основе [9]

Данные таблицы 7 показывают, что в 2020 г. наибольший удельный вес в структуре поголовья маралов в Республике Алтай по районам занимал Усть-Коксинский район, в котором было выявлено 25181 голов маралов. При этом в Турочакском районе в 2020 г. поголовья маралов зафиксировано не было. Кроме того, незначительное количество маралов выявлено в Чойском, Улаганском и Кош-Агачском районах.

Следует отметить, что лечебные свойства различных настоек и ванн на основе вываренных пантов особенно ценят в Японии, Китае и Корее. Именно туда уходит 70 % продукции. При этом продукция мараловодства в самой России высокого спроса не имеет.

В 1990-х годах рентабельность мараловодства составляла 700-800 %. За счет мараловодства выжили другие подотрасли сельского хозяйства региона. Но в 2000-х ситуация изменилась, из-за общего мирового кризиса цена стала расти очень медленно, в то время как затраты в результате инфляционных процессов возросли существенно. В результате рентабельность мараловодства упала до 10-15 %.

Текущий кризис перепроизводства мараловоды связывают не только с санкционной политикой, сколько с перегревом рынка в период пандемии и сговором среди скупщиков-импортеров. В 2023 году спрос на российские панты в Юго-Восточных странах резко упал, а вместе с ним резко снизились и цены. Если в 2022 году корейские импортеры покупали сырые панты по цене в среднем 400-500 долларов США за килограмм, то в 2023 году средняя цена составила 280-320 долларов США.

Несмотря на все достижения отрасли мараловодства, текущая ситуация выявила большое количество проблем. Для перспективного и независимого развития мараловодства в Республике Алтай необходимо, прежде всего, расширять государственную поддержку мараловодства в данном регионе несмотря на то, что в настоящее время действуют несколько государственных программ, закрепляющих меры поддержки.

Проект ориентирован на развитие туризма в сельской местности, в том числе в целях организации объектов туристского показа и объектов, используемых для приема туристов.

Итак, в настоящее время на 01.01.2024 г. мараловодство в Республике Алтай представлено Алтае-Саянской породой. Племенное поголовье сосредоточено в восьми хозяйствах, в том числе в пяти племенных заводах, трех племенных репродукторах с общим поголовьем 19 389 головы (34 % удельный вес к общему поголовью маралов).

Комплексный анализ показал наличие потенциала стратегического развития мараловодства на территории Республики Алтай. Сдерживаю-

щим фактором выступает высокая ориентированность сбыта на рынки Юго-Восточной Азии, также большую роль играют уровень информированности российских покупателей и платежеспособный спрос, что определяет их потребительское поведение. Развитие мараловодства в симбиозе с развитием туристской отрасли способствует синергетическому эффекту, перекрестному развитию двух отраслей экономики региона, что позволит увеличить уровень жизни в регионе. Также хорошие перспективы имеются у создания биофармацевтического кластера по производству продукта для российского рынка из пантов маралов, в том числе в комбинации с алтайским медом и лекарственными травами.

Таким образом, для детального представления модели развития мараловодства в Республике Алтай необходимо установить долгосрочные цели, задачи, миссию, политику и стратегию с учетом имеющихся сильных и слабых сторон данного комплекса.

Целью стратегического развития мараловодства Республики Алтай является обеспечение его устойчивого функционирования.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: повысить продуктивность маралов, увеличить эффективность использования пантовой продуктивности, привлечь дополнительные внебюджетные инвестиции [11].

Для того, чтобы достичь обозначенные цели и решить поставленные задачи, следует выбрать сценарий развития мараловодства Республики Алтай.

Продукция мараловодства в Республике Алтай широко используется по следующим направлениям: туризм, косметическая отрасль, пищевая промышленность, в связи с чем можно выделить основные стратегические направления развития регионального мараловодческого комплекса:

1. Увеличение поголовья маралов в Республике Алтай путем повышения государственной поддержки отрасли.

Данные таблицы 8 показывают, что в 2024-2028 гг. планируется увеличение численности оленеводческих хозяйств, продукция которых пользуется спросом покупателей. Мотивацию к увеличению поголовья маралов в Республике Алтай может создать государственная поддержка [16].

За счет внебюджетных источников (фонда по поддержке малого предпринимательства) предлагается осуществлять инвестиционные проекты по наращиванию мощности перерабатывающих предприятий с целью увеличения объема производства в Республике Алтай продукции пантового оленеводства, а также созданию сертифицированных центров пантолечения.

Таблица 8.

**Плановые показатели мараловодческой отрасли Республики Алтай
и ее государственной поддержки на 2024-2028 гг.**

Показатели	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.
1. Численность оленеводческих хозяйств, ед.	77	79	82	85	90
2. Численность голов оленей, голов	58639	60161	62444	64727	68532
3. Нарезано сырых пантов, кг	130765	134159	139250	144341	152826
4. Консервированные панты, кг	44460,1	45614	47345	49075,94	51960,84
5. Объем государственной поддержки, тыс. руб.	40000	44000	46200	48510	52935,5
6. Величина государственной поддержки на 1 голову марала, руб.	682,14	731,14	739,86	749,46	772,42

Источник: составлено авторами на основе [9]

2. Применение инновационного способа консервации пантовой продукции.

Для транспортировки пантового сырья рекомендуется применять мобильные автоматизированные модули, состоящие из сушильной камеры, предназначенной для термической и «ветровой» обработки сырья, помещения оператора, в котором размещено оборудование для управления режимами консервации, и блоков хранения сырья и складирования готовой продукции.

3. Выход на новые рынки сбыта продукции мараловодства.

Как известно, в декабре 2022 г., Глава Республики Алтай принял участие в российско-индийском бизнес-форуме, проходящем в Москве, где обсуждалось взаимовыгодное сотрудничество, в том числе по сбыту продукции мараловодства. У Индии Республика Алтай готова закупать чай, кофе, какао, товары IT-отрасли [2].

Кроме того, в Индию можно продавать панты и сухие рога марала, биофармацевтическую продукцию из пантового сырья.

Также в рамках расширения рынка сбыта пантовой продукции мараловодства предлагается наладить продажи в Белоруссию. Как известно, Республика Алтай подписала план сотрудничества с Республикой Беларусь до 2025 года [3]. Документ закрепляет главные направления сотрудничества в торгово-экономической, научно-технической и социально-культурной сферах.

Основной объем получаемых в регионе консервированных пантов (около 90%) отправляется на экспорт в Республику Корея, где в дальнейшем осуществляется их переработка.

Составим план реализации продукции мараловодства Республики Алтай на экспорт с помощью таблицы 9.

Данные плана реализации продукции мараловодства Республики Алтай на экспорт на 2024-2028 гг. показывают, что планируется ежегодный рост объемов сбыта продукции мараловодства из региона на экспорт в различные страны, в том числе в Индию и Белоруссия.

Таблица 9.

**План реализации продукции мараловодства Республики Алтай
на экспорт на 2024-2028 гг.**

Показатели	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	2028 г.
1. Плановый объем экспорта пантов марала консервированные, кг	40014	41052,6	42610,5	44168,35	46764,76
2. Плановый экспорт консервированных пантов в Республику Корея, кг (72 %)	28810,08	29557,872	30679,56	31801,212	33670,63
3. Плановый экспорт консервированных пантов в Китай, кг (10 %)	4001,4	4105,26	4261,05	4416,835	4676,476
4. Плановый экспорт консервированных пантов в Гонконг, кг (4 %)	1600,56	1642,104	1704,42	1766,734	1870,59
5. Плановый экспорт консервированных пантов во Вьетнам, кг (3 %)	1200,42	1231,578	1278,315	1325,05	1402,94
6. Плановый экспорт консервированных пантов в Индию, кг (8 %)	3201,12	3284,21	3408,84	3533,468	3741,18
7. Плановый экспорт консервированных пантов в Беларусь, кг (2 %)	800,28	821,052	852,21	883,367	935,3
8. Плановый экспорт консервированных пантов в другие государства, кг (1 %)	400,14	410,526	426,105	441,6835	467,6476

Источник: составлено авторами на основе [9]

4. Создание биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай «ПантАлтай».

В рамках формирования биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай необходимо создать инновационное пред-

приятие, выпускающее конкурентоспособную продукцию глубокой переработки пантов на российском и международном рынках БАД.

В ассортимент предлагается включить:

- 1) пантогематоген;
- 2) порошок из пантов марала, готовый для извлечения пептидов;
- 3) витаминные капсулы «Пантовитал плюс»;
- 4) лечебные и профилактические гели;
- 5) панто-медовую суспензию;
- 6) пантовые бальзамы.

Доля перерабатываемого сырья (панты марала), выращенного в Республике Алтай, составит около 80 %.

Предлагается осуществить строительство и ввод в эксплуатацию трех производственных участков: участок получения сырья на базе трех мараловодческих хозяйств СПК «Нижне-Уймонский», СПК «Абайский» и ООО «Ревитал» в Усть-Коксинском районе; цех подготовки сырья село Усть-Кокса, цех готовых форм в Майминском районе. Таким образом, в соответствии с текущими тенденциями развития сельского хозяйства, предлагается использовать мягкую (кластерную) модель кооперации сельхозпроизводителей для повышения эффективности их деятельности [12; 14].

Составим годовой производственный план предприятия биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай с помощью табл. 10.

Таблица 10.

Годовой производственный план предприятия биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай

Название	Ед. изм.	Плановое количество	Цена за ед., руб.	Плановая выручка, тыс. руб.
1. Пантогематоген	уп.	120000	500	60000
2. Порошок пантов марала	уп.	60000	700	42000
3. Пантовитал плюс	уп.	30000	1500	45000
4. Лечебные и профилактические гели	литр	18000	1000	18000
5. Панто-медовая суспензия	тонн	10	4000	40000
6. Пантовый бальзам	литр	10000	1000	10000
Итого:				215000

Источник: составлено авторами на основе [9]

Проведенные расчеты показали, что создание производственных мощностей по производству продукции мараловодства в форме капсул, гелей

субстанции порошка и др., позволит получить плановую выручку в размере 215000 тыс. руб.

Однако открытие предприятия биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай будет связано необходимостью финансирования проекта (см. табл. 11).

Таблица 11.

Потребность в финансировании проекта, тыс. руб.

Наименование этапа	2024 г.	2025 г.	2026 г.	2027 г.	Всего
1. Прединвестиционная стадия проекта (отвод земель, проектно-изыскательная деятельность, заключение инвестиционных соглашений)	12870				12870
2. Инвестиционная стадия проекта		792600	687600		1480300
3. Эксплуатационная стадия проекта				27300	27300
Итого:	12870	792600	687600	27300	1520470

Источник: составлено авторами на основе [9]

Данные таблицы 12 показывают, что для открытия предприятия биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай необходимы финансовые ресурсы в размере 1520470 тыс. руб.

Таблица 12.

Требуемые ресурсы для реализации проекта

Наименование ресурса	Ед. изм.	Количество
1. Финансовые ресурсы	тыс. руб.	1520470
2. Земельные ресурсы	га	5
3. Трудовые ресурсы	чел.	70
4. Панты сухие концентрированные	тонн	40,2
5. Энергетические ресурсы	кВт	1160

Источник: составлено авторами на основе [9]

Таким образом, для реализации создания биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай необходимы финансовые, земельные, трудовые, материальные и энергетические ресурсы. В качестве источников финансирования проекта предлагается использовать внебюджетные частные денежные ресурсы, в т. ч. на основе инновационных инструментов (таких как краудфандинг для финансирования органических, экологических и традиционных проектов в сельском хозяйстве [5; 13]).

5. Открытие производственного участка по переработке мяса маралов в Усть-Коксинском районе Республики Алтай.

Помимо создания биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай следует открыть производственный участок по переработке мяса маралов в Усть-Коксинском районе Республики Алтай.

В качестве продукции следует предложить рынку: эксклюзивные колбасные изделия из мяса марала, копченую маральятину, сыровяленую маральятину, а также сырое мясо марала в ассортименте.

Среди основных потребителей планируются туристы, а также местные жители и предприятия пищевого производства, работающие в туристской отрасли.

Это позволит повысить эффективность отрасли мараловодства благодаря тому, что расширятся возможности сбыта ее совокупной продукции. Одновременно это мероприятия будет способствовать использованию нетрадиционных продовольственных ресурсов в интересах продовольственной безопасности страны [10; 17], что имеет большое значение в текущей геополитической ситуации [15].

6. Открыть Центр пантолечения с программой проведения лечения и реабилитации, в том числе для участников специальной военной операции, в Чемальском районе Республики Алтай. Это возможно в рамках развития туристического кластера с привлечением частных инвесторов.

В последние годы в традиционной медицине все большую актуальность приобретают альтернативные методы терапии на основе лечебных средств природного происхождения. Это связано с высокой частотой побочных эффектов у лекарств, с непереносимостью фармакологических препаратов, и, в немалой степени, с расширением доказательной базы нелекарственных методов воздействия. Кроме того, возросший интерес людей к процессам продления жизни все больше стимулирует их к использованию безопасных технологий для лечения хронических заболеваний и укрепления состояния здоровья. Это позволяет говорить о привлекательности услуг такого центра у российских потребителей, что будет способствовать росту внутреннего спроса на продукцию отрасли мараловодства;

7. Расширить субсидирование авиационных пассажирских перевозок из г. Горно-Алтайска для усиления туристического потока и повышения интереса и осведомленности об уникальных возможностях рекреации и оздоровления на данной территории. Это позволит повысить доступность региональных туристических сервисов, в т. ч. и связанных с использованием продукции отрасли мараловодства, для туристов.

Заключение

Несмотря на то, что мараловодческий комплекс Республики Алтай активно поддерживается государством через различные программы, имеется множество проблем, с которыми сталкиваются мараловодческие хозяйства региона. Поэтому необходимо систематически обсуждать проблемы отрасли, призвать к диалогу организации, использующие в своей работе продукцию пантового мараловодства, с властями региона на «круглом столе» «Мараловодческая отрасль в Республике Алтай: проблемы и перспективы».

Анализ показал наличие потенциала стратегического развития мараловодства на территории Республики Алтай. Сдерживающим фактором выступает высокая ориентированность сбыта на рынки Юго-Восточной Азии, также большую роль играют уровень информированности российских покупателей и платежеспособный спрос, что определяет их потребительское поведение. Развитие мараловодства в симбиозе с развитием туристской отрасли способствует синергетическому эффекту, перекрестной поддержки развитию двух отраслей экономики региона, что позволит увеличить уровень жизни в Республике Алтай. Также хорошие перспективы имеются у создания биофармацевтического кластера по производству продукта для российского рынка из пантов маралов, в том числе в комбинации с алтайским медом и лекарственными травами.

Были выделены следующие стратегические направления развития мараловодства: увеличение поголовья маралов в Республике Алтай путем повышения государственной поддержки отрасли; выход на новые рынки сбыта продукции мараловодства; применение инновационного способа консервации пантовой продукции; создание биофармацевтического кластера пантовой продукции в Республике Алтай «ПантАлтай»; открытие производственного участка по переработке мяса маралов, Открыть Центр пантолечения с программой проведения лечения и реабилитации, в том числе после СВО, в Чемальском районе Республики Алтай, расширить субсидирование пассажирских авиаперевозок из г. Горно-Алтайска.

Список литературы

1. Водяников В.Т. Экономическая оценка инвестиций в агропромышленном комплексе. Москва: ЮР-КНИГА, 2021. 200 с.
2. ГОРНО-АЛТАЙСК.ИНФО: информ. агентство России: сайт. Респ. Алтай. Республика Алтай планирует сотрудничать с Индией. URL: <https://www.gorno-altaisk.info/news/148395> (дата обращения: 15.04.2024).

3. ГОРНО-АЛТАЙСК.ИНФО: информ. агентство России: сайт. Респ. Алтай. Республика Алтай подписала план сотрудничества с Республикой Беларусь до 2025 года. URL: https://altai-republic.ru/news_lent/news-archive/45328/ (дата обращения: 15.04.2024).
4. Дудченко Н.В. Особенности горной местности центрального Алтая // Экономика и социум. 2020. №2(45). С. 561-563.
5. Котляров И.Д. Краудфандинг как инструмент финансирования: концептуальный анализ // Мировая экономика и международные отношения. 2024. Т. 68, № 8. С. 28-36. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2024-68-8-28-36>
6. Официальный интернет-портал Республики Алтай. URL: <https://www.altai-republic.ru/> (дата обращения: 04.05.2024 г.).
7. Сушевский В.И. Экспериментально-клиническое обоснование применения водного экстракта пант марала в практике восстановительной медицины: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. 2022. 28 с.
8. Удовиченко А. И. Аспекты повышения конкурентоспособности региональных экономических систем // Современная экономика: проблемы и решения. 2019. № 3(111). С. 169-176.
9. Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай. <https://22.rosstat.gov.ru/>
10. Bakharev V. V. Food security, food waste and food sharing: The conceptual analysis / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, T. V. Stepanova // Food Systems. 2023. Vol. 6, No. 3. P. 390-396. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396>
11. Dudukalov E. V., Zolochevskaya E. Y., Sorokina M. Y., Mangusheva L. S. Structuring the economic space for small business in the agro-industrial complex // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14, No. 2. P. 176-215. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-176-215>
12. Kotliarov I. D. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia // Russian Peasant Studies. 2022. Vol. 7, No. 4. P. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
13. Langley P. Crowdfunding in the United Kingdom: A Cultural Economy // Economic Geography. 2016. Vol. 92, Iss. 3. P. 301-321. <https://doi.org/10.1080/00130095.2015.1133233>
14. Mindlin Yu. Clusters and cooperatives as a tool of sustainable food security: a comparative analysis / Yu. Mindlin, M. Novikov, O. Ignatyeva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1043, No. 1. P. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012038>

15. National food security under institutional challenges (Russian experience) / V. Plotnikov, Y. Nikitin, M. Maramygin, R. Ilyasov // International Journal of Sociology and Social Policy. 2021. Vol. 41, No. 1-2. P. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
16. Prospects for the crop production development and the government support impact / K. Zhichkin, O. Anichkina, L. Zhichkina [et al.] // Bio web of conferences: XVII International Scientific and Practical Conference “State and Development Prospects of Agribusiness” (INTERAGROMASH 2024), Rostov-on-Don, May 22-25, 2024. Vol. 113. EDP Sciences: EDP Sciences, 2024. P. 01007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411301007>
17. Trends of evolution of food security: digital transformation, social entrepreneurship and human dignity / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, E. V. Stelmashonok [et al.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Vol. 15, No. 2. P. 363-391. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391>

References

1. Vodyanikov V.T. *Economic evaluation of investments in agroindustrial complex*. Moscow: YUR-KNIGA, 2021. 200 c.
2. GORNO-ALTAISK.INFO: inform. agency of Russia: site. Altai Republic. Altai Republic plans to cooperate with India. URL: <https://www.gorno-altaisk.info/news/148395>
3. GORNO-ALTAISK.INFO: inform. agency of Russia: site. Altai Republic. Altai Republic signed the plan of cooperation with the Republic of Belarus until 2025. URL: https://altai-republic.ru/news_lent/news-archive/45328/
4. Dudchenko N.V. Features of the mountainous terrain of the central Altai. *Economics and Socium*, 2020, no. 2(45), pp. 561-563.
5. Kotlyarov I.D. Crowdfunding as a financing tool: conceptual analysis. *World Economy and International Relations*, 2024, vol. 68, no. 8, pp. 28-36. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2024-68-8-28-36>
6. Official Internet portal of the Republic of Altai. URL: <https://www.altai-republic.ru/>
7. Sushevskiy V.I. *Experimental-clinical substantiation of application of aqueous extract of maral antler in the practice of regenerative medicine*: abstract of the dissertation for the degree of candidate of medical sciences, 2022, 28 p.
8. Udovichenko A. I. Aspects of increasing the competitiveness of regional economic systems. *Modern Economics: problems and solutions*, 2019, no. 3(111), pp. 169-176.
9. Department of the Federal State Statistics Service for Altai Krai and the Republic of Altai. <https://22.rosstat.gov.ru/>

10. Bakharev V. V. Food security, food waste and food sharing: The conceptual analysis / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, T. V. Stepanova. *Food Systems*, 2023, vol. 6, no. 3, pp. 390-396. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-390-396>
11. Dudukalov E. V., Zolochevskaya E. Y. Y., Sorokina M. Y., Mangusheva L. S. Structuring the economic space for small business in the agro-industrial complex. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 2, pp. 176-215. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-176-215>
12. Kotliarov I. D. Heterogeneity of stakeholders as an obstacle to the development of agricultural cooperatives in Russia. *Russian Peasant Studies*, 2022, vol. 7, no. 4, pp. 20-32. <https://doi.org/10.22394/2500-1809-2022-7-4-20-32>
13. Langley P. Crowdfunding in the United Kingdom: A Cultural Economy. *Economic Geography*, 2016, vol. 92, iss. 3, pp. 301-321. <https://doi.org/10.1080/0130095.2015.1133233>
14. Mindlin Yu. Clusters and cooperatives as a tool of sustainable food security: a comparative analysis / Yu. Mindlin, M. Novikov, O. Ignatyeva. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1043, no. 1, 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012038>
15. National food security under institutional challenges (Russian experience) / V. Plotnikov, Y. Nikitin, M. Maramygin, R. Ilyasov. *International Journal of Sociology and Social Policy*, 2021, vol. 41, no. 1-2, pp. 139-153. <https://doi.org/10.1108/IJSSP-03-2020-0074>
16. Prospects for the crop production development and the government support impact / K. Zhichkin, O. Anichkina, L. Zhichkina [et al.]. *Bio web of conferences: XVII International Scientific and Practical Conference "State and Development Prospects of Agribusiness" (INTERAGROMASH 2024), Rostov-on-Don, May 22-25, 2024*. Vol. 113. EDP Sciences: EDP Sciences, 2024, 01007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411301007>
17. Trends of evolution of food security: digital transformation, social entrepreneurship and human dignity / V. V. Bakharev, G. Yu. Mityashin, E. V. Stelmashonok [et al.]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 363-391. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-2-363-391>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Абдуллаев Илёс Султанович, д-р экон. наук, профессор, декан факультета социально-экономических наук, профессор кафедры менеджмента и маркетинга

Ургенчский государственный университет

ул. Х. Олимжона, 14, г. Ургенч, 220100, Узбекистан

aem735@mail.ru

Ахмадеев Равиль Габдуллаевич, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры государственных и муниципальных финансов

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

Стремянный переулок, 36, г. Москва, 115054, Российская Федерация

ahm_rav@mail.ru

Аванесян Даниэла Нельсоновна, аспирант и преподаватель кафедры экономической теории

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т.

Трубилина

ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация

avanesian.d.n@mail.ru

Ваславская Ирина Юрьевна, доктор экономических наук, профессор, кафедра экономики предприятий и организаций Высшей школы экономики и права

Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт

проспект Мира, 68/19 (1/18), г. Набережные Челны, Республика

Татарстан, 423812, Российская Федерация

vaslavskaya@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Ilyos S. Abdullayev, Doctor of Economic Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Social and Economic Sciences, Professor of Department of Management and Marketing

Urgench State University

14, Kh.Alimdjan Str., Urgench, 220100, Uzbekistan

aem735@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9601-7434>

Ravil G. Akhmadeev, PhD, Associate Professor, Department of State and Municipal Finance

Plekhanov Russian University of Economics

36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation

Ahm_rav@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7526-0144>

Daniela N. Avanesian, Graduate Student and Lecturer of Department of Economic Theory, Department of Economic Theory

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin

13, Kalinina Str., Krasnodar, 350044, Russian Federation

avanesian.d.n@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6579-4125>

Irina Yu. Vaslavskaya, Doctor of Economic Sciences, Professor, Department of Economics of Enterprises and Organizations

Kazan Federal University, Naberezhnye Chelny Institute

68/19 (1/18), Mira Ave., Naberezhnye Chelny, Republic of Tatarstan, 423812, Russian Federation

vaslavskaya@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-3865>

Поступила 15.03.2024

После рецензирования 04.05.2024

Принята 26.06.2024

Received 15.03.2024

Revised 04.05.2024

Accepted 26.06.2024

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-866

УДК 630.8



Научная статья

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

С.О. Медведев, М.А. Зырянов

Обоснование. Ориентация на устойчивое развитие является одной из главных мировых тенденций последнего времени. В России стремление к устойчивости часто воспринимается неоднозначно. Необходимость учета экологических и социальных факторов при осуществлении и развитии производств признается повсеместно. Однако на практике внедрение отдельных принципов устойчивого развития носит формальный характер. Вместе с тем две важнейшие отрасли экономики – лесная и сельскохозяйственная могут и должны выступать лидерами в данном направлении.

Цель. Исследование отдельных аспектов использования продукции лесной отрасли в сельском хозяйстве.

Материалы и методы. Исследование проводилось на основе анализа отечественной и зарубежной научной литературы. В целях выявления регионов страны с высоким потенциалом получения продукции сельскохозяйственного назначения из сырья, получаемого в процессе лесозаготовок, был проведен кластерный анализ методом *k*-средних. Обработка данных осуществлялась с помощью пакетов прикладных программ Office Excel и Statistica 10.0 и Компас 3D v21.

Результаты. В результате исследования с применением кластерного анализа выявлены регионы страны с высоким потенциалом получения продукции сельскохозяйственного назначения из сырья, получаемого в процессе лесозаготовок; предложены два ключевых направления по взаимодействию рассматриваемых отраслей – использованию продуктов в сельском хозяйстве; предложена авторская разработка мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород. Полученные результаты отличаются новизной и могут быть использованы как с теоретической, так и прикладной точек зрения.

Заключение. Исследование подтвердило гипотезу о важности и целесообразности расширения взаимодействия лесной и сельскохозяйственной отраслей для повышения устойчивости развития регионов и страны в целом.

Ключевые слова: лесная отрасль; сельское хозяйство; устойчивое развитие; хвойно-витаминная мука; компостирование; кластерный анализ

Для цитирования. Медведев С.О., Зырянов М.А. Использование продукции лесной отрасли в сельском хозяйстве как фактор повышения устойчивости развития регионов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 475-492. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-866

Original article

THE USE OF FOREST PRODUCTS IN AGRICULTURE AS A FACTOR IN INCREASING THE SUSTAINABILITY OF REGIONAL DEVELOPMENT

S.O. Medvedev, M.A. Zyryanov

Background. The focus on sustainable development is one of the main global trends of recent times. The desire for sustainability is often perceived ambiguously in Russia. The need to take into account environmental and social factors in the implementation and development of production is universally recognized. However, the practical implementation of certain principles of sustainable development is formal. At the same time, two important sectors of the economy – forestry and agriculture – can and should be leaders in this direction.

Materials and methods. The study was conducted on the basis of an analysis of domestic and foreign scientific literature. In order to identify regions of the country with a high potential for obtaining agricultural products from raw materials obtained during logging, a cluster analysis using the k-means method was carried out. Data processing was carried out using the Office Excel and Statistica 10.0 application software packages and Compas 3D v21.

Results. As a result of the cluster analysis, there were identified the regions of the country with a high potential for obtaining agricultural products from raw materials obtained in the logging process, also there were proposed two key areas for the interaction of the industries under consideration (the use of products in agriculture). The author's development of a mobile installation for the production

of coniferous vitamin flour from coniferous tree greens is proposed. The obtained results are novel and can be used from both theoretical and applied points of view.

Conclusion. *The study confirmed the hypothesis about the importance and expediency of expanding the interaction between the forestry and agricultural sectors for increasing the sustainability of the development of regions and the country as a whole.*

Keywords: *forestry; agriculture; sustainable development; coniferous vitamin flour; composting; cluster analysis*

For citation. *Medvedev S.O., Zyryanov M.A. The Use of Forest Products in Agriculture as a Factor in Increasing the Sustainability of Regional Development. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 475-492. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-866*

Введение

Сельское хозяйство является отраслью, обеспечивающей продовольственную безопасность страны [26]. Именно поэтому его развитие является одним из государственных приоритетов. Повышение плодородия почв обеспечивается за счет внесения различных удобрений – как минеральных, так и органических. Последние представляют интерес с позиции возможного воспроизводства и восполнения, без существенного нанесения вреда окружающей среде. Очевидно, что при наличии источника сырья для органических удобрений в виде отходов каких-либо производств, данное направление может выступать одним из ключевых приоритетов развития отрасли.

Одним из таких вариантов традиционно является лесная отрасль. В данном сегменте экономики страны образуются многомиллионные тонны отходов растительного происхождения [17]. Они могут успешно использоваться в сельском хозяйстве. Вместе с тем для повсеместного и крупномасштабного внедрения такой практики предстоит решить комплекс вопросов [11; 21; 24].

Также важно отметить, что сельское хозяйство сопряжено с реализацией ряда целей устойчивого развития, которые Россия реализует в рамках множества как внутренних, так и международных проектов. Таким образом, развитие данной сферы может считаться одной из важнейших задач для государства. При этом совместное развитие лесной и сельскохозяйственной отраслей, по авторскому мнению должно способствовать существенному синергетическому эффекту в сфере устойчивого развития.

Регионы России существенно различаются по уровням развития сельского хозяйства и лесной отраслей. Вследствие этого и эффекты от взаи-

модействия данных сфер будут существенно дифференцированы. Вместе с тем, получаемые продукты в лесной отрасли в одних регионах (например, на основе вторичных древесных ресурсов) могут находить применение в сельском хозяйстве других территорий. Это существенно увеличивает потенциал развития исследуемой тематики.

Материалы и методы

Исследование проводилось на основе анализа отечественной и зарубежной научной литературы по тематике работы. Было выделено два ключевых направления – лесная и сельскохозяйственная отрасли, а также смежные области.

В ходе исследования региональных различий площадей сельскохозяйственных угодий и лесов, а также объемов лесозаготовок по регионам были использованы данные официальной отчетности, представленные в единой межведомственной информационно-статистической системе (ЕМИСС). Были использованы данные по всем регионам страны за 2022 год. Также была проанализирована динамика за период с 2010 по 2022 год. Однако существенных отклонений от текущих значений по регионам не было выявлено.

В целях выявления регионов страны с высоким потенциалом получения продукции сельскохозяйственного назначения из сырья, получаемого в процессе лесозаготовок, был проведен кластерный анализ методом k-средних. При анализе данных была использована информация по регионам, представленная выше. Для выявленных кластеров (объединенных по признаком регионов) был проведен дисперсионный анализ, подтвердивший значимость используемых переменных на принадлежность региона к кластеру (p -уровень параметров $< 0,05$).

Разработка модели мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород осуществлялась на основе аналитического расчета конструкторских и технологических параметров механизмов, анализа отечественной литературы, а также практического опыта авторского коллектива.

Обработка данных осуществлялась с помощью пакетов прикладных программ Office Excel и Statistica 10.0 и Компас 3D v21.

Результаты

В результате проведенного исследования установлено, что начиная с 2006 года, в России наблюдается планомерное увеличение объемов внесения органических удобрений в почву под посевы (рис. 1). При этом по

вполне объяснимым причинам с 2019 года данный показатель находится практически в неизменном состоянии (около 70,5 млн. т). Вместе с тем, очевидно, что потенциал для расширения применения органических удобрений достаточно велик. Это обусловлено как совокупностью отраслевых факторов, так и общей политикой государства, нацеленной на обеспечение продовольственной безопасности и независимости от внешних источников сырья и продукции (особенно в сельском хозяйстве и животноводстве).

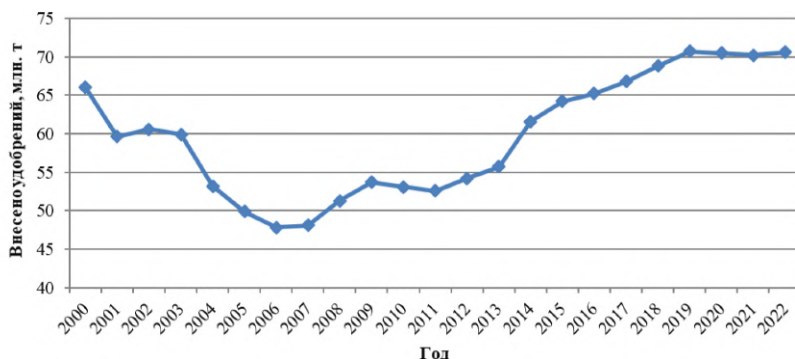


Рис. 1. Внесение органических удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях по Российской Федерации, млн. тонн

Естественным фактором, оказывающим влияние на объем вносимых удобрений и, соответственно, получаемой продукции является неравномерность развития сельского хозяйства по стране. Во многом это обусловлено природно-климатическими факторами и историческими особенностями развития данной сферы в регионах. Оценивая потенциал получения продукции природного характера (в широком смысле), можно выделить два ключевых фактора производства: земля (почва, пашня, сельскохозяйственные угодья и т.д.) и лес (территории лесозаготовок). Действительно территория России по большей части занята либо лесами, либо пашнями, либо территориями, на которых крайне затруднительно получать какую-либо продукцию (территории вечной мерзлоты и др.). Авторами произведена оценка территории страны с позиции соотношения в регионах площадей земель сельскохозяйственного назначения и лесов (рис. 2). Анализ производился на основе данных о площадях сельскохозяйственных угодий и лесов, полученных из ЕМИСС (показатели по регионам находились путем определения процентного соотношения данных величин). В целом, полученная иллюстрация довольно красноречиво по-

казывает зависимость приводимого соотношения от природно-климатических факторов. Если упростить описание рис. 2, то можно сказать, что северные территории характеризуются наличием больших площадей лесов, южные – наоборот – земель сельскохозяйственного назначения. При этом, разумеется, есть определенные региональные отличия, сказывающиеся на отдельных аспектах развития как сельского хозяйства, так и лесной промышленности.

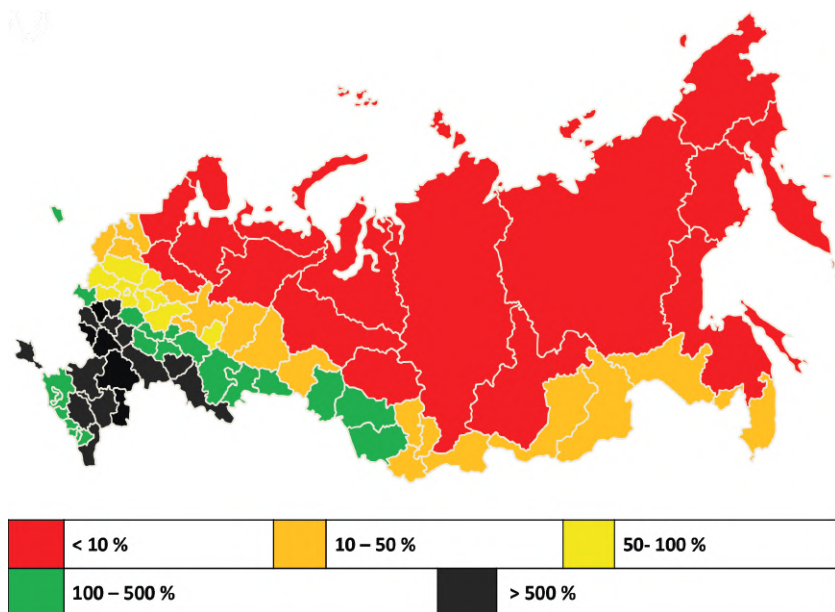


Рис. 2. Соотношение площадей сельскохозяйственных земель и лесов в регионах в России (в 2022 году)

Также следует указать, что большая часть регионов страны, обладающих существенными запасами лесных ресурсов (лесопокрытой площади) ведут активную лесозаготовительную деятельность. Также в данных регионах (порой с существенными различиями и разрывами в уровнях) происходит развитие лесной промышленности. Различия обусловлены значительным числом факторов, что достаточно неплохо представлено в научной литературе [3; 6; 12; 30].

Учитывая, что регионы страны имеют довольно выраженную ориентацию при «использовании» территорий либо в сельскохозяйственном, либо

в лесозаготовительном направлении, то логичным и объективным направлением в их развитии должен стать поиск способов взаимодействия данных отраслей. Проведенный анализ литературы [5; 7; 8; 13] показал, что ключевым в данном направлении может и должно выступать использование продукции лесной отрасли в сельском хозяйстве. Прежде всего, это различные удобрения и корма, получаемые из вторичных древесных ресурсов. При этом исходным сырьем могут выступать как древесные отходы различного вида (горбыль, щепка, ветки, сучья и т.д.), так и древесная зелень.

В исследовании был проведен кластерный анализ методом k-средних. По его итогам были выделены регионы страны, выделяющиеся объемами своих лесозаготовок (в натуральном выражении) и обладающих существенным потенциалом к получению продукции, способной быть использованной в сельском хозяйстве (рис. 3). Следует отметить, что возможная к получению продукция может быть использована не только в регионах получения (осуществления лесозаготовок), но и в других субъектах страны, обладающих более высоким уровнем развития сельского хозяйства.



Рис. 3. Регионы России с высоким потенциалом получения продукции сельскохозяйственного назначения из сырья, получаемого в процессе лесозаготовок

Можно отметить, что в настоящее время вторичные древесные ресурсы, образующиеся на крупных промышленных площадках (в городах), в значительной степени находят применение в направлениях отличных от

сельского хозяйства: получение древесной продукции (пеллеты, брикеты, плиты и т.д.), энергетическое использование (получение тепла и энергии), реализация населению и т.д. Лишь незначительная часть из них направляется в сельскохозяйственное направление. При этом существует огромный потенциал использования ценных древесных ресурсов, остающихся на лесосеке в процессе лесозаготовок. По различным оценкам [5; 22] использование именно отходов лесозаготовок – наиболее перспективное направление в создании дополнительной продукции из древесного сырья.

При этом не следует забывать, что огромная часть вторичных древесных ресурсов также остается без должного эффективного применения. Учитывая потребности сельского хозяйства в органических удобрениях [1; 11; 16], всем заинтересованным сторонам следует обратить большее внимание на весь объем возможных к использованию древесных ресурсов. При этом помимо традиционного сырья (щепа, опилки, горбыль и т.д.) в качестве исходного материала для получения удобрений могут быть использованы и иные ресурсы древесного происхождения. Одним из таких вариантов является лигнин, практически не находящий применения в других направлениях и остающийся после гидролизного производства [4; 14; 18]. При этом его использование ведет к существенному повышению устойчивости развития регионов: отвалы с данным видом отходов долгие годы представляют серьезную экологическую опасность.

Одним из наиболее распространенных способов получения органических удобрений из древесного сырья выступает компостирование [2; 7; 27; 28; 31]. Этот классическое направление утилизации древесных отходов позволяет получать огромные объемы органического удобрения без существенных материальных затрат. При этом существуют различные модификации традиционных подходов к компостированию, а отдельные научные группы постоянно работают над повышением его эффективности и расширением возможностей по использованию исходного сырья. Наиболее в общем виде схема компостирования представлена на рис. 4. Следует отметить, что важнейшим элементом для получения качественного удобрения (помимо соблюдения технологии) является постоянное отслеживание параметров получаемого продукта. Это позволяет снизить риски в получении некачественного продукта для сельского хозяйства.

В связи с большими объемами древесного сырья, которые могут и должны быть использованы для получения удобрений, данная схема в наибольшей степени подходит для использования вблизи с крупными производственными площадками (возле деревоперерабатывающих пред-

приятый). Однако как уже отмечалось, значительная часть лесосечных отходов также может быть использована для получения продукции, применимой в сельском хозяйстве. В данном направлении с экономической и технологической сторон, по авторскому мнению, наиболее перспективной является переработка древесной зелени.



Рис. 4. Схема процесса компостирования древесных отходов

Авторским коллективом разработан ряд технологических решений, позволяющих получать ценную продукцию в условиях лесозаготовок, отличную от традиционных технологий [19]. С точки зрения сельского хозяйства наиболее интересным представляется предложенная конструкция мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород, 3D модель которой представлена на рис. 5 [9].

Привод установки реализован по средствам передачи крутящего момента через вал отбора мощности от двигателя внутреннего сгорания самоходной машины участвующей в лесозаготовительных работах. Как видно на рис. 5, установка состоит из трех модулей. Подача веток с хво-

ей осуществляется вручную в загрузочную горловину модуля отделения хвои. Хвоя поступает в модуль измельчения, а ветки без хвои выводятся из установки через разгрузочный патрубок. Важнейшая особенность конструкции установки заключается в наличии модуля вакуумного упаковывания получаемой продукции. Известно, что вакуум позволяет сохранить полезные свойства хвойно-витаминной муки намного дольше, чем простая упаковка в воздушной среде. Потеря полезных свойств в зимний период протекает медленнее, а с наступлением положительных среднесуточных температур ускоряется [15; 23].

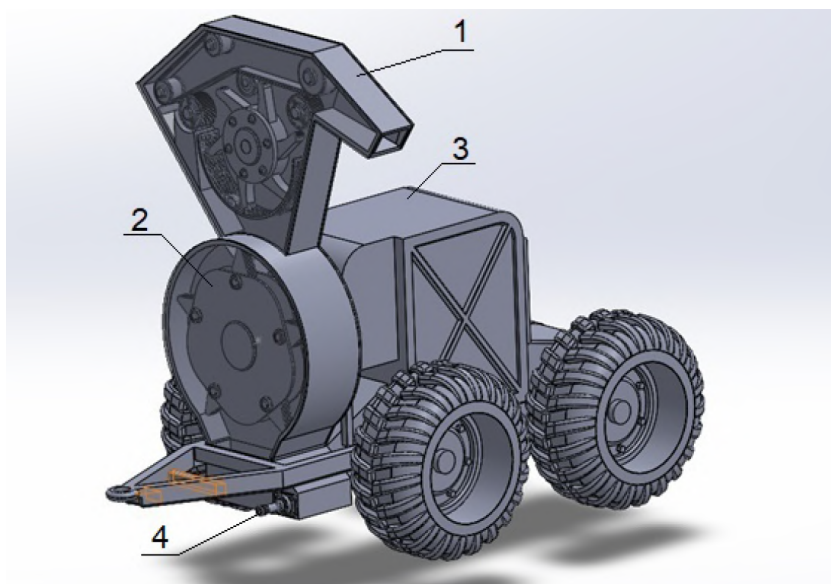


Рис. 5. Модель мобильной установки для производства хвойно-витаминной муки из древесной зелени хвойных пород:

1 - модуль отделения хвои; 2 - модуль измельчения хвои; 3 - модуль вакуумного упаковывания; 4 - приводной вал

Важной задачей при использовании продукции, получаемой на лесной территории, в сельскохозяйственном направлении является снижение расходов на доставку к местам внесения в почву или к животноводческим хозяйствам. В данном контексте предложенная мобильная установка позволяет существенно сократить объемы перевозимой продукции, а значит и повысить экономическую эффективность данного решения.

Учитывая, что значительная часть лесозаготовок осуществляется на существенном отдалении от промышленных центров, то использование предлагаемой установки является дополнительным производством для лесозаготовительных предприятий. Именно комплексное использование всего объема доступных древесных ресурсов позволяет следовать по пути устойчивого развития. При такой практике достигается комплекс взаимосвязанных целей:

- экономические – получение максимальной экономической выгоды для предприятий;
- экологические – снижение экологической нагрузки на окружающую среду и рисков развития неблагоприятных ситуаций за счет оставления в лесу огромных объемов древесины в виде отходов лесозаготовок;
- социальные – создание дополнительных рабочих мест;
- специфические – повышение эффективности сельского хозяйства, внедрение инноваций, рациональное производство и т.д.

Таким образом, использование лесной продукции в сельском хозяйстве позволяет достигать до семи целей в области устойчивого развития, разработанных в 2015 году Генеральной ассамблеей ООН [20; 25; 29].

Заключение

Важной задачей на пути устойчивого развития является расширение взаимодействия различных отраслей с одновременным вниманием к вопросам экологии и общества. При этом достижение экономической эффективности также остается ключевым элементом как для государства, так и бизнеса. Проведенное исследование с применением кластерного анализа позволило выявить регионы страны с высоким потенциалом получения продукции сельскохозяйственного назначения из сырья, получаемого в процессе лесозаготовок. В ходе исследования были предложены и обоснованы два ключевых направления в расширении взаимодействия лесной и сельскохозяйственной отраслей – компостирование древесного сырья и получение хвойно-витаминной муки. Первое из них уже давно применяется и характеризуется постоянными модификациями в целях получения более качественной продукции. Для второго предложена авторская разработка мобильной установки, позволяющая сделать использование данного продукта экономически целесообразным. По итогам проведенного исследования следует указать на высокий потенциал от совместного развития двух рассматриваемых отраслей. При этом стимулы для такого взаимодействия обоюдны.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>.

Список литературы

1. Аварский Н.Д., Таран В.В., Гасанова Х.Н. Основные направления реализации потенциала рынка удобрений в России // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 4 (73). С. 61-74.
2. Беловежец Л.А., Третьяков А.В. Агрохимические показатели компоста на основе древесных опилок // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. Т. 28. № 2. С. 124-130.
3. Блам Ю.Ш., Машкина Л.В., Бабенко Т.И., Ермолаев О.В. Лесопромышленный комплекс России в контексте мирового сектора // ЭКО. 2013. № 11 (473). С. 26-44.
4. Волчатова И.В., Медведева С.А. Удобрение, полученное при компостировании гидролизного лигнина // Экология и промышленность России. 2010. № 4. С. 55-57.
5. Воробьев А.Л., Калачев А.А., Залесов С.В. Использование отходов лесозаготовок в качестве сырья для получения кормовых добавок // Леса России и хозяйство в них. 2018. № 3 (66). С. 65-72.
6. Гордеев Р.В. Конкурентоспособность продукции лесного сектора: новые уроки из анализа внешней торговли // ЭКО. 2018. № 9 (531). С. 63-84.
7. Графова Е.О., Гаврилова О.И., Горбач В.В. Исследование почвенных субстратов на основе отходов деревообработки для выращивания лесных сеянцев // Resources and Technology. 2023. Т. 20. № 2. С. 82-98.
8. Джамалова С.А., Золин М.В. Роль органических веществ в почве // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 1. С. 128.
9. Зырянов М.А., Борин К.В., Морозов В.И., Петрушева Н.А. Мобильное устройство для измельчения древесной зелени хвойных пород. Патент на изобретение RU 2 698 059 C1, 01.06.2018. Заявка № 2018120398 от 01.06.2018.
10. Кармадонов А.Н., Егоренко Ю.А. Возможности использования древесных отходов в промышленности и сельском хозяйстве // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 230-233.
11. Ковалева О.В., Бочарова А.А., Санникова Н.В. Рынок органоминеральных удобрений: состояние и перспективы // АПК: инновационные технологии. 2021. № 3. С. 14-18.
12. Кожухов Н.И. Сбалансированное развитие отраслей лесного сектора в системе регионального экономического пространства // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2014. Т. 18. № 3. С. 18-23.

13. Кузнецова Н.А. Концептуальные положения развития циркулярной экономики в сельском хозяйстве // Продовольственная политика и безопасность. 2023. Т. 10. № 1. С. 109-120.
14. Лагутина Т.Б., Попова Л.А., Шалагинова Л.Н. Влияние нетрадиционных органических удобрений на плодородие и агроресурсный потенциал аллювиальных дерновых почв Архангельской области // Агрохимический вестник. 2016. № 4. С. 19-22.
15. Лобанов В. В., Лобанова Е.Э., Степень Р.А. Комплексная переработка древесной зелени в условиях малого пихтоваренного производства. Красноярск: СибГТУ, 2007. 144 с.
16. Манжина С.А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 3 (27). С. 199-221.
17. Медведев С.О., Зырянов М.А., Мохирев А.П. Эффективность лесной отрасли России по федеральным округам: портфельный анализ // Креативная экономика. 2023. Т. 17. № 2. С. 713-730.
18. Мокрушина Н.С., Тарасова Т.С., Дармов И.В. Биоконверсия древесных отходов методом компостирования с получением органического удобрения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 1. С. 228-231.
19. Мохирев А.П., Рукомойников К.П., Герасимова М.М., Медведев С.О., Зырянов М.А. Технологический алгоритм производства продукции из порубочных остатков // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 1 (391). С. 153-171.
20. Орёл А.А. Анализ зарубежного опыта в области достижения целей устойчивого развития территорий // Журнал правовых и экономических исследований. 2023. № 2. С. 227-232.
21. Панькив О.Г., Полянская В.В., Паршикова В.Н., Степень Р.А. Использование продуктов переработки древесной зелени пихты в сельском хозяйстве // Вестник КрасГАУ. 2009. № 3 (30). С. 209-212.
22. Разумов Е.Ю., Воронин А.Е., Назипова Ф.В., Кайнов П.А. Древесная зелень: рациональное использование // Деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2. С. 8-12.
23. Ушанова В.М., Ушанов С.В. Математическая модель изменения содержания каротина в древесной зелени пихты сибирской при хранении // Вестник КрасГАУ. 2007. № 5. С. 28-32.
24. Хуршайнен Т., Скрипова Н.Н., Кучин А. Высокоэффективная технология комплексной переработки растительного сырья и получение препаратов

- для сельского хозяйства // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 46-49.
25. Arora-Jonsson S. The sustainable development goals: A universalist promise for the future // *Futures*. 2023. Vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103087>
26. Charykova O.G., Napolina Ju.V., Salnikova E.V., Otinova M.E. Modern agricultural aspects of the country's food security // *Modern Economics: Problems and Solutions*. 2020. № 10 (130). С. 127-137.
27. Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki T., Ueda S., Horiya S. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids // *Bioresource Technology*, 2009, Vol. 100 (2), pp. 791-797.
28. Juárez M., Gómez-Brandón M., Insam H. Merging two waste streams, wood ash and biowaste, results in improved composting process and end products // *Science of The Total Environment*, 2015, vol. 511, pp. 91-100.
29. Liszbinski B., Brizzola M., Zardin P. Driving factors for the involvement of agroindustries in the sustainable development goals // *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137279>
30. Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use // *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, vol. 17, no. 5, pp. 745-752.
31. Parab C., Yadav K., Prajapati V. Genomics and microbial dynamics in green waste composting: A mini review // *Ecological Genetics and Genomics*, 2023, vol. 29. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100206>

References

1. Avarskiy N.D., Taran V.V., Gasanova Kh.N. Osnovnye napravleniya realizatsii potentsiala rynka udobreniy v Rossii [The main directions of realizing the potential of the fertilizer market in Russia]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*, 2021, no. 4 (73), pp. 61-74.
2. Belovezhets L.A., Tret'yakov A.V. Agrokhimicheskie pokazateli komposta na osnove drevesnykh opilok [Agrochemical indicators of compost based on sawdust]. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2020, vol. 28, no. 2, pp. 124-130.
3. Blam Yu.Sh., Mashkina L.V., Babenko T.I., Ermolaev O.V. Lesopromyshlennyy kompleks Rossii v kontekste mirovogo sektora [The timber industry complex of Russia in the context of the global sector]. *EKO*, 2013, no. 11 (473), pp. 26-44.
4. Volchatova I.V., Medvedeva S.A. Udobrenie, poluchennoe pri kompostirovanii gidroliznogo lignina [Fertilizer obtained by composting hydrolyzed lignin]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2010, no. 4, pp. 55-57.

5. Vorob'ev A.L., Kalachev A.A., Zalesov S.V. Ispol'zovanie otkhodov lesozagotovok v kachestve syr'ya dlya polucheniya kormovykh dobavok [The use of logging waste as raw materials for obtaining feed additives]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2018, no. 3 (66), pp. 65-72.
6. Gordeev R.V. Konkurentosposobnost' produktsii lesnogo sektora: novye uroki iz analiza vneshney torgovli [Competitiveness of forest sector products: new lessons from the analysis of foreign trade]. *EKO*, 2018, no. 9 (531), pp. 63-84.
7. Grafova E.O., Gavrilova O.I., Gorbach V.V. Issledovanie pochvennykh substratov na osnove otkhodov derevoobrabotki dlya vyrashchivaniya lesnykh seyantsev [Investigation of soil substrates based on woodworking waste for growing forest seedlings]. *Resources and Technology*, 2023, vol. 20, no. 2, pp. 82-98.
8. Dzhamalova S.A., Zolin M.V. Rol' organicheskikh veshchestv v pochve [The role of organic substances in soil]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy nauchnyy vestnik*, 2022, no. 1, pp. 128.
9. Zyryanov M.A., Borin K.V., Morozov V.I., Petrusheva N.A. Mobil'noe ustroystvo dlya izmel'cheniya drevesnoy zeleni khvoynykh porod [Mobile device for crushing coniferous tree greens]. Patent na izobretenie RU 2 698 059 C1, 01.06.2018. Zayavka no. 2018120398 ot 01.06.2018.
10. Karmadonov A.N., Egorenko Yu.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnykh otkhodov v promyshlennosti i sel'skom khozyaystve [Possibilities of using wood waste in industry and agriculture]. *Polzunovskiy vestnik*, 2004, no. 2, pp. 230-233.
11. Kovaleva O.V., Bocharova A.A., Sannikova N.V. Rynok organomineral'nykh udobreniy: sostoyanie i perspektivy [Organomineral fertilizers market: state and prospects]. *APK: innovatsionnye tekhnologii*, 2021, no. 3, pp. 14-18.
12. Kozhukhov N.I. Sbalansirovannoe razvitiye otrasley lesnogo sektora v sisteme regional'nogo ekonomicheskogo prostranstva [Balanced development of forest sector branches in the system of regional economic space]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoy vestnik*, 2014, vol. 18, no. 3, pp. 18-23.
13. Kuznetsova N.A. Kontseptual'nye polozheniya razvitiya tsirkulyarnoy ekonomiki v sel'skom khozyaystve [Conceptual provisions of the development of the circular economy in agriculture]. *Prodoval'stvennaya politika i bezopasnost'*, 2023, vol. 10, no. 1, pp. 109-120.
14. Lagutina T.B., Popova L.A., Shalaginova L.N. Vliyanie netraditsionnykh organicheskikh udobreniy na plodorodie i agroresursnyy potentsial alluvial'nykh dernovykh pochv Arkhangel'skoy oblasti [Influence of unconventional organic fertilizers on fertility and agroresource potential of alluvial turf soils of the Arkhangelsk region]. *Agrokhimicheskiy vestnik*, 2016, no. 4, pp. 19-22.

15. Lobanov V. V., Lobanova E.E., Stepen' R.A. Kompleksnaya pererabotka drevesnoy zeleni v usloviyakh malogo pikhtovarennogo proizvodstva [Complex processing of woody greens in conditions of small fir production]. Krasnoyarsk: SibGTU Publ., 2007, 144 p.
16. Manzhina S.A. Analiz obespecheniya APK Rossii udobreniyami [Analysis of the provision of agro-industrial complex of Russia with fertilizers]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2017, no. 3 (27), pp. 199-221.
17. Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhirev A.P. Effektivnost' lesnoy otrasli Rossii po federal'nym okrugam: portfel'nyy analiz [Efficiency of the Russian forest industry by federal districts: portfolio analysis]. *Kreativnaya ekonomika*, 2023, vol. 17, no. 2, pp. 713-730.
18. Mokrushina N.S., Tarasova T.S., Darmov I.V. Biokonversiya drevesnykh otkhodov metodom kompostirovaniya s polucheniem organicheskogo udobreniya [Bioconversion of wood waste by composting to obtain organic fertilizer]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, vol. 11, no. 1, pp. 228-231.
19. Mokhirev A.P., Rukomoynikov K.P., Gerasimova M.M., Medvedev S.O., Zyryanov M.A. Tekhnologicheskii algoritm proizvodstva produktov iz porubochnykh ostatkov [Technological algorithm for production of products from felling residues]. *Izvestiya vysshiykh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2023, no. 1 (391), pp. 153-171.
20. Orel A.A. Analiz zarubezhnogo opyta v oblasti dostizheniya tseley ustoychivogo razvitiya territoriy [Analysis of foreign experience in achieving the goals of sustainable development of territories]. *Zhurnal pravovykh i ekonomicheskikh issledovaniy*, 2023, no. 2, pp. 227-232.
21. Pan'kiv O.G., Polyanskaya V.V., Parshikova V.N., Stepen' R.A. Ispol'zovanie produktov pererabotki drevesnoy zeleni pikhty v sel'skom khozyaystve [The use of products of processing of fir tree greens in agriculture]. *Vestnik KrasGAU*, 2009, no. 3 (30), pp. 209-212.
22. Razumov E.Yu., Voronin A.E., Nazipova F.V., Kaynov P.A. Drevesnaya zelen': ratsional'noe ispol'zovanie [Tree greens: rational use]. *Derevoobrabatывayushchaya promyshlennost'*, 2015, no. 2, pp. 8-12.
23. Ushanova V.M., Ushanov S.V. Matematicheskaya model' izmeneniya soderzhaniya karotina v drevesnoy zeleni pikhty sibirskoy pri khranении [Mathematical model of changes in the content of carotene in the woody greens of Siberian fir during storage]. *Vestnik KrasGAU*, 2007, no. 5, pp. 28-32.
24. Khurshkaynen T., Skripova N.N., Kuchin A. Vysokoeffektivnaya tekhnologiya kompleksnoy pererabotki rastitel'nogo syr'ya i poluchenie preparatov dlya sel'skogo khozyaystva [Highly efficient technology of complex processing of

- vegetable oil raw materials and preparations for agriculture]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2007, no. 1, pp. 46-49.
25. Arora-Jonsson S. The sustainable development goals: A universalist promise for the future. *Futures*, 2023, vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2022.103087>
26. Charykova O.G., Narolina Ju.V., Salnikova E.V., Otinova M.E. Modern agricultural aspects of the country's food security. *Modern Economics: Problems and Solutions*, 2020, no. 10 (130), pp. 127-137.
27. Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki T., Ueda S., Horiya S. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids. *Bioresource Technology*, 2009, vol. 100 (2), pp. 791-797.
28. Juárez M., Gómez-Brandón M., Insam H. Merging two waste streams, wood ash and biowaste, results in improved composting process and end products. *Science of The Total Environment*, 2015, vol. 511, pp. 91-100.
29. Liszbinski B., Brizolla M., Zardin P. Driving factors for the involvement of agroindustries in the sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 410. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137279>
30. Medvedev S.O., Zyryanov M.A., Mokhirev A.P., Kunitskaya O.A., Voronov R.V., Storodubtseva T.N., Grigorieva O.I., Grigorev I.V. Russian timber industry: current situation and modelling of prospects for wood biomass use. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 2022, vol. 17, no. 5, pp. 745-752.
31. Parab C., Yadav K., Prajapati V. Genomics and microbial dynamics in green waste composting: A mini review. *Ecological Genetics and Genomics*, 2023, vol. 29. <https://doi.org/10.1016/j.egg.2023.100206>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Медведев Сергей Олегович, кандидат экономических наук, старший научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Сибирский государственный университет науки и технологий академика М.Ф. Решетнева»

*проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск,
660037, Российская Федерация
medvedev_serega@mail.ru*

Зырянов Михаил Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник

*Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Сибирский государственный университет науки и технологий академика М.Ф. Решетнева»
проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск,
660037, Российская Федерация
zuryanov13@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey O. Medvedev, Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
medvedev_serega@mail.ru
SPIN-code: 1652-1042
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7459-3150>
ResearcherID: N-8240-2016
Scopus Author ID: 57194876019*

Mikhail A. Zyryanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Researcher

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
zuryanov13@mail.ru
SPIN-code: 6516-9680
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2124>
ResearcherID: N-6950-2016
Scopus Author ID: 57210187878*

Поступила 08.12.2023

После рецензирования 05.01.2024

Принята 12.01.2024

Received 08.12.2023

Revised 05.01.2024

Accepted 12.01.2024

DOI: 0.12731/2658-6649-2024-16-4-843

UDC 582.766:581.47+575.86



Original article

LEAF PRODUCTIVITY OF SHOOTS, CHEMICAL COMPOSITION AND PROSPECTIVE BIOACTIVITY OF CELASTRUS SPECIES INTRODUCED INTO MOSCOW REGION

*I.A. Savinov, E.V. Solomonova, N.A. Trusov, A.V. Zhevnerov,
E.Yu. Yembaturova, S.G. Monakhos*

*Plants are known to contain chemical constituents of great physiological activity, some of them are antioxidants or possess anti-cancer properties. The presence of these constituents in renewable plant parts – fruits and leaves – is particularly valuable. A search for plants with pronounced medicinal properties, including anti-cancer, within local floras or among cultivated plants that have passed introductory trials successfully, is of great relevance. An example of such plants introduced in Moscow region is the genus Celastrus and its representatives. Our research is aimed at revealing plants with the highest leaf productivity of shoots and contents of bioactive substances in the leaves within this genus. The research encompassed 6 taxa from the genus Celastrus grown in the Arboretum of the Main Botanic Garden named after N.V. Tsitsin RAS. For the study, 19-20 highly elongated annual shoots per plant of each taxon were collected, their leaf weight and morphometric characteristics were recorded, and the results processed by means of variation statistics. For biochemical studies, frozen leaf samples were analyzed by methods of high-performance liquid chromatography with UV and mass-detection. Spectral data of constituents prevailing in methanol extracts were obtained. Main classes of compounds found in leaves of the studied taxa were flavonoid glucosides: the derivatives of quercetin and kaempferol as well as condensed tannins, catechin and afzelechin derivatives. A comparative analysis demonstrated that *C. flagellaris*, *C. strigillosus* and *C. orbiculatus* var. *punctatus*, containing afzelechin and its derivatives in their leaves, can be recommended as promising plants for future investigations.*

Keywords: *Celastrus*; Moscow region; introduced species; leaf productivity of shoots; chemical composition; prospective bioactivity

For citation. Savinov I.A., Solomonova E.V., Trusov N.A., Zhevnerov A.V., Yembaturova E.Yu., Monakhos S.G. Leaf Productivity of Shoots, Chemical Composition

and Prospective Bioactivity of Celastrus Species Introduced into Moscow Region. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 4, pp. 493-507. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-843

Научная статья

ЛИСТОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОБЕГОВ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВИДОВ РОДА CELASTRUS, ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

**И.А. Савинов, Е.В. Соломонова, Н.А. Трусов, А.В. Жевнеров,
Е.Ю. Ембатунова, С.Г. Монахос**

Растения содержат в своём составе вещества, обладающие высокой физиологической активностью, некоторые из которых являются антиоксидантами и антиканцерогенами. Особенно ценно наличие этих веществ в возобновляемых частях растений – плодах и листьях. Поиск растений, обладающих ценными лекарственными свойствами, в том числе, для борьбы с раком, среди растений местной флоры или растений с успехом прошедших интродукционные испытания и выращиваемых в культуре, весьма актуален. Одними из таких интродуцентов для Московского региона являются представители рода *Celastrus*. Целью исследования было выявление наиболее ценных представителей рода, имеющих высокую листовую продуктивность побегов и содержащих в листьях физиологически активные вещества. В исследовании были задействованы 6 таксонов *Celastrus* из коллекции дендрария Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН, у которых собирали по 19-20 однолетних сильно удлинённых побегов; проводили их морфометрические и весовые измерения, результаты обрабатывали методами вариационной статистики; а также для биохимических исследований образцы замороженных листьев анализировали методами высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым и масс детектированием. Получали спектральные данные доминирующих веществ метанольных экстрактов. Основными классами соединений в листьях изученных таксонов являются флавоноидные гликозиды: производные кверцетина и кемпферола, а также конденсированные танины, производные катехина и афзелехина. Сравнитель-

ный анализ показал, что для дальнейших исследований в качестве перспективных растений могут быть рекомендованы *C. flagellaris*, *C. strigillosus* и *C. orbiculatus* var. *punctatus* из-за наличия в них афлезехина и его производных.

Ключевые слова: *Celastrus*; Московский регион; интродуцированные виды; листовая продуктивность побегов; химический состав; потенциальная биологическая активность

Для цитирования. Савинов И.А., Соломонова Е.В., Трусев Н.А., Жевнеров А.В., Ембатурова Е.Ю., Монахос С.Г. Листовая продуктивность побегов, химический состав и потенциальная биологическая активность видов рода *Celastrus*, интродуцированных в Московском регионе // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №4. С. 493-507. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-4-843

Introduction

Plants are known to contain substances with high bioactivity, some of them being antioxidative and anticancerogenic. It is particularly important when these substances are present in renewable plant organs, such as fruits and leaves. Members of the genus *Celastrus* L. (bittersweet), deciduous vines or sometimes vining shrubs, represent a group of plants with promising potential in this respect. These plants are found in Asia, America, Australia and Madagascar. Three taxa of *Celastrus* occur in the Russian Far East. Some chemical compounds, contained in their leaves, demonstrate anti-inflammatory, antioxidant, antifeeding, antifungal, antiviral, cytotoxic and antineoplastic activity [1; 4; 6; 7; 11; 14; 15; 17]. Leaves of *Celastrus* are known to accumulate flavonoid glucosides with high bioactivity. Relevant publications have some records of flavonoid compounds in the leaves of some *Celastrus* species; these compounds include glucosides based on kaempferol and quercetin: *C. orbiculatus* Thunb.: kaempferol-7-rhamnoside, kaempferol-3,7-dirhamnoside, kaempferol-3 – glucoside- 7-rhamnoside, quercetin-3,7-dirhamnoside; *C. rugosus* Rehder & E.H.Wilson: kaempferol-3- α -L-rhamnoside-7- α -rhamnoside, kaempferol-3- β -glucoside-7-rhamnoside, quercetin-3- β -glucoside-7- α -rhamnoside; *C. scandens* L.: kaempferol-3- α -rhamnoside- α -rhamnoside, kaempferol-3- β -glucoside-7- α -rhamnoside, quercetin-3- α -glucoside-7- α -rhamnoside) [11; 12; 22; 23]. Leaves of *C. orbiculatus* are known to be used in alternative (ethnic) medicine to treat paralysis, headaches and toothaches or snake bites. Parts of this plant, including leaves, are believed to possess anti-inflammatory, anti-rheumatic, purifying and tonic properties [2; 3; 10; 18; 21]. Other representatives are poorly investigated in terms of their biochemistry.

In Russia and abroad, *C. orbiculatus* and *C. scandens* are grown as ornamental crops for vertical gardening. In botanic gardens, the range of representatives of this genus is much greater.

A search for plants with important medicinal properties, including those used to control and combat cancer, among local indigenous floras or those for which introductory trials have just been successfully completed and now grown in cultivation, is of crucial importance these days. *Celastrus* appears to be one of such plants introduced in Moscow region [8; 16; 19; 20; 21; 23].

The present research is aimed at revealing the most promising representatives of the studied genus, well adapted to Moscow region, with high foliar productivity and containing bioactive substances (antioxidant and anti-carcinogenic) in their leaves.

Earlier, the authors have discussed the leaf productivity of *Celastrus* shoots in detail [9]. In the present paper, a complex approach to the productivity of bittersweets is practiced as these plants are known to have great medicinal potential; we also consider all summarized data as well as updated and specified previously obtained data on leaf productivity and new data on the plant shoot biochemistry.

Materials and methods

6 taxa of the genus *Celastrus* from the collection of the Arboretum of Tsitsin Main Botanical Garden RAS (MBG RAS) served as the material for the present study, namely: *C. orbiculatus*, *C. orbiculatus* var. *punctatus* Rehder, *C. rugosus*, *C. scandens*, *C. strigillosus* Nakai and *C. flagellaris* Rupr. The shoots were collected in late July 2022. 19-20 annual markedly elongated shoots growing on the southern side in the middle of the canopy were collected from each plant. The shoots were then defoliated, leaves were measured (length and width), starting from the upper one. Then the leaves were weighed on technical scales consecutively, starting from the shoot apex. Mean leaf productivity of shoots was then calculated, the former equals mean number of leaves on the shoot multiplied by mean leaf weight. The data obtained were processed by means of variation statistics [5].

For the biochemical study, frozen leaf samples (kept in the freezer at -10°C) were analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC) with ultraviolet (UV) and mass (MS) detection. Spectral data (UV-profiles and MS-profiles) of substances prevailing in methanol extracts were obtained. The resulting data were interpreted and analyzed using relevant literature record [5; 18; 21; 23].

Results and discussion

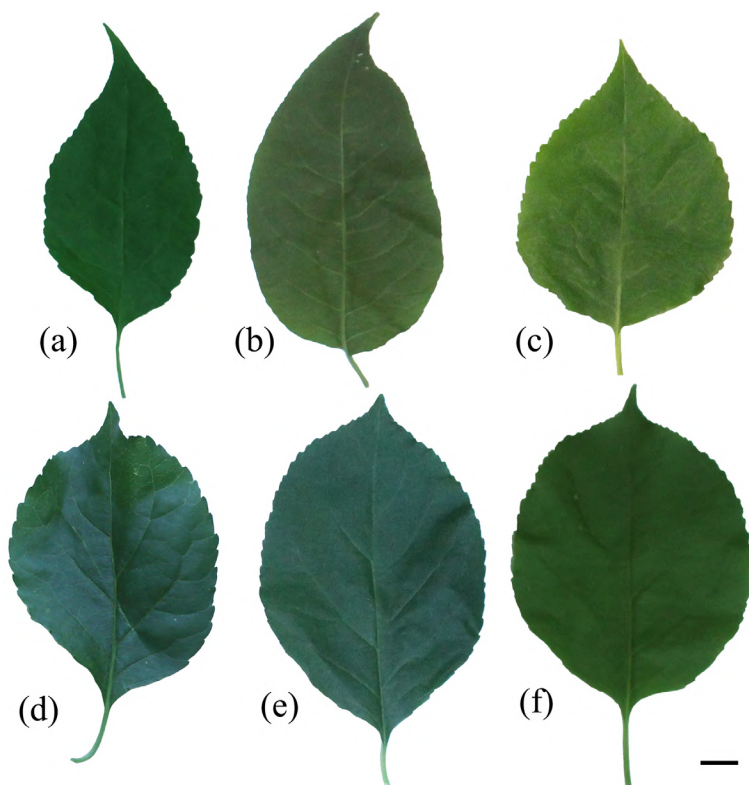


Fig. 1. Leaves of *Celastrus* species from the Arboretum of MBG RAS (in preparing). (a) – *C. orbiculatus* var. *punctatus*; (b) – *C. scandens*; (c) – *C. orbiculatus*; (d) – *C. strigillosus*; (e) – *C. rugosus*; (f) – *C. flagellaris*. Scale bar – 1 sm.

C. scandens was found to have the greatest mean number of leaves per shoot – 42, while *C. strigillosus* had the least one – 21. The other taxa appeared to be in the intermediate position in terms of this trait: *C. flagellaris* – 28, *C. rugosus* – 31, *C. orbiculatus* – 32, *C. orbiculatus* var. *punctatus* – 41. Mean leaf weight ranged from 0.42 ± 0.03 g (maximum) in *C. strigillosus* to 0.19 ± 0.01 g in *C. orbiculatus*. For other studied taxa, the following values were found: *C. orbiculatus* var. *punctatus* – 0.24 ± 0.01 g, *C. scandens* – 0.26 ± 0.01 g, *C. rugosus* – 0.33 ± 0.02 g, *C. flagellaris* – 0.38 ± 0.01 g. Mean leaf length in the studied taxa appeared to increase in the following order: *C. orbiculatus* – 5.27 ± 0.14 cm, *C.*

orbiculatus var. *puncatus* – $5,73 \pm 0,18$ cm, *C. rugosus* – $6,52 \pm 0,20$ cm, *C. scandens* – $6,59 \pm 0,24$ cm, *C. strigillosus* – $6,71 \pm 0,21$ cm, *C. flagellaris* – $6,74 \pm 0,11$ cm (Fig. 1). Mean leaf width: *C. orbiculatus* var. *puncatus* – $3,34 \pm 0,09$ cm, *C. orbiculatus* – $3,52 \pm 0,11$ cm, *C. scandens* – $3,76 \pm 0,16$ cm, *C. rugosus* – $4,09 \pm 0,09$ cm, *C. flagellaris* – $4,19 \pm 0,08$ cm, *C. strigillosus* – $4,89 \pm 0,21$ cm. The least mean leaf productivity was recorded for *C. orbiculatus* – 6,28 g, the greatest one – for *C. scandens* – 10,92 g. For other studied taxa, the corresponding value was as follows: *C. strigillosus* – 8,75 g, *C. orbiculatus* var. *punctatus* – 9,95 g, *C. rugosus* – 10,23 g, *C. flagellaris* – 10,64 g (Fig. 2, Table 1) [9].

In *C. scandens*, the mean leaf productivity of the shoot and the mean leaf count per shoot were found to exceed the respective values in other investigated taxa. In *C. orbiculatus*, the mean leaf productivity and the mean leaf weight were the smallest of all studied taxa.

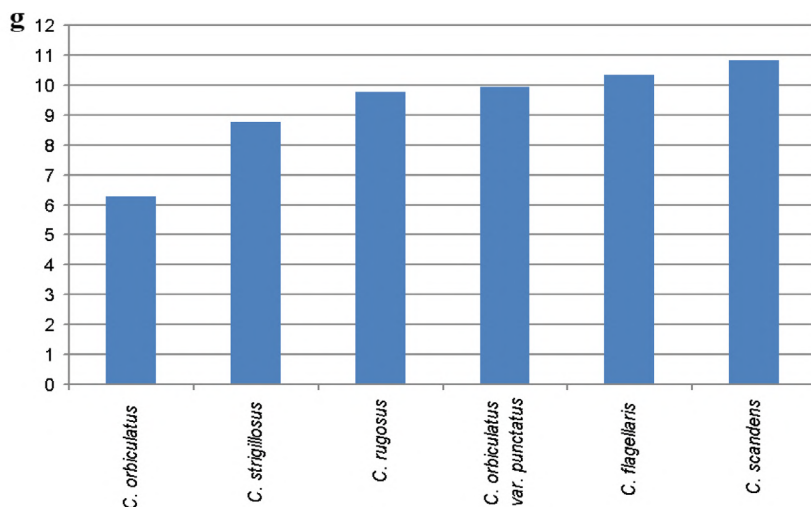


Fig. 2. Leaf productivity in *Celastrus* in the Arboretum of MBG RAS

Table 1.

Morphometric and weight characteristics of *Celastrus* leaves

Taxa	Leaf count per shoot	Leaf weight, g	Leaf length, cm	Leaf width, cm	Leaf productivity, g
<i>C. rugosus</i>	31	0,33	6,52	4,09	9,77
<i>C. orbiculatus</i>	32	0,19	5,27	3,52	6,28
<i>C. scandens</i>	42	0,26	6,59	3,76	10,82

<i>C. flagellaris</i>	28	0,38	6,74	4,19	10,34
<i>C. strigillosus</i>	21	0,42	6,71	4,89	8,75
<i>C. orbiculatus</i> var. <i>puncatus</i>	41	0,24	5,73	3,34	9,95

Table 2.

Presence of flavonoid glucosides and their derivatives, catechin and afzelechin derivates in leaf samples of the studied *Celastrus* representatives

Taxa	Derivates of		
	Quercetin	Kaempferol	Afzelechin
<i>C. rugosus</i>	Quercetin glucoside, quercetin dirhamnoside, quercetin glucorhamnoside	Kaempferol dirhamnoside, kaempferol glucorhamnoside	
<i>C. orbiculatus</i>	quercetin dirhamnoside	kaempferol glucorhamnoside	afzelechin, afzelechin dimer, afzelechin trimer
<i>C. scandens</i>	quercetin glucorhamnoside, quercetin diglucorhamnoside	kaempferol diglucorhamnoside	
<i>C. flagellaris</i>		kaempferol dirhamnoside, kaempferol glucorhamnoside	afzelechin dimer
<i>C. strigillosus</i>		kaempferol dirhamnoside, kaempferol glucorhamnoside	afzelechin, afzelechin dimer, afzelechin trimer
<i>C. orbiculatus</i> var. <i>puncatus</i>		kaempferol dirhamnoside, kaempferol glucorhamnoside	afzelechin, afzelechin dimer, afzelechin trimer

The most common classes of chemical compounds found in leaves of the studied taxa were flavonoid glucosides: quercetin and kaempferol derivatives, as well as condensed tannins, catechin and afzelechin derivatives (table 2). However, the presence of all three substance groups is only revealed in *C. orbiculatus*. Afzelechin derivatives possess antioxidant and anticancerogenic activity [13]. They occur not only in leaves of *C. orbiculatus* but also in *C. flagellaris*, *C. strigillosus* and *C. orbiculatus* var. *puncatus*. It is noteworthy that for the three latter taxa appeared to have kaempferol derivatives in their leaves while quercetin

derivates are missing. In leaves of *C. scandens* and *C. rugosus*, no afzelechin derivates were found, but they do contain quercetin derivatives.

Conclusion

Thus, despite high values of averaged data on leaf productivity of shoots in *C. rugosus*, for further search of plants with leaves containing powerful antioxidants and anti-cancerogenic substances, *C. flagellaris*, *C. strigillosus* and *C. orbiculatus* can be recommended as the species introduced and adapted to the conditions of Moscow region and containing afzelechin and its derivatives.

Conclusion of the Ethics Committee. Not applicable.

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

Sponsorship Information. The work was conducted within the framework of the target plan commissioned by the Ministry of Agriculture of Russian Federation and funded by the Federal budget.

The work was partially conducted within the framework of the state task of the MBG RAS of the program: “Biological diversity of natural and cultural flora: fundamental and applied issues of study and collection”, No. 122042700002-6.

Закключение комитета по этике. Неприменимо.

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

Информация о спонсорстве. Работа выполнена в рамках тематического плана-задания по заказу Министерства сельского хозяйства РФ за счет средств федерального бюджета.

Работа частично выполнена в рамках государственного задания ГБС РАН по теме: «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения», № 122042700002-6.

References

1. Bandyukova V.A., Sergeeva N.V. Sostoyanie khimicheskogo izucheniya rasteniy poriyadka Celastrales [State of the chemical study of plants of the order Celastrales]. *Rastitel'nye resursy*, 1977, vol. 13 (3), pp. 560-569.
2. *Sredstva ayurvedy* [Ayurvedic remedies]. <https://himalay.ru/product/geriforte/> (accessed September 30, 2022).
3. *Spravochnik lekarstvennykh sredstv* [Directory of medicines]. <https://www.vidal.ru/veterinar/geriforte-vet-liquid-28116#composition> (accessed September 27, 2022).

4. *Drevesnye rasteniya Glavnogo botanicheskogo sada im N.V.Tsitsina RAN: 60 let introduktsii* [Woody plants of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin RAS: 60 years of introduction]. Moscow: Nauka, 2005, 586 p.
5. Zaytsev G.N. *Matematika v eksperimental'noy botanike* [Mathematics in experimental botany]. Moscow: Nauka, 1990, 256 p.
6. Kostina M.V., Savinov I.A. Stroenie i ritm razvitiya generativnykh pobegov v rode *Celastrus* L. (Celastraceae R.Br.) [Structure and rhythm of development of generative shoots in the genus *Celastrus* L. (Celastraceae R.Br.)]. *Byull. Glavnogo botanicheskogo sada RAN*, 2002, no. 183, pp. 31-40.
7. Rastitel'nye resursy Rossii: Dikorastushchie tsvetkovye rasteniya, ikh komponentnyy sostav i biologicheskaya aktivnost' Vol. 3. Semeystva Fabaceae – Apiaceae [Plant resources of Russia: Wild flowering plants, their component composition and biological activity Vol. 3. Families Fabaceae - Apiaceae]. *Semeystvo Celastraceae* [Family Celastraceae], Moscow – Saint-Petersburg: KMK, 2010, pp. 130-136.
8. Savinov I.A., Solomonova E.V., Trusov N.A., Simakov G.A. Produktivnost' listovoy massy *Celastrus orbiculatus* Thunb. (Celastraceae) v usloviyakh Moskovskogo regiona [Leaf productivity of *Celastrus orbiculatus* Thunb. (Celastraceae) in the conditions of the Moscow region]. *Vestnik KrasGAU*, 2022, vol. 12, pp. 49-53. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-12-49-53>
9. Savinov I.A., Solomonova E.V., Trusov N.A., Simakov G.A. Botanicheskaya ocenka lekarstvennogo potentsiala drevogubcev (*Celastrus* L.) [Botanical evaluation of medicinal potential of bittersweets (*Celastrus* L.)]. *Izvestiya Timirjazevskoy sel'skhozjajstvennoj akademii*, 2022, iss. 6, pp. 13-30. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-13-30>
10. *Himkolin, instruktsiya po primeneniyu* [Himcolin, instructions for use], https://speman-shop.ru/Himcolin_instruction.pdf (accessed September 25, 2022).
11. Shul'gina V.V. Rod Drevogubets, ili Krasnopuzyrnik – *Celastrus* L. *Derev'ya i kustarniki SSSR* [Trees and shrubs of the USSR], 1958, vol. 4, pp. 391-397.
12. R. Chang C. Wang Q. Zeng, B. Guan, W. Zhang H. Jin Chemical components of the stems of *Celastrus rugosus*. *Pharmacol Research*, 2013, vol. 36, pp. 1291-1301.
13. De Bruyne T. et al. Condensed vegetable tannins: biodiversity in structure and biological activities. *Biochemical Systematics and Ecology*, 1999, vol. 27, no. 4, pp. 445-459.
14. Ding Hou. A revision of the genus *Celastrus*. *Ann. Miss. Bot. Gard*, 1955, vol. 42, no. 3, pp. 215-302.
15. Duke. J.A., Ayensu. E.S. *Medicinal Plants of China. Reference Publications*, 1985, 705 p.

16. Foster. S., Duke. J.A. A Field Guide to Medicinal Plants. *Houghton Mifflin Co*, 1990, 411 p.
17. Godkar P.B., Gordon R.K., Ravindran A., Doctor B.P. *Celastrus paniculatus* seed oil and organic extracts attenuate hydrogen peroxide- and glutamate-induced injury in embryonic rat forebrain neuronal cells. *Phytomedicine*, 2006, no. 13 (1-2), pp. 29-36.
18. Kanao M., Shimokoriyama N. A flavones glycoside of *Celastrus orbiculata*. *Acta phytochem*, 1949, no. 15, pp. 229.
19. Maurya H., Arya R.K.K., Belwal T., Rana M., Kumar A. *Celastrus paniculatus*. *Naturally Occurring Chemicals Against Alzheimer's Disease*, 2021, pp. 425-435.
20. Mu X.-Y., Zhao L.-C., Zhang Z.-X. Phylogeny of *Celastrus* L. (Celastraceae) inferred from two nuclear and three plastid markers. *J Plant Res*, 2012, no. 125, pp. 619-630.
21. Rządowska-Bodalska H. Flawonoidy w lisciach *Celastrus orbiculata* Thunb. *Rocz. chem.*, 1970, no. 44 (2), pp. 283.
22. Shen Y. et al. Traditional uses, secondary metabolites, and pharmacology of *Celastrus* species-a review. *Journal of ethnopharmacology*, 2019, vol. 241, pp. 111934.
23. Yang N. et al. Comprehensive metabolomics analysis based on UPLC-Q/TOF-MS E and the anti-COPD effect of different parts of *Celastrus orbiculatus* Thunb. *RSC advances*, 2020, vol. 10, №. 14, pp. 8396-8420.

Список литературы

1. Бандюкова В.А., Сергеева Н.В. Состояние химического изучения растений порядка Celastrales // Растительные ресурсы. 1977. Т. 13, вып. 3. С. 560-569.
2. Герифорте // Средства аюрведы [Электронный ресурс]. URL: <https://himalay.ru/product/geriforte> (дата обращения: 30.09.2022).
3. Герифорте вет жидкость // Справочник лекарственных средств [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vidal.ru/veterinar/geriforte-vet-liquid-28116#composition> (дата обращения: 27.09.2022).
4. Древесные растения Главного ботанического сада им Н.В.Цицина РАН: 60 лет интродукции / Отв. ред. А.С. Демидов. М.: Наука, 2005. 586 с.
5. Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1990. 256 с.
6. Костина М.В., Савинов И.А. Строение и ритм развития генеративных побегов в роде *Celastrus* L. (Celastraceae R.Br.) // Бюлл. Главного ботанического сада РАН. 2002. Вып. 183. С. 31-40.
7. Растительные ресурсы России: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность Т. 3. Семейства Fabaceae –

- Apiaceae // Семейство Celastraceae: сост. Л.И. Шагова, А.Л. Буданцев, Т.А. Орлова / Отв. ред. А.Л. Буданцев. – М.-СПб: Тов-во научн. изд. КМК, 2010. 601 с. С. 130-136.
8. Савинов И.А., Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Симаков Г.А. Продуктивность листовой массы *Celastrus orbiculatus* Thunb. (Celastraceae) в условиях Московского региона // Вестник КрасГАУ. 2022. Вып. 12. С. 49-53. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-12-49-53>
 9. Савинов И.А., Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Симаков Г.А. Ботаническая оценка лекарственного потенциала древогубцев (*Celastrus* L.) // Известия ТСХА. 2022. Выпуск 6. С. 13-30. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-13-30>
 10. Химколин, инструкция по применению [Электронный ресурс]. URL: https://speman-shop.ru/Himcolin_instruction.pdf (дата обращения: 25.09.2022).
 11. Шульгина В.В. Род Древогубец, или Краснопузырник – *Celastrus* L. / Соколов С.Я. (ред.) // Деревья и кустарники СССР. 1958. Т. 4. С. 391-397.
 12. Chang R. et al. Chemical components of the stems of *Celastrus rugosus* / R. Chang C. Wang Q. Zeng, B. Guan, W. Zhang H. Jin // Pharmacal Research. 2013. Vol. 36. P. 1291-1301.
 13. De Bruyne T. et al. Condensed vegetable tannins: biodiversity in structure and biological activities // Biochemical Systematics and Ecology. 1999. Т. 27. № 4. С. 445-459.
 14. Ding Hou. A revision of the genus *Celastrus* // Ann. Miss. Bot. Gard. 1955. Vol. 42. № 3. P. 215-302.
 15. Duke. J.A., Ayensu. E.S. *Medicinal Plants of China*. Reference Publications. 1985. 705 p.
 16. Foster. S., Duke. J.A. *A Field Guide to Medicinal Plants*. Houghton Mifflin Co. 1990. 411 p.
 17. Godkar P.B., Gordon R.K., Ravindran A., Doctor B.P. *Celastrus paniculatus* seed oil and organic extracts attenuate hydrogen peroxide- and glutamate-induced injury in embryonic rat forebrain neuronal cells // Phytomedicine. 2006. Vol. 13 (1-2). P. 29-36.
 18. Kanao M., Shimokoriyama N. A flavones glycoside of *Celastrus orbiculata*. Acta phytochem. 1949. Vol. 15. P. 229.
 19. Maurya H., Arya R.K.K., Belwal T., Rana M., Kumar A. *Celastrus paniculatus* // Naturally Occurring Chemicals Against Alzheimer's Disease. 2021. P. 425-435.
 20. Mu X.-Y., Zhao L.-C., Zhang Z.-X. Phylogeny of *Celastrus* L. (Celastraceae) inferred from two nuclear and three plastid markers // J Plant Res. 2012. № 125. P. 619-630.

21. Rzadkowska-Bodalska H. Flawonoidy w lisciach *Celastrus orbiculata* Thunb. // Roczn. chem. 1970. Vol. 44 (2). P. 283.
22. Shen Y. et al. Traditional uses, secondary metabolites, and pharmacology of *Celastrus* species-a review // Journal of ethnopharmacology. 2019. T. 241. C. 111934.
23. Yang N. et al. Comprehensive metabolomics analysis based on UPLC-Q/TOF-MS E and the anti-COPD effect of different parts of *Celastrus orbiculatus* Thunb // RSC advances. 2020. T. 10. №. 14. C. 8396-8420.

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

Ivan A. Savinov, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Professor of the Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

i.savinov@rgau-msha.ru

SPIN-code: 7022-2607

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8673-0052>

ResearcherID: G-9551-2017

Scopus Author ID: 23062209400

Ekaterina V. Solomonova, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

solomonova@rgau-msha.ru

SPIN-code: 3324-7723

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0061-4080>

ResearcherID: ABF-2570-2021

Scopus Author ID: 57193072963

Nikolay A. Trusov, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Den-

drology

Tsitsin Main Botanical Garden of Russian Academy of Sciences

4, Botanicheskaya Str., Moscow, 127276, Russian Federation

n-trusov@mail.ru

SPIN-code: 2193-2203

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5147-6602>

ResearcherID: J-2180-2018

Scopus Author ID: 55883940800

Alexey V. Zhevnerov, Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor, Associate Professor of Chemistry Department

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

a.zhevnerov@rgau-msha.ru

SPIN-code: 2395-1929

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1658-762X>

ResearcherID: J-4346-2013

Scopus Author ID: 15081849000

Elena Yu. Yembaturova, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Botany, Plant Breeding and Seed Technology

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

e.embaturova@rgau-msha.ru

SPIN-code: 6390-3500

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5115-4921>

ResearcherID: AAE-6411-2022

Scopus Author ID: 6504664814

Sokrat G. Monakhos, Dr. Sci. (Plant breeding), Professor, Head of the Department Botany, Plant Breeding and Seed Technology

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

s.monakhos@rgau-msha.ru

SPIN-code: 7130-9663

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9404-8862>

ResearcherID: I-7729-2017

Scopus Author ID: 56052882900

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Савинов Иван Алексеевич, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 276434, Российская Федерация
i.savinov@rgau-msha.ru

Соломонова Екатерина Владимировна, канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 276434, Российская Федерация
solomonova@rgau-msha.ru

Трусов Николай Александрович, канд. биол. наук, старший научный сотрудник Лаборатории дендрологии

Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация
n-trusov@mail.ru

Жевнеров Алексей Валерьевич, канд. хим. наук, доцент, доцент кафедры химии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 276434, Российская Федерация
a.zhevnerov@rgau-msha.ru

Ембатурова Елена Юрьевна, канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева»

ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 276434, Российская Федерация
e.embaturova@rgau-msha.ru

Монахос Сократ Григорьевич, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий
кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений
*Федеральное государственное бюджетное образовательное уч-
реждение высшего образования «Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»*
ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127434, Российская Федерация
s.monakhos@rgau-msha.ru

Поступила 10.10.2023

После рецензирования 11.12.2023

Принята 10.01.2024

Received 10.10.2023

Revised 11.12.2023

Accepted 10.01.2024

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

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕСТОСТЕРОНА И ХОЛЕСТЕРИНА У ЛИСИЦ (<i>VULPES VULPES</i>) РАЗНЫХ ЦВЕТОВЫХ ТИПОВ В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ Ю.А. Березина, О.Ю. Беспярых, М.А. Перевозчикова, И.А. Плотников, И.А. Домский, А.С. Сюткина	11
ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОГО БИОИНСЕКТИЦИДА НА МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СТАТУС ГЕМОЦИТОВ <i>BLAPTICA DUBIA</i> Е.А. Гребцова, А.А. Присный	32
СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕПАРАТА СТИМУЛЯЦИИ РЕГЕНЕРАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СКОРОСТЬ РОСТА ВОЛОС У БЕЛЫХ КРЫС О.Б. Жданова, И.И. Окулова, Е.Б. Дунаева, О.В. Часовских	44
ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИЧИНОК В МЫШЦАХ И НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ <i>GALLUS GALLUS</i> ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ЗАРАЖЕНИИ <i>TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS</i> О.Б. Жданова, О.В. Часовских	63

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РОСТА И СОЗРЕВАНИЯ ПЛОДОВ АБРИКОСА (<i>PRUNUS ARMENIACEAE</i>) СОРТОВ МОСКОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ В СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ РОССИИ В.В. Кондратьева, М.В. Семенова, А.Г. Куклина, Л.С. Олехнович, Т.В. Воронкова	82

ЭКОЛОГИЯ, ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ДОПОЛНЕНИЯ К ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКЕ СРЕДЫ
УРБООКОСИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОНОВЫХ ВИДОВ
РАСТЕНИЙ ЗЕЛЁНЫХ ЗОН

**В.М. Нестеренко, И.В. Москаленко, М.В. Авраменко,
Л.Н. Анищенко** 105

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ,
РЕАЛИЗУЕМЫЕ В РОССИИ, КАК ИСТОЧНИК
ПОСТУПЛЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОЧВУ

**А.Д. Котельникова, К.А. Колчанова, М.А. Шишкин,
О.Б. Рогова** 126

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ЛИСТЬЕВ ПОПУЛЯЦИЙ *ACER NEGUNDO* L.
В ВЫСОТНОМ ГРАДИЕНТЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА
(РЕСПУБЛИКА АДЫГЕЯ)

**Е.М. Еднич, И.В. Чернявская, Т.Н. Толстикова,
М.Н. Хагур, М.В. Алиев** 142

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

АНАЛИЗ ПРИСУТСТВИЯ ТОКСИНОВ
ESCHERICHIA COLI, *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS*,
C. DIFFICILE В ОБЪЕМИСТЫХ КОРМАХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА
И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

**В.А. Филиппова, Е.А. Йылдырым, Л.А. Ильина,
Г.Ю. Лаптев, А.В. Дубровин, В.А. Заикин, К.А. Калиткина,
А.С. Дубровина, И.Г. Малахов, И.А. Ключникова** 164

ГЕНОТИПИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ОВЕЦ БУУБЭЙ И
ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ ПО ГЕНАМ *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*,
KAP1.3 И ИХ СВЯЗЬ С ПРОДУКТИВНОСТЬЮ

**Г.М. Гончаренко, Т.Н. Хамируев, С.М. Дашиинимаев,
Т.С. Хорошилова, О.Л. Халина, Н.Б. Гришина** 186

FIRST REPORT OF CO-HARBORING BLEOMYCIN RESISTANCE GENE (*ble_{MBL}*) AND CARBAPENEMASE RESISTANCE GENE (*bla_{NDM-1}*) KLEBSIELLA PNEUMONIAE IN IRAQ WITH COMPARISON STUDY AMONG THE SENSITIVITY TEST, THE BD PHOENIX CPO DETECT TEST, AND THE RAPIDEC® CARBA NP TEST FOR DETECTING CARBAPENEM RESISTANT GRAM NEGATIVE BACTERIA

Sarah Ahmed Hasan, Waad Mahmood Raoof, Khaled Khalil Ahmed 208

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО НОВЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

В.Л. Сапунков, А.В. Гузенко 238

СИСТЕМА СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СЕЛЕКЦИОННОЙ РАБОТЫ
С *POLEMONIUM CAERULEUM L.*

Ф.М. Хазиева, И.Н. Коротких, И.В. Басалаева, Т.Е. Саматадзе 254

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

ДЕПОНИРОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА
В АГРОБИОГЕОЦЕНОЗАХ УМЕРЕННО-ЗАСУШЛИВОЙ
СТЕПИ АЛТАЯ

А.Е. Кудрявцев, Е.С. Ваганов 274

ВЛИЯНИЕ РАННЕВЕСЕННИХ ПОДКОРМОК
АММИАЧНОЙ СЕЛИТРОЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ
ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЕ КАШТАНОВЫХ
ПОЧВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Л. Сапунков 290

РОЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ В АДАПТАЦИИ
РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕНОКОСОВ
ДЛЯ КОРМОПРОИЗВОДСТВА

А.Л. Силаев, Н.М. Белоус, Е.В. Смольский 305

МИКРОБОЦЕНОЗ РИЗОСФЕРЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОПРЕПАРАТОВ

**Н.Н. Шулико, Е.В. Тукмачева, И.А. Корчагина,
А.А. Киселёва, О.Ф. Хамова, А.Ю. Тимохин,
Ю.Ю. Паршуткин, Е.В. Кубасова** 323

САДОВОДСТВО И ЛЕСОВОДСТВО

ДЕНДРОЛОГИЧЕСКИЕ КОЛЛЕКЦИИ
КУЛУНДИНСКОГО КЛАСТЕРА ФНЦ АГРОЭКОЛОГИИ РАН

А.А. Долгих, А.И. Беляев, А.Ш. Хужахметова 348

ПРОДУКТИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
АГРОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЛОС

О.В. Рулева, А.А. Новиков, З.М. Казиева 364

ПРОБЛЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО
МИКРОРАЗМНОЖЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ
И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИХ РЕШЕНИЮ

С.А. Корнацкий 385

**ЗДРАВООХРАНЕНИЕ
И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ НА ГОДОВУЮ
ДИНАМИКУ ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА

**О.Н. Рагозин, Е.Ю. Шаламова, И.В. Радыш,
Д.А. Погоньшев, С.М. Чибисов, И.А. Погоньшева** 402

ФАКТОР ТРЕВОЖНОСТИ У ПОДРОСТКОВ РАЗНЫХ
ПОПУЛЯЦИОННЫХ ГРУПП СИБИРИ С АЛЕКСИТИМИЕЙ

О.И. Зайцева, Т.А. Колодяжная, Ж.Г. Зайцева 416

ОПЫТ РЕГИОНОВ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭКСПОРТА
ПРОДУКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
АЛТАЙСКОГО КРАЯ

С.Н. Бочаров, М.М. Бутакова, О.Н. Соколова 437

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ
ЖИВОТНОВОДСТВА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ
(НА ПРИМЕРЕ МАРалОВОДСТВА РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ)

**И.С. Абдуллаев, Р.Г. Ахмадеев, Д.Н. Аванесян,
И.Ю. Ваславская 454**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИИ ЛЕСНОЙ ОТРАСЛИ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ
УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ

С.О. Медведев, М.А. Зырянов 475

ЛИСТОВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОБЕГОВ,
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВИДОВ РОДА CELASTRUS,
ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

**И.А. Савинов, Е.В. Соломонова, Н.А. Трусов,
А.В. Жевнеров, Е.Ю. Ембатунова, С.Г. Монахос 493**

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ 508

CONTENTS

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DYNAMICS OF TESTOSTERONE AND CHOLESTEROL CONCENTRATION IN FOXES (<i>VULPES VULPES</i>) OF DIFFERENT COLOR TYPES IN POSTNATAL ONTOGENESIS Yu.A. Berezina, O.Yu. Bespyatykh, M.A. Perevozchikova, I.A. Plotnikov, I.A. Donskiy, A.S. Syutkina	11

THE EFFECT OF BACTERIAL BIOINSECTICIDE ON THE MORPHOFUNCTIONAL STATUS OF HEMOCYTES <i>BLAPTICA DUBIA</i> E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi	32

COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF REGENERATION STIMULATION DRUG ON THE STRUCTURE AND RATE OF HAIR GROWTH IN WHITE RATS O.B. Zhdanova, I.I. Okulova, E.B. Dunaeva, O.V. Chasovskikh	44

STUDY OF THE DISTRIBUTION OF LARVAE IN MUSCLES AND SOME PERIPHERAL BLOOD PARAMETERS OF <i>GALLUS GALLUS</i> IN EXPERIMENTAL INFECTION WITH <i>TRICHINELLA PSEUDOSPIRALIS</i> O.B. Zhdanova, O.V. Chasovskikh	63

PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF GROWTH AND MATURATION OF APRICOT (<i>PRUNUS</i> <i>ARMENIACEAE</i>) VARIETIES OF MOSCOW SELECTION IN CENTRAL RUSSIA V.V. Kondrat'eva, M.V. Semenova, A.G. Kuklina, L.S. Olekhnovich, T.V. Voronkova	82

ECOLOGY, SOIL SCIENCE AND NATURE MANAGEMENT

THE ADDITIONS TO LONG-TERM
ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URBOECO-SYSTEMS
USING BACKGROUND SPECIES GREEN
AREAS PLANTS

**V.M. Nesterenko, I.V. Moskalenko, M.V. Avramenko,
L.N. Anishchenko** 105

PHOSPHATE FERTILIZERS MARKETED
IN RUSSIA AS A SOURCE OF RARE EARTH ELEMENTS
IN THE SOIL

**A.D. Kotelnikova, K.A. Kolchanova, M.A. Shishkin,
O.B. Rogova** 126

MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF LEAVES
OF *ACER NEGUNDO* L. POPULATIONS IN THE ALTITUDINAL
GRADIENT OF THE NORTH-WEST CAUCASUS
(REPUBLIC OF ADYGEA)

**E.M. Ednich, I.V. Chernyavskaya, T.N. Tolstikova,
M.N. Khagur, M.V. Aliev** 142

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

ANALYSIS OF THE PRESENCE OF TOXINS FROM *ESCHERICHIA
COLI*, *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS*, *C. DIFFICILE* IN BULK FEEDS
OF SAINT-PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

**V.A. Filippova, E.A. Yildirim, L.A. Ilina, G.Yu. Laptev,
A.V. Dubrovin, V.A. Zaikin, K.A. Kalitkina, A.S. Dubrovina,
I.G. Malakhov, I.A. Klyuchnikova** 164

GENOTYPIC STRUCTURE OF THE BUUBEI
AND ZABAIKALSKAYA BREED SHEEP ACCORDING
TO THE GENES *GDF9*, *CAST*, *KRT1.2*, *KAP1.3*
AND THEIR RELATIONSHIP WITH PRODUCTIVITY

**G.M. Goncharenko, T.N. Khamiruev, S.M. Dashinimaev,
T.S. Khoroshilova, O.L. Khalina, N.B. Grishina** 186

FIRST REPORT OF CO-HARBORING BLEOMYCIN RESISTANCE GENE (*ble_{MBL}*) AND CARBAPENEMASE RESISTANCE GENE (*bla_{NDM-1}*) KLEBSIELLA PNEUMONIAE IN IRAQ WITH COMPARISON STUDY AMONG THE SENSITIVITY TEST, THE BD PHOENIX CPO DETECT TEST, AND THE RAPIDEC® CARBA NP TEST FOR DETECTING CARBAPENEM RESISTANT GRAM NEGATIVE BACTERIA

Sarah Ahmed Hasan, Waad Mahmood Raoof, Khaled Khalil Ahmed 208

SOIL FERTILITY AND PLANT PROTECTION

THE INFLUENCE OF SOIL AND CLIMATIC FEATURES OF THE DRY-STEPPE ZONE OF CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION ON THE YIELD AND QUALITY OF NEW VARIETIES OF WINTER WHEAT

V.L. Sapunkov, A.V. Guzenko 238

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

SOME ASPECTS OF BREEDING WITH *POLEMONIUM CAERULEUM* L.

F.M. Khazieva, I.N. Korotkikh, I.V. Basalaeva, T.E. Samatadze 254

AGROCHEMISTRY AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DEPOSITION OF ORGANIC CARBON IN AGROBIOGEOCENOSES OF THE TEMPERATE ARID STEPPE OF ALTAI

A.E. Kudryavtsev, E.S. Vaganov 274

THE EFFECT OF EARLY SPRING FERTILIZING WITH AMMONIUM NITRATE ON THE YIELD AND QUALITY OF WINTER WHEAT VARIETIES IN THE DRY-STEPPE ZONE OF CHESTNUT SOILS OF THE VOLGOGRAD REGION

V.L. Sapunkov 290

ROLE OF MINERAL FERTILIZER IN ADAPTATION OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED HAYFIELDS FOR FEED PRODUCTION

A.L. Silaev, N.M. Belous, E.V. Smolsky 305

**MICROBOCENOSIS OF THE RHIZOSPHERE OF SOFT WHEAT
WHEN USING BIOLOGICAL PRODUCTS**

**N.N. Shuliko, E.V. Tukmacheva, I.A. Korchagina,
A.A. Kiseleva, O.F. Khamova, A.Yu. Timokhin,
Yu.Yu. Parshutkin, E.V. Kubasova 323**

HORTICULTURE AND FORESTRY**DENDROLOGICAL COLLECTIONS OF THE KULUNDA CLUSTER
FEDERAL RESEARCH CENTER OF AGROECOLOGY**

A.A. Dolgikh, A.I. Belyaev, A.Sh. Khuzhakhmetova 348

**PRODUCTIVITY OF PHOTOSYNTHETIC
ACTIVITY OF AGROCENOSSES IN THE ZONE
OF INFLUENCE OF FOREST STRIPS**

O.V. Ruleva, A.A. Novikov, Z.M. Kazieva 364

**PROBLEMS OF YEAR-ROUND MICROPROPIATION
OF STRAWBERRY AND NEW APPROACHES
TO THEIR SOLUTION**

S.A. Kornatskiy 385

**PUBLIC HEALTH
AND PREVENTIVE MEDICINE****THE INFLUENCE OF GEOGRAPHICAL LATITUDE ON THE ANNUAL
DYNAMICS OF THE PHOTOPERIODIC COEFFICIENT**

**O.N. Ragozin, E.Yu. Shalamova, I.V. Radysh,
D.A. Pogonyshyev, S.M. Chibisov, I.A. Pogonysheva 402**

**ANXIETY FACTOR IN ADOLESCENTS OF DIFFERENT POPULATION
GROUPS OF SIBERIA WITH ALEXITHYMIA**

O.I. Zaitzeva, T.A. Kolodyazhnaya, Gh.G. Zaitzeva 416

EXPERIENCE OF REGIONS**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF EXPORTS OF PLANT PRODUCTS
OF THE ALTAI REGION**

S.N. Bocharov, M.M. Butakova, O.N. Sokolova 437

FORMATION OF A STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF ANIMAL HUSBANDRY AT THE REGIONAL LEVEL (USING THE EXAMPLE OF MARAL BREEDING IN THE ALTAI REPUBLIC) I.S. Abdullayev, R.G. Akhmadeev, D.N. Avanesian, I.Yu. Vaslavskaya	454
THE USE OF FOREST PRODUCTS IN AGRICULTURE AS A FACTOR IN INCREASING THE SUSTAINABILITY OF REGIONAL DEVELOPMENT S.O. Medvedev, M.A. Zyryanov	475
LEAF PRODUCTIVITY OF SHOOTS, CHEMICAL COMPOSITION AND PROSPECTIVE BIOACTIVITY OF CELASTRUS SPECIES INTRODUCED INTO MOSCOW REGION I.A. Savinov, E.V. Solomonova, N.A. Trusov, A.V. Zhevnerov, E.Yu. Yembaturova, S.G. Monakhos	493
RULES FOR AUTHORS	508

Подписано в печать 31.08.2024. Дата выхода в свет 31.08.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 37,19. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA164/024. 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.