

ISSN 2658-6649

# Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

[www.discover-journal.ru](http://www.discover-journal.ru)



Volume 16, Number 1  
2024

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

# Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture

Volume 16, Number 1  
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, № 1, 2024 / Vol. 16, No 1, 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](mailto: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](mailto: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)

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

**Артунян 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 агроботехнологий РАН (Новосибирск, Россия)

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

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

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

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

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

**Беляев Анатолий Аркадьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Новосибирский 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)

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

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

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

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

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

- Гомбов Евгений Александрович**, 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)
- Грязкин Анатолий Васильевич**, доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (Санкт-Петербург, Россия)
- Денисов Сергей Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Поволжский государственный технологический университет (Иошкар-Ола, Россия)
- Дерягина Лариса Евгеньевна**, доктор медицинских наук, профессор, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя (Москва, Россия)
- Дьякович Марина Пинхасовна**, доктор биологических наук, профессор, Ангарский государственный технический университет (Ангарск, Россия)
- Жмылев Павел Юрьевич**, доктор биологических наук, доцент, Государственный университет «Дубна» (Москва, Россия)
- Зайцев Владимир Владимирович**, доктор биологических наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)
- Залесов Сергей Вениаминович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет (Екатеринбург, Россия)
- Зудилин Сергей Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Самарский государственный аграрный университет (Самара, Россия)
- Иванова Маиса Афанасьевна**, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Министерства здравоохранения Российской Федерации (Москва, Россия)
- Иванченко Вячеслав Иосифович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского (Симферополь, Россия)
- Иванцова Елена Анатольевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Волгоградский государственный университет (Волгоград, Россия)
- Казакова Алия Сабировна**, доктор биологических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Зерноград, Россия)
- Казыдуб Нина Григорьевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина (Омск, Россия)
- Калинин Алексей Николаевич**, доктор медицинских наук, профессор, МВА, Иркутский государственный медицинский университет (Иркутск, Россия)
- Карганов Михаил Юрьевич**, доктор биологических наук, профессор, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии (Москва, Россия)
- Кашеваров Николай Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Новосибирск, Россия)
- Клименко Виктор Павлович**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)
- Ковалев Николай Николаевич**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Владивосток, Россия)
- Козлов Василий Владимирович**, кандидат медицинских наук, доцент, Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Москва, Россия)
- Колесников Сергей Ильич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону, Россия)
- Коробова Лариса Николаевна**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Новосибирск, Россия)
- Кузин Андрей Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина (Мичуринск, Россия)
- Кузьмин Сергей Владимирович**, доктор медицинских наук, профессор, Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора (Мытищи, Россия)
- Лесовская Марина Игоревна**, доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск, Россия)
- Лисняк Анатолий Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина (Харьков, Украина)
- Лиховской Владимир Владимирович**, доктор сельскохозяйственных наук, Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «МАГАРАЧ» (Ялта, Россия)
- Мазиров Михаил Арнольдович**, доктор биологических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)
- Манаенков Александр Сергеевич**, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН (Волгоград, Россия)

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

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

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

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

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

**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)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

дарственный аграрный университет (Мичуринск, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

## Editorial Board Members

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Izira 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 Agro Technical Research University (Astana, Republic of Kazakhstan)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## BIOLOGICAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1062

УДК 582.572.8(470.47)



Научная статья | Экология

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ  
СТРУКТУРЫ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *TULIPA BIFLORA*  
PALL. (LILIACEAE) В КАЛМЫКИИ*****Н.Ц. Лиджиева, А.С. Очирова, Ж.В. Овадыкова***

**Обоснование.** Популяционно-онтогенетические исследования важны для оценки состояния естественных экосистем, выявления и мониторинга охраняемых природных территорий, формирования и ведения Красных книг на уровне регионов и России в целом, описания экологических и биологических показателей видов растений. Вид *Tulipa biflora* рекомендован к охране в Калмыкии и многих других регионах России.

**Цель.** Изучение изменчивости онтогенетической структуры ценопопуляций *T. biflora* в Калмыкии.

**Материалы и методы.** Исследования проводили в 10 видовых популяциях *T. biflora* произрастающих в Прикаспийской низменности и на Ергенинской возвышенности в пределах республики Калмыкия вегетационных сезонов 2016-2018 гг.

Онтогенетическую структуру ценопопуляций изучали с использованием классических популяционно-онтогенетических подходов и методов [8, 11, 13-15 и др.]. Способность ценопопуляции к самовозобновлению оценивали с помощью индекса восстановления  $I_v$  [14], индекса возрастности ( $A$ ) [11] и индекса эффективности ( $\omega$ ) [1].

**Результаты.** В трехлетний период исследования в 10 популяциях *T. biflora* в условиях Калмыкии определены частоты встречаемости растений разных возрастных состояний, построены онтогенетические спектры популяций и базовые спектры вида. Посредством вычисления ряда индексов определены онтогенетические типы популяций.

**Заключение.** Возрастная структура ценопопуляций *T. biflora* в условиях Калмыкии весьма динамична, по соотношению возрастных групп она сильно варьирует, но укладывается в 1–3 онтогенетических типа по годам.

**Ключевые слова:** *Tulipa biflora*; ценопопуляция; онтогенетическая структура ценопопуляции; онтогенетический тип ценопопуляции; базовый онтогенетический спектр ценопопуляции

**Для цитирования.** Лиджиева Н.Ц., Очирова А.С. Изменчивость онтогенетической структуры ценопопуляций *Tulipa biflora* Pall. (Liliaceae) в Калмыкии // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1062

Original article | Ecology

## VARIABILITY OF THE ONTOGENETIC STRUCTURE OF THE COENOPOPOPULATIONS OF *TULIPA BIFLORA* PALL. (LILIACEAE) IN KALMYKIA

*N.Ts. Lidzhieva, A.S. Ochirova, Zh.V. Ovadykova*

**Background.** Population-ontogenetic studies are important for assessing the state of natural ecosystems, identifying and monitoring protected natural areas, forming and maintaining Red Books at the level of Regions of Russia as a whole, describing ecological and biological indicators of plant species. The species *Tulipa biflora* is recommended for protection in Kalmykia and many other regions of Russia.

**Purpose.** Study of the variability of the ontogenetic structure of *T. biflora* coenopopulations in Kalmykia.

**Materials and methods.** The research was carried out in 10 species populations of *T. biflora* growing in the Caspian lowland and on the Ergeninsky upland within the republic of Kalmykia during the growing seasons of 2016–2018. The ontogenetic structure of coenopopulations was studied using classical population-ontogenetic approaches and methods [8, 11, 13–15 и др.]. The ability of the coenopopulation to self-renewal was assessed using the recovery index  $I_b$  [14], the age index ( $A$ ) [11] and the efficiency index ( $\omega$ ) [1].

**Results.** During the three-year study period in 10 populations of *T. biflora* in the conditions of Kalmykia, the frequency of occurrence of plants of different age conditions was determined, ontogenetic spectra of populations and basic spectra of the species were constructed. By calculating a number of indices, the ontogenetic types of populations are determined.

**Conclusion.** *The age structure of *T. biflora* cenopopulations in the conditions of Kalmykia is very dynamic, the ratio of age groups varies greatly, but fits into 1-3 ontogenetic types by year.*

**Keywords:** *Tulipa biflora; coenopopulation; ontogenetic structure of coenopopulation; ontogenetic type of coenopopulation; basic ontogenetic spectrum of coenopopulation*

**For citation.** *Lidzhieva N.Ts., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Variability of the ontogenetic structure of the coenopopulations of *Tulipa biflora* Pall. (Liliaceae) in Kalmykia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 11-26. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1062*

## Введение

Проблема сохранения биологического разнообразия и естественных природных комплексов предполагает также изучение видовых популяций растений [11, 16]. Популяционно-онтогенетические исследования, по мнению многих авторов, имеют большое значение для оценки состояния естественных экосистем, выявления и мониторинга охраняемых природных территорий, формирования и ведения Красных книг на уровне регионов и России в целом, описания экологических и биологических показателей видов растений и т.д. [17-20].

Исследование онтогенетической структуры ценопопуляций видов из семейства Liliaceae приобретает особую актуальность в связи с возрастающим антропогенным воздействием. Одним из видов рода *Tulipa*, рекомендованных к охране в Калмыкии и многих других регионах, является тюльпан двуцветковый – *Tulipa biflora* Pall., входящий в состав секции *Eriostemonas* [10, 12, 6]. *T. biflora* понтически-казахстанский степной вид, ранневесенний луковичный эфемероид [4, 5].

В настоящее время в литературе имеются данные об онтогенетической структуре некоторых видов из рода *Tulipa* [2, 3 и др.]. Объект нашего исследования – *T. biflora*, является ранневесенним первоцветом, зацветает уже в первых числах апреля, в связи с этим по нему есть только информация описательного характера в определителях и Красных книгах [4, 5, 6, 12 и др.].

**Научная новизна** данного исследования определяется тем, что изучение *T. biflora* на популяционном уровне ранее не проводилось, а данные о базовых онтогенетических спектрах, основанных на репрезентативных объемах выборки популяций видов рода *Tulipa* единичны, еще более редко анализируется варьирование по годам тем более. В настоящей работе полученные ранее данные по онтогенетической структуре двух ценопопуляций *T. biflora* на тер-

ритории биосферного заповедника «Черные земли» расширены трехлетними исследованиями по всей территории Калмыкии [7]. Это позволило впервые для *T. biflora* построить базовый спектр вида, как обобщенную характеристику динамического равновесного состояния популяций, к которому они стремятся после отклонений, вызванных влиянием внешних воздействий.

**Цель исследования:** изучение изменчивости онтогенетической структуры ценопопуляций *T. biflora* в Калмыкии.

### Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 10 видовых популяциях *T. biflora*, из которых 5 (ценопопуляции № 1 – № 5) находились в Прикаспийской низменности, 5 (ценопопуляции № 6 – № 10) – на Ергенинской возвышенности в вегетационные сезоны 2016–2018 гг. (табл. 1).

Таблица 1.

#### Локалитет, фитоценотическая приуроченность ценопопуляций *T. biflora* на территории Калмыкии

Ценопопуляция		Название растительного сообщества
№	Локалитет	
1.	пос. Барун	Луковичномятликово – типчаково – ковылково - лерхопопынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Stipa lessingiana</i> - <i>Festuca valesiaca</i> - <i>Poa bulbosa</i> )
2.	пос. Чомпот	Разнотравно – луковичномятликово - полынное ( <i>Artemisia</i> - <i>Poa bulbosa</i> - <i>Mixteherbosa</i> )
3.	село Цаган-Аман	Луковичномятликово - лерхопопынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Poa bulbosa</i> )
4.	пос. Утта	Эфемерово - луковичномятликово - полынное ( <i>Artemisia</i> - <i>Poa bulbosa</i> - <i>Ephemerosa</i> )
5.	пос. Хулхута	Луковичномятликово - лерхопопынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Poa bulbosa</i> )
6.	с. Малые Дербеты	Ромашниково - луковичномятликово - чернопопынное ( <i>Artemisia pauciflora</i> - <i>Poa bulbosa</i> - <i>Tanacetum achilleifolium</i> )
7.	пос. Годжур	Луковичномятликово - вострецово - чернопопынное ( <i>Artemisia pauciflora</i> - <i>Leymus ramosus</i> - <i>Poa bulbosa</i> )
8.	пос. Обильное	Злаково - прутняково - лерхопропынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Kochia prostrata</i> - <i>Poaeceta</i> )
9.	пос. Западный	Разнотравно - злаково - прутняково - лерхопопынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Kochia prostrata</i> - <i>Poaeceta</i> – <i>Mixteherbosa</i> )
10.	пос. Ут-Сала	Разнотравно - злаково - лерхопопынное ( <i>Artemisia lerchiana</i> - <i>Poaeceta</i> – <i>Mixteherbosa</i> )

Возрастные состояния *T. biflora*, изучали на живом материале, применяя классические популяционно-демографические подходы и методы (Работнов, 1950; Уранов, 1975; Ценопопуляции растений ..., 1976, 1977, 1988 и др.). В каждой из 10 популяций случайным образом закладывали трансекту из 10 участков размером 50 x 50 кв. см. В пределах этих участков производили прижизненный учет возрастных состояний особей для построения онтогенетических спектров популяций [13]. Способность ценопопуляции к самовозобновлению оценивали с помощью ряда показателей.

Индекс восстановления ( $I_v$ ) рассчитывали по формуле:

$$I_v = \sum j \rightarrow v / \sum g_1 \rightarrow g_3,$$

где  $\sum j \rightarrow v$  – сумма особей прегенеративного периода,  $\sum g_1 \rightarrow g_3$  – сумма особей генеративного периода [14].

Коэффициент возрастности ( $\Delta$ ) определяли по формуле:

$$\Delta = \sum K_i m_i / \sum K_p,$$

где  $\sum K_i$  – сумма растений всех возрастных состояний,  $m_i$  – возрастность особей [11].

Среднюю энергетическую эффективность популяции ( $\omega$ ), или индекс эффективности определяли как средневзвешенное значение величин  $e_i$  и рассчитывали по формуле

$$\omega = \sum n_i e_i / \sum n_p,$$

где  $n_i$  – абсолютное число растений  $i$ -го возрастного состояния,  $e_i$  – эффективность,  $\sum n_i$  – общее число растений [1]. Для определения типа нормальных популяций использовали классификацию «дельта-омега» [1]. Она основана на совместном использовании индексов возрастности  $\Delta$  и эффективности  $\omega$ .

### Результаты исследования

Принадлежность *T. biflora* к жизненной форме луковичных эфемероидов обуславливает то, что из четырех выделяемых Т.А. Работновым периодов онтогенеза [8] визуально отмечаются только 2: прегенеративный период с четырьмя и генеративный период – в двумя возрастными состояниями. В ценопопуляциях *T. biflora* с разной частотой встречались особи, находящиеся в возрастных состояниях проростков ( $p$ ), ювенильных ( $j$ ), имматурных ( $im$ ), виргинильных ( $v$ ), молодых генеративных ( $g_1$ ), зрелых генеративных ( $g_2$ ). При этом возрастные спектры всех исследованных ценопопуляций одновершинные и максимумы частоты в них приходились на виргинильных и зрелых генеративных особей. В 2016 году в ценопопуляциях № 2 – № 8 максимальны частоты встречаемости генеративных

особей (32,6–82,5%), в ценопопуляциях № 1, № 9, № 10 – виргинильных особей (38,9–47,9%) (рис. 1).

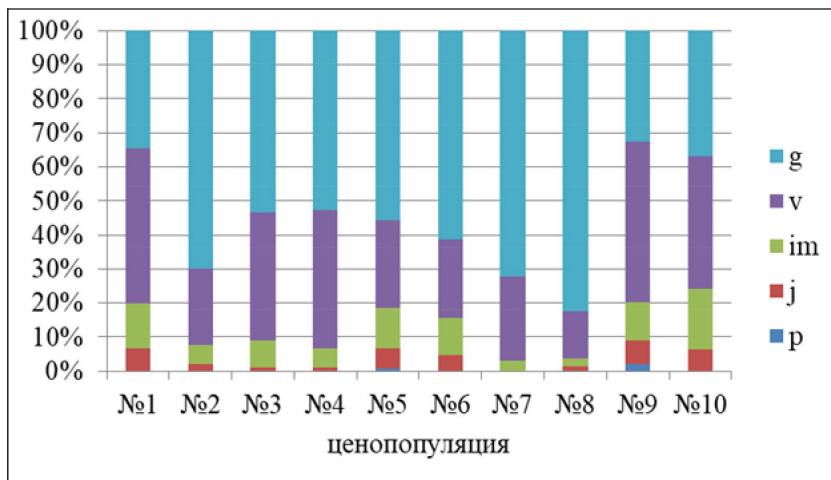


Рис. 1. Онтогенетический спектр ценопопуляций *Tulipa biflora* в 2016 году

В 2017 году частота генеративных особей была наибольшей (37,5–58,1%) в восьми из десяти исследованных ценопопуляций *T. biflora*, только в ценопопуляциях № 1 и № 9 преобладали по частоте виргинильные особи (4,5% и 40,0% соответственно) (рис. 2).

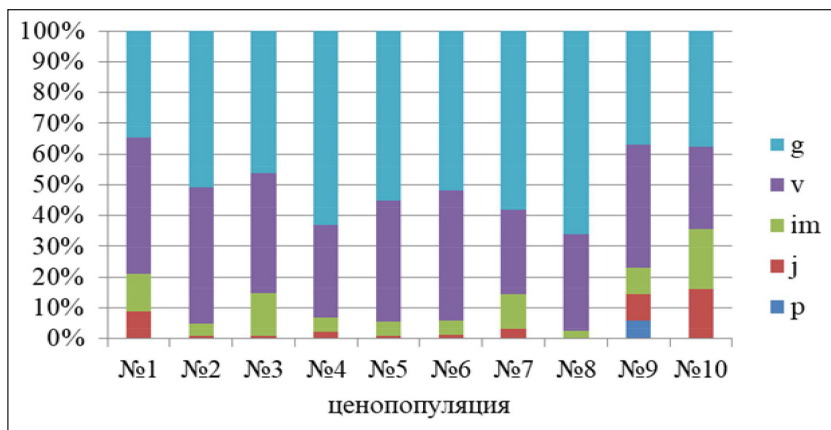


Рис. 2. Онтогенетический спектр ценопопуляций *Tulipa biflora* в 2017 году

В 2018 году число популяций, в которых максимальная частота приходилась на генеративных особей уменьшилась до шести (популяции №4-№9), что сопровождалось соответственно увеличением числа популяций (ценопопуляции №1-№3, №10), в которых максимум (35,1–58,7%) приходился на виргинильных особей (рис. 3).

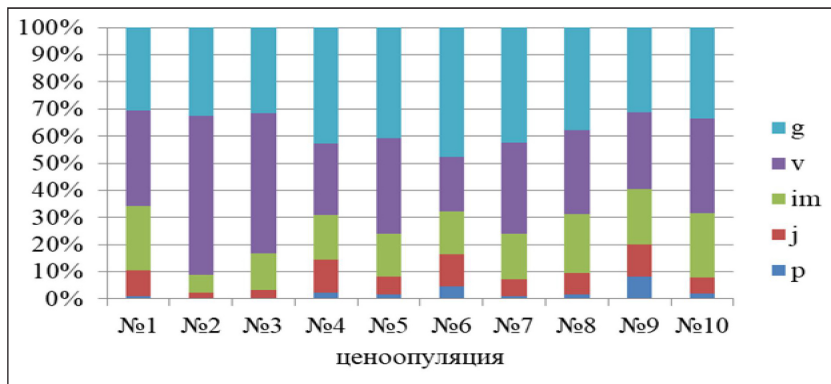


Рис. 3. Онтогенетический спектр ценопопуляций *Tulipa biflora* в 2018 году

### Обсуждение результатов

Онтогенетические спектры ценопопуляций *T. biflora* в трехлетний период исследования были сопоставлены с такими показателями погоды, как среднемесячные температура и сумма осадков первых четырех месяцев года, от которых особенно зависит рост и развитие растений вида. Среднемесячные температуры в местах произрастания ценопопуляций *T. biflora* в период исследования понижались от 2016 году к 2018 году. Среднемесячная сумма осадков в местах обитания половины ценопопуляций (№ 1-№ 3, № 7, № 8) имела такую же динамику, как у температуры, в остальных она была другой, но в 80% случаев наименьший объем осадков выпадал в 2018 году (табл. 2).

Таблица 2.

Среднемесячные температура и сумма осадков января-апреля по данным архива погоды сайта [www.rp.5.ru](http://www.rp.5.ru)

Ценопопуляция	Температура (°C)			Сумма осадков (мм)		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
№ 1	4,2	1,2	-0,1	26,9	35,0	18,9
№ 2	6,6	1,3	-0,1	29,1	41,4	18,9
№ 3	4,1	1,2	-0,7	33,7	42,9	30,8



№ 4	3,7	2,4	0,9	17,8	42,9	25,6
№ 5	5,3	1,6	0,9	25,89	39,5	25,6
№ 6	4,2	1,3	-0,7	26,2	38,5	53,5
№ 7, №8	3,7	1,1	-0,2	28,2	35,2	36,7
№ 9	3,2	1,1	0,5	22,3	21,2	26,4
№ 10	4,0	2,0	1,8	23,5	34,0	21,9

Такое состояние основных показателей погоды отразилось на онтогенетической структуре ценопопуляций *T. biflora*. При анализе частоты встречаемости особей генеративного периода выявлено, что в 2018 году она меньше, чем в 2016 году в ценопопуляции № 1 на 4,2%, в ценопопуляции № 2 на 37,2% ( $t_{\text{diff}} = 4,52$ , при  $P < 0,001$ ), в ценопопуляции № 3 на 21,8% ( $t_{\text{diff}} = 3,34$ , при  $P < 0,01$ ), в ценопопуляции № 4 на 9,9%, в ценопопуляции № 5 на 13,6%, в ценопопуляции № 6 на 21,4% ( $t_{\text{diff}} = 3,75$ , при  $P < 0,01$ ), в ценопопуляции № 7 на 29,6% ( $t_{\text{diff}} = 4,14$ , при  $P < 0,001$ ), в ценопопуляции № 8 на 44,6% ( $t_{\text{diff}} = 7,20$ , при  $P < 0,001$ ), в ценопопуляции № 9 на 15,9% ( $t_{\text{diff}} = 2,51$  при  $P < 0,05$ ), в ценопопуляции № 10 – на 5,5%. В отношении растений прегенеративного возрастного периода соответственно отмечали обратное – их частота в 2018 году была больше, чем в 2016 году.

Все исследованные ценопопуляции *T. biflora* в условиях Калмыкии по классификации Т.А. Работнова [8], с последующим дополнением Л.П. Рысиной и Т.Н. Казанцевой [9] были отнесены к нормальным неполночленным. В ходе определения типа ценопопуляций по классификации Л.А. Животовского [1] были вычислены индексы возвратности и индексы эффективности. Во всех пяти исследованных в Прикаспийской низменности ценопопуляций значение индекса возвратности постепенно уменьшался от 0,233–0,337 в 2016 г. до 0,207–0,250 в 2018 году, аналогично индекс энергетической эффективности снижался от 0,564–0,803 в 2016 г. до 0,503–0,585 в 2018 г. Однако при этом способность ценопопуляций *T. biflora* в восстановлению, исходя из значений индекса  $I_v$ , в 2018 году была наибольшей (табл. 3).

Самая северная из пяти ценопопуляций *T. biflora* с Прикаспийской низменности – ценопопуляция № 1, относилась в трехлетний период исследования к типу «молодая». Ценопопуляция № 2 в 2016 г. была отнесена к типу «зрелая», в 2017 г. – к типу «зреющая». Остальные три ценопопуляции, приуроченные к данной крупной морфоструктуре в пределах территории Республики, в первые два года исследования относились к типу «зреющая», а в последний год исследования все пять ценопопуляций определялись как «молодые».

Таблица 3.

**Значения индексов восстановления (Iв), возрастности (Δ), энергетической эффективности в ценопопуляциях *Tulipa biflora* в Прикаспийской низменности**

Ценопопуляция	Год	Iв	Δ	ω	Тип популяции
№ 1	2016	1,88	0,233	0,564	молодая
	2017	1,89	0,230	0,558	молодая
	2018	2,28	0,207	0,503	молодая
№ 2	2016	0,43	0,377	0,803	зрелая
	2017	0,97	0,309	0,702	зрелая
	2018	2,07	0,231	0,581	молодая
№ 3	2016	0,87	0,296	0,689	зрелая
	2017	1,16	0,277	0,645	зрелая
	2018	2,15	0,211	0,546	молодая
№ 4	2016	0,90	0,307	0,702	зрелая
	2017	0,59	0,349	0,763	зрелая
	2018	1,33	0,242	0,565	молодая
№ 5	2016	0,79	0,314	0,689	зрелая
	2017	0,81	0,319	0,720	зрелая
	2018	1,46	0,250	0,585	молодая

На Ергенинской возвышенности в большинстве исследованных ценопопуляций *T. biflora*, за исключением ценопопуляции № 9, значение индекса возрастности постепенно снижалось от 0,240–0,430 в 2016 г. до 0,217–0,266 в 2018 году, аналогично индекс энергетической эффективности снижался от 0,569–0,888 в 2016 г. до 0,524–0,594 в 2018 г. (табл. 4).

Таблица 4.

**Значения индексов восстановления (Iв), возрастности (Δ), энергетической эффективности (ω) в ценопопуляциях *Tulipa biflora* на Ергенинской возвышенности**

Ценопопуляция	Год	Iв	Δ	ω	Тип ценопопуляции
№ 6	2016	0,63	0,341	0,734	зрелая
	2017	0,93	0,312	0,705	зрелая
	2018	1,10	0,266	0,594	молодая
№ 7	2016	0,39	0,391	0,831	зрелая
	2017	0,72	0,329	0,718	зрелая
	2018	1,35	0,260	0,599	молодая
№ 8	2016	0,21	0,430	0,888	зрелая
	2017	0,52	0,368	0,796	зрелая
	2018	1,64	0,238	0,555	молодая

№ 9	2016	2,07	0,226	0,550	молодая
	2017	1,69	0,239	0,562	молодая
	2018	2,19	0,200	0,477	молодая
№ 10	2016	1,72	0,240	0,569	молодая
	2017	1,67	0,232	0,534	молодая
	2018	2,00	0,217	0,524	молодая

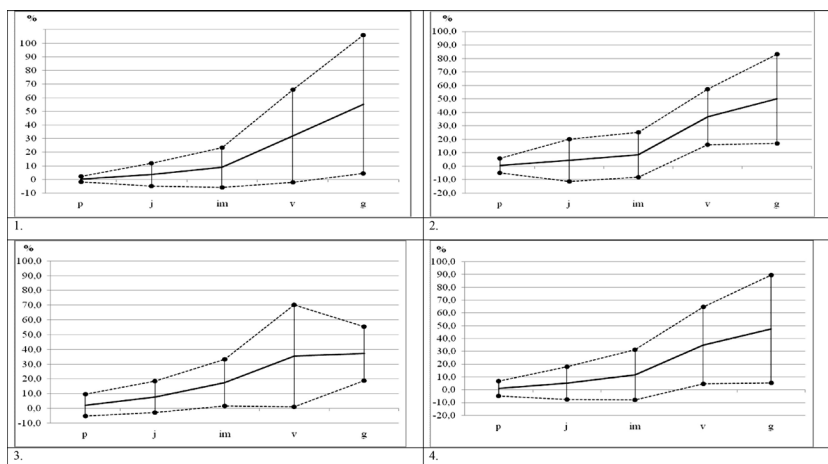
Способность ценопопуляций *T. biflora* к восстановлению на Ергенинской возвышенности, как показывает динамика индекса  $I_v$ , в 2018 году по сравнению с двумя предыдущими годами была наибольшей.

На Ергенинской возвышенности в 2016 г. и 2017 г. ценопопуляции № 6 - № 8, произрастающие в ее северной части и территориально более близкие к Прикаспийской низменности, относились к типам «зрелая» и «зреющая», в то время как ценопопуляции № 9 и № 10 в этот период относились к типу «молодая». В 2018 году все исследованные на Ергенях ценопопуляции, также как в Прикаспийской низменности относились к типу «молодая» (табл. 4).

Данные возрастных спектров десяти исследованных ценопопуляций *T. biflora* в трехлетний период исследования были использованы для построения базового спектра ценопопуляций *T. biflora* для Калмыкии. Усредненный для трех лет исследования базовый спектр был правосторонним, имел пик на генеративных особях (рис. 4).

Характер базового спектра определяется биологическими характеристиками вида. В период нашего исследования отмечали изменения в пределах зоны базового спектра по годам. В 2016 г. в базовом спектре очень «узкая» зона проростков и ювенильных особей и особенно широка зона генеративных особей. В 2017 г. ширина зоны этих возрастных состояний больше и, соответственно, уже зона генеративных особей.

Базовый спектр этих двух лет исследований совпадает с усредненным многолетним базовым спектром – он правосторонний, с максимумом на генеративных особях. При усреднении данных за три года исчезло своеобразие базового спектра, выявленного в 2018 г. В нем наиболее широкой была зона виргинильных растений. Большие размеры зоны виргинильных растений в базовом спектре *T. biflora* обусловлены, с одной стороны, большей длительностью данного возрастного состояния в онтогенезе растений. С другой стороны, специфика базового спектра скоррелирована с особенностями погодных условий данного года, более низкими значениями средней температуры января-апреля.



**Рис. 4.** Базовые спектры ценопопуляций *Tulipa biflora* : 1. 2016 год; 2. 2017 год; 3. 2018 год; 4. Усредненный базовый спектр (2016-2018 гг.); p – проростки; j – ювенильные особи; im – имматурные особи; v – виргинильные особи; g – генеративные особи

Полученные данные согласуются с данными, имеющимися в литературе для других видов рода. Так на Южном Урале для *Tulipa biebersteiniana* отмечали усредненный возрастной спектр одновершинный, полночленный, с высокой долей виргинильных особей, для *T. patens* – полночленный, с высокой долей виргинильных и генеративных особей и *T. riparia* – одновершинный, неполночленный (отсутствуют проростки и ювенильные особи), с высокой долей виргинильных и низкой долей генеративных особей [2]; в Саратовской области для *T. gesneriana* – на имматурных и генеративных особях [3]. П нашем исследовании для *T. biflora* подтверждена возможность изменения базового спектра в зависимости от погодных условий года произрастания.

### Заключение

Возрастная структура ценопопуляций *T. biflora* в условиях Калмыкии весьма динамична, по соотношению возрастных групп сильно варьирует, но укладывается в 1–3 онтогенетических типа по годам. Динамику частоты встречаемости растений разных возрастных состояний можно рассматривать, на наш взгляд, как адаптивную реакцию популяции, как целостной системы, на условия, складывающиеся в годы ее произрастания.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ 23-24-10012.

### Список литературы

1. Животовский Л.А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С.3-7.
2. Мухаметшина Л.В., Ишмуратова М.М., Муллабаева Э.З. Особенности биологии и ценопопуляционные характеристики видов рода *Tulipa* на Южном Урале // Вестник Удмуртского университета. 2015. Т. 25. №2. С. 101-108.
3. Структура ценопопуляций *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae) в Саратовской области / Кашин А.С., Петрова Н.А., Шилова И.В., Корнеев М.Г., Ермолаева Н.Н. // Биоразнообразии аридных экосистем. 2014. С. 86–105.
4. Красная книга Краснодарского края. (Растения и грибы) [Отв. ред. С.А. Литвинская]. Краснодар: ООО «Дизайн Бюро № 1», 2007. 640 с.
5. Красная книга Республики Калмыкия: в 2 т. Т.2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения растения и грибы [Отв. ред. Н.М. Бакташева]. Элиста: ЗАОр «НПП «Джангар», 2014. 199 с.
6. Мордак Е.В. Тюльпан - *Tulipa* L. // Флора европейской части СССР. Л.: Наука, 1979. Т. IV. С. 232–236.
7. Очирова А.С., Лыу Т.Н. Возрастная структура некоторых ценопопуляций *Tulipa biflora* (Liliaceae) в Калмыкии // Материалы X международной научно-практической конференции «Европейская наука в XXI веке». Przemysł, 2014. С. 8-10.
8. Работнов Т.А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. Л., 1950. Т.1. С.465-483.
9. Рысин Л.П., Казанцева Т.Н. Метод ценопопуляционного анализа в геоботанических исследованиях // Ботанический журнал. 1975. Т.60. № 2. С. 199–209.
10. Талиев В.И. Процесс видообразования у рода *Tulipa* // Тр. по прикл. ботанике, селекции и генетике. 1930. Т. 24. №2. С. 57-122.
11. Уранов А.А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. М.: Наука, 1975. С. 7-34.
12. Флора СССР: в 30 т. [гл. ред. В.Л. Комаров]. Л.: Изд-во АН СССР, 1935. Т. IV. / А.И. Введенский, Н.Ф. Гончаров, С.Г. Горшкова и др. С. 320-464.
13. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) [Отв. ред. А. А. Уранов, Т. И. Серебрякова]. М.: Наука, 1976. 217 с.

14. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии) / Л.Б. Заугольнова, Л.А. Жукова, А.С. Комаров и др. М.: Наука, 1988, 184 p.
15. Ценопопуляции растений (развитие и взаимоотношения) / А.А. Уранов, Л.Б. Заугольнова, О.В. Смирнова и др. М.: Наука, 1977. 131 с.
16. Harper J.L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977. 892 p.
17. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region // Botanicheskiĭ Zhurnal. 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465.
18. Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. Some features of the environmental strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida) // Biology Bulletin. 2017, vol. 44, no. 10, pp. 1237-1245.
19. Lidzhiyeva N., Antonova A., Ubushaeva S., Ochirova A., Ovadykova J. Seed Productivity of Coenopopulations of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae) on the Ergeninskaya Upland (Within the Boundaries of the Republic of Kalmykia). International research conference on Challenges and Advances in Farming, Food Manufacturing, Agricultural Research and Education, KnE Life Sciences. 2021, pp. 870–876.
20. Lidzhiyeva N.C. , Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort Tulipa in the reserve «The Black soil» // Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST). 2019, vol. 1, pp. 616-620.

### References

1. Zhivotovskiy, L.A. Ontogeneticheskie sostoyaniya, effektivnaya plotnost' i klasifikatsiya populyatsiy rasteniy [Ontogenetic states, effective density and classification of plant populations]. *Ekologiya* [Ecology], 2001, no. 1, pp. 3-7.
2. Mukhametshina L.V., Ishmuratova M.M., Mullabaeva E.Z. Osobennosti biologii i tsenopopulyatsionnye kharakteristiki vidov roda Tulipa na Yuzhnom Urale [Features of biology and cenopopulation characteristics of species of the genus Tulipa in the Southern Urals]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta* [Bulletin of the Udmurt University], 2015, vol. 25, no. 2, pp. 101-108.
3. Struktura tsenopopulyatsiy Tulipa gesneriana L. (Liliaceae) v Saratovskoy oblasti [The structure of the coenopopulations of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae) in the Saratov region] / Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V., Korneev M.G., Ermolaeva N.N. *Bioraznoobrazie aridnykh ekosistem* [Biodiversity of arid ecosystems], 2014, pp. 86-105.
4. *Krasnaya kniga Krasnodarskogo kraya. (Rasteniya i griby)* [The Red Book of the Krasnodar Territory. (Plants and fungi)]. Krasnodar: OOO «Dizayn Byuro № 1», 2007, 640 p.

5. *Krasnaya kniga Respubliki Kalmykiya: v 2 t. Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya rasteniya i griby* [The Red Book of the Republic of Kalmykia: in 2 vol. Rare and endangered plants and mushrooms]. Elista: ZAO R «SPE «Dzhangar», 2014. vol. 2, 199 p.
6. Mordak E.V. Tyul'pan - Tulipa L. [Tulip - Tulipa L.]. *Flora evropeyskoy chasti SSSR* [Flora of the European part of the USSR], Leningrad: Nauka, 1979, vol. IV, pp. 232–236.
7. Ochirova A.S., Lyu T.N. Vozrastnaya struktura nekotorykh tsenopopulyatsiy *Tulipa biflora* (Liliaceae) v Kalmykii [Age structure of some cenopopulations of Tulipa biflora (Liliaceae) in Kalmykia]. *Materialy X mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Evropeyskaya nauka v XXI veke »* [Materials of the X International Scientific and Practical Conference “European Science in the XXI century”]. Przemysl, 2014, pp. 8-10.
8. Rabotnov T.A. Voprosy izucheniya sostava populyatsiy dlya tseley fitotsenologii [Questions of studying the composition of populations for the purposes of phytocenology]. *Problemy botaniki* [Botany Problems], Leningrad, 1950, vol. 1, pp.465-483.
9. Rysin L.P., Kazantseva T.N. Metod tsenopopulyatsionnogo analiza v geobotanicheskikh issledovaniyakh [The method of cenopopulation analysis in geobotanical studies]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Magazine], 1975, vol. 60, no. 2, pp. 199-209.
10. Taliev V.I. Protsess vidoobrazovaniya u roda Tulipa [The process of speciation in the genus Tulipa]. *Trudy po prikladny botanike, seleksii i genetike* [Works on applied botany, breeding and genetics ], 1930, vol. 24, no. 2, pp. 57-122.
11. Uranov A.A. Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov [The age spectrum of phytocenopulations as a function of time and energy wave processes]. *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Biologicheskie nauki* [Scientific reports of the higher school. Biological sciences]. Moscow: Nauka, 1975, pp. 7-34.
12. *Flora SSSR [Flora of the USSR]: v 30 t.* [gl. red. V.L. Komarov]. Leningrad: publishing house AN USSR, 1935. V. IV. / A.I. Vvedenskiy, N.F. Goncharov, S.G. Gorshkova et al., pp. 320-464.
13. *Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* [Cenopopulation of plants (basic concepts and structure)]. Moscow: Nauka, 1976, 217 p.
14. *Tsenopopulyatsii rasteniy (oчерki populyatsionnoy biologii)* [Coenopopulations of plants (essays on population biology)] / L.B. Zaugol'nova, L.A. Zhukova, A.S. Komarov i dr. Moscow: Nauka, 1988, 184 p.
15. *Tsenopopulyatsii rasteniy (razvitie i vzaimootnosheniya)* [Coenopopulations of plants (development and relationships)] / A.A. Uranov, L.B. Zaugol'nova, O.V. Smirnova et al. Moscow: Nauka, 1977, 131 p.

16. Harper J.L. *Population Biology of Plants*. London: Academic Press, 1977, 892 p.
17. Kashin A.S. et al. State of cenopopulations and morphological variability of *Tulipa gesneriana* (Liliaceae) in the northern Lower Volga region. *Botanicheskiĭ Zhurnal*, 2016, vol. 101, no. 12, pp. 1430-1465.
18. Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. Some features of the environmental strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). *Biology Bulletin*, 2017, vol. 44, no. 10, pp. 1237-1245.
19. Lidzhiyeva N., Antonova A., Ubushaeva S., Ochirova A., Ovadykova J. Seed Productivity of Coenopopulations of *Tulipa Gesneriana* L. (Liliaceae) on the Ergeninskaya Upland (Within the Boundaries of the Republic of Kalmykia). *International research conference on Challenges and Advances in Farming, Food Manufacturing, Agricultural Research and Education, KnE Life Sciences*, 2021, pp. 870–876.
20. Lidzhiyeva N.C., Lyu T.N., Onkorova N.T., Ochirova A.S., Ovadykova Zh.V. Edafichesky conditions of growth cenopopulation of types of the sort *Tulipa* in the reserve «The Black soil». *Atlantis Press. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*, 2019, vol. 1, pp. 616-620.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Лиджиева Нина Цереновна**, д.б.н., профессор кафедры общей биологии и физиологии

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»*

*ул. Пушкина, 11. г. Элиста, 358009, Российская Федерация  
for-lidjieva@yandex.ru*

**Очирова Александра Сергеевна**, аспирант

*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова»*



*ул. Пушкина, 11. г. Элиста, 358009, Российская Федерация*  
*ochirowa.alex@yandex.ru*

**Овадыкова Жанна Васильевна**, кандидат сельскохозяйственных наук,  
доцент кафедры агрономии  
*Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное*  
*учреждение высшего образования «Калмыцкий государственный*  
*университет имени Б.Б. Городовикова»*  
*ул. Пушкина, 11. г. Элиста, 358009, Российская Федерация*  
*zhanna\_ovadykova@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Nina Ts. Lidzhieva**, Doctor of Biology, Professor Department of General Bi-  
ology and Physiology  
*Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova*  
*11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation*  
*for-lidjieva@yandex.ru*  
*SPIN-code: -3661-2682*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2668-698X>*

**Aleksandra S. Ochirova**, Postgraduate Student  
*Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova*  
*11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation*  
*ochirowa.alex@yandex.ru*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9924-3368>*

**Zhanna V. Ovadykova**, Candidate of Agriculture, Associate Professor of the  
Department of Agronomy  
*Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova*  
*11, Pushkin Str., Elista, 358009, Russian Federation*  
*zhanna\_ovadykova@mail.ru*  
*SPIN-code: 8079-8320*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7539-6909>*

Поступила 29.07.2023

После рецензирования 23.08.2023

Принята 31.08.2023

Received 29.07.2023

Revised 23.08.2023

Accepted 31.08.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-706

УДК 574.64:58.084.1



Научная статья | Экология

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ALLIUM-ТЕСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ

*А.Я. Болсуновский, Е.А. Трофимова*

**Обоснование.** Донные отложения реки Енисей (ДО) содержат ксенобиотики химической и радиационной природы, которые могут оказывать негативное воздействие на жизнедеятельность водных организмов. Ранее проведенное тестирование проб ДО с использованием лукового теста (*Allium-test*) показало противоречивый отклик индикаторных параметров лукавицы (стимуляция и ингибирование) на химический и радионуклидный состав ДО. Луковый биотест с пророщенными семенами ранее не использовали для тестирования проб ДО р. Енисей, но этот тест-объект ранее показал чувствительность к малым дозам гамма-облучения.

**Цель исследований** – оценить возможность использования двух модификаций лукового биотеста (луковицы и семена *A. сера*) для определения токсичности проб ДО реки Енисей с относительно высоким содержанием техногенных радионуклидов.

**Материалы и методы.** Для лабораторных токсикологических экспериментов использовали три пробы ДО р. Енисей с высоким содержанием техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ ; в качестве контроля служили искусственные ДО, приготовленные по стандартному протоколу. Удельную активность радионуклидов ДО измеряли на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). В экспериментах в качестве тест-объекта использовали репчатый лук (*Allium сера L.*) сорта Штуттгартен ризен (луковицы и семена). В качестве индикатора токсичности ДО оценивали рост корней.

**Результаты.** При тестировании радиоактивных ДО р. Енисей индикаторные показатели лука в модификации с луковицами показали достоверный эффект стимуляции роста корней, а в модификации с семенами лука – ин-

гибирование роста. Ранее эффект стимуляции роста корней наблюдался у луковиц при тестировании ДО р. Енисей с более низким содержанием  $^{137}\text{Cs}$ . Впервые был получен эффект ингибирования роста корней проростков лука при тестировании ДО с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  в широком диапазоне.

**Заключение.** Сравнение двух модификаций лукового теста (луковицы и семена) для оценки токсичности ДО показало, что только рост корней проростков лука как индикаторный параметр обладает достаточной чувствительностью к содержанию техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в ДО и позволяет оценить биологические эффекты влияния радиоактивности.

**Ключевые слова:** донные отложений реки Енисей; техногенные радионуклиды; луковый биотест (*Allium-test*); длина корня; токсичность; стимулирование роста

**Для цитирования.** Болсуновский А.Я., Трофимова Е.А. Использование разных модификаций *Allium*-теста для оценки радиотоксичности донных отложений реки Енисей // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 27-45. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-706

Original article | Ecology

## USING DIFFERENT MODIFICATIONS OF THE ALLIUM TEST TO EVALUATE RADIOTOXICITY OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER

*A. Ya. Bolsunovsky, E. A. Trofimova*

**Background.** Bottom sediments (BS) of the Yenisei River contain xenobiotics of the chemical and radiation origins, which may adversely affect life functions of aquatic organisms. Previous assays of BS samples using the *Allium* test showed contradictory responses of the endpoints of onion bulbs (stimulation and inhibition) to the chemical and radionuclide composition of the BS. The *Allium* test with germinated seeds has not been used so far to test samples of the Yenisei BS, although previous studies showed sensitivity of this test object to exposure to low-dose gamma radiation.

**Purpose.** The purpose of the study was to assess the possibility of using two modifications of the *Allium* test (*A. cepa* bulbs and seeds) to evaluate toxicity of samples of the Yenisei River BS containing relatively high activity concentrations of artificial radionuclides.

**Material and Methods.** Toxicological laboratory experiments were conducted using three samples of the Yenisei BS containing high activity concentrations of

the artificial radionuclide  $^{137}\text{Cs}$ ; artificial BS prepared according to the standard protocol were used as the control. Activity concentrations of BS radionuclides were measured using a gamma-spectrometer coupled to a hyper-pure germanium detector (Canberra, U.S.). The test object was onion *Allium cepa* L. cv. Stuttgarter Riesen (bulbs and seeds). Root growth was chosen as the endpoint to determine BS toxicity.

**Results.** Experiments with radioactive BS from the Yenisei River demonstrated significant stimulation of root growth in the modification with onion bulbs and inhibition of root growth in the modification with onion seeds. In previous research, stimulation of root growth was observed in onion bulbs exposed to Yenisei BS containing lower activity concentrations of  $^{137}\text{Cs}$ . For the first time, inhibition of root growth of onion seedlings was observed in assays with BS containing a wide range of  $^{137}\text{Cs}$  activity concentrations.

**Conclusion.** Comparison of two modifications of the *Allium* test (bulbs and seeds) for assessing the toxicity of BS showed that only the growth of onion seedling roots used as an endpoint has sufficient sensitivity to the content of the artificial radionuclide  $^{137}\text{Cs}$  in BS and makes it possible to evaluate the biological effects of radioactivity.

**Keywords:** bottom sediments of the Yenisei River; artificial radionuclides; *Allium* test; root length; toxicity; stimulation of growth

**For citation.** Bolsunovsky A. Ya., Trofimova E.A. Using Different Modifications of the *Allium* Test to Evaluate Radiotoxicity of Bottom Sediments of the Yenisei River. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 27-45. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-706

## Введение

Деятельность промышленных предприятий Красноярского края привела к техногенному загрязнению одной из крупнейших рек мира – р. Енисей. Донные отложения реки (ДО) являются основным депо поллютантов, которые могут оказывать негативное воздействие на жизнедеятельность водных организмов. Кроме химического загрязнения, ДО содержат и техногенные радионуклиды, поступившие в р. Енисей в результате деятельности одного из производственных комплексов г. Железногорска [1, 4, 11, 13, 28]. В зоне радиационного загрязнения ДО реки Енисей массово развиваются водные растения, в биомассе которых был зарегистрирован широкий перечень техногенных радионуклидов [2, 15]. Ранее нами выявлен повышенный уровень хромосомных нарушений в ана-телофазных клетках корневой меристемы водного растения *Elodea canadensis*, вегетирующего

в районах повышенного радиационного загрязнения р. Енисей, а также при биотестировании ДО из этих районов в лабораторных условиях [2, 8-9, 15, 26]. При этом была получена положительная корреляция уровня клеток с хромосомными нарушениями в корнях элодеи с содержанием техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  ДО в естественных условиях [8]. Таким образом, ДО р. Енисей в зоне радиационного загрязнения, за счёт своего токсического воздействия, могут нести потенциальную опасность для гидробионтов, обитающих в пределах этой экосистемы. Однако достоверность этого утверждения должна базироваться на результатах не одного, а нескольких биотестов.

Для оценки токсичности воды и почв успешно используется луковый биотест (*Allium-test*) на основе лука репчатого *Allium cepa* [3, 6, 10, 16-17, 21, 27]. Луковый биотест включает в себя как оценку ростовых, так и цитогенетических параметров развития растений [3, 6, 10, 16-17, 21, 27]. Использование нами ранее лукового теста [3] показало отсутствие токсичности тестируемых ДО р. Енисей, отобранных в зоне радиационного загрязнения. В проведенных экспериментах с радиоактивными ДО был получен эффект стимуляции роста корней у луковиц. Также стимуляция роста корней была получена нами в экспериментах по облучению луковиц источником гамма-излучения в малых дозах. В работе [6] также использовали луковый биотест для оценки токсичности ДО реки Енисей, в том числе и для проб с повышенным содержанием техногенных радионуклидов. Авторами исследования [6] была отмечена как стимуляция, так и угнетение индикаторных параметров тест-объекта, однако, авторы не связывают эти результаты с действием радиационного фактора. Возможно это связано с тестированием [3, 6] проб ДО с относительно низким содержанием техногенных радионуклидов (менее 1200 Бк/кг радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ ).

В биотестировании загрязнения окружающей среды кроме луковиц *A. cepa*, так же используют и его семена [7, 12, 14, 19-21, 25]. Использование семян имеет ряд преимуществ перед луковицами при биотестировании, поскольку семена находятся в состоянии биологического покоя и обладают генетической и физиологической однородностью. Ранее биотесты с использованием семян лука показали достоверные результаты при оценке влияния малых доз излучения разного типа, а также почв из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС [7, 12, 14, 19, 25]. Однако, для биотестирования проб ДО реки Енисей семена лука ранее не использовали.

В пойме реки Енисей ранее были обнаружены участки с аномальным содержанием техногенных радионуклидов в ДО, достигающего уровня

низкой активности радиоактивных отходов [4, 11]. В корневой меристеме элодеи канадской, произрастающей на некоторых из аномальных участков, был зарегистрирован повышенный уровень хромосомных нарушений, что может указывать на генотоксичность этих ДО [15]. В связи с этим, возникает необходимость проверить токсичность ДО, с более высоким содержанием техногенных радионуклидов, по сравнению с ранее исследованными ДО [3, 6].

Цель работы – оценить возможность использования двух модификаций лукового биотеста (луковицы и семена *A. cepa*) для определения токсичности проб ДО реки Енисей с относительно высоким содержанием техногенных радионуклидов.

### Материалы и методы

Для лабораторных токсикологических экспериментов использовали пробы ДО р. Енисей, отобранные в зоне радиационного загрязнения. Пробы ДО отбирали в двух районах в местах аномального содержания техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ : вблизи с. Балчуг (на удалении 95-105 км от г. Красноярск по течению реки) – пробы № 1 и №3; вблизи с. Стрелка (на удалении 325 км от г. Красноярск по течению реки) – проба № 2. В качестве контроля служили искусственные ДО (К), приготовленные согласно OECD Test Guideline 219 [23] со следующим составом: 5% торф, 20% каолин, 75% песок, влажностью 30%, pH 7, без добавления питательной среды. Удельную активность радионуклидов ДО измеряли на гамма-спектрометре со сверхчистым германиевым детектором (Canberra, США). Спектры анализировали с помощью программного обеспечения Genie-2000 (Canberra, США). Результаты радионуклидного анализа проб ДО приведены в Таблице 1. В радиоактивных пробах (№1, 2 и 3) доминировал техногенный радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  с активностью от 4700 до 17300 Бк/кг. В контрольной пробе содержание  $^{137}\text{Cs}$  было на уровне 0.4 Бк/кг. Кроме техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ , в пробах ДО регистрировался природный радионуклид  $^{40}\text{K}$  с активностью 320-500 Бк/кг.

В экспериментах по биотестированию использовали репчатый лук (*Allium cepa* L.) сорта Штуттгартер ризен (луковицы и пророщенные семена). Луковицы предварительно синхронизировали в темноте при 4°C в течении 10 суток. За сутки перед экспериментом луковицы замачивали в воде для активации и выдерживали при температуре 20°C. Для каждого варианта эксперимента использовалась проба ДО объёма 0.5 л, в дальнейшем каждую пробу ДО разделяли на три равные части (по 0.165 л),

которые помещали в стеклянные стаканы объёмом 0.5 л. За неделю до начала эксперимента влажность в активных ДО подводили до 25% дистиллированной водой. Влажные ДО хранили в холодильнике при 4°C до начала эксперимента. В каждый стакан высаживали по 10 луковиц. Пробы экспонировали в темноте, длительность эксперимента составила 5 суток.

Таблица 1.

**Содержание радионуклидов (Бк/кг DW) в пробах донных отложений разных районов р. Енисей, использованных для лукового теста**

Район отбора	Донные отложения			
	Контроль (К)	№1	№2	№3
Суммарная активность радионуклидов, Бк/кг	320±20	5200±200	7500±300	17800±700
Активность техногенных радионуклидов, Бк/кг	0.4±0.1	4700±200	7000±300	17300±700
Активность <sup>137</sup> Cs, Бк/кг	0.4±0.1	4700±200	7000±300	17300±700

В экспериментах по биотестированию использовали репчатый лук (*Allium cepa* L.) сорта Штуттгартер ризен (луковицы и пророщенные семена). Луковицы предварительно синхронизировали в темноте при 4°C в течении 10 суток. За сутки перед экспериментом луковицы замачивали в воде для активации и выдерживали при температуре 20°C. Для каждого варианта эксперимента использовалась проба ДО объёма 0.5 л, в дальнейшем каждую пробу ДО разделяли на три равные части (по 0.165 л), которые помещали в стеклянные стаканы объёмом 0.5 л. За неделю до начала эксперимента влажность в активных ДО подводили до 25% дистиллированной водой. Влажные ДО хранили в холодильнике при 4°C до начала эксперимента. В каждый стакан высаживали по 10 луковиц. Пробы экспонировали в темноте, длительность эксперимента составила 5 суток.

Семена лука проращивали в полипропиленовых контейнерах на ложе из двух слоев фильтровальной бумаги, смоченной в дистиллированной воде, в темноте при температуре 23-25°C. Для эксперимента отбирали проростки лука с длиной первичного корня 0.2 см. В экспериментах с семенами лука, в отличие от эксперимента с луковицами, ДО раскладывали по полипропиленовым контейнерам (объём 0.3 л), по 0.15 л на контейнер, высота слоя ДО составляла 3.2 см. Также за неделю до начала эксперимента подводили влажность в активных ДО и потом хранили в холодильнике до начала эксперимента. Проростки высаживали в ДО по 20 шт. на точ-

ку, в 4 ряда по центру контейнера, расстояние между рядами 1 см, между проростками 0.5 см. Контейнеры с проростками экспонировали при круглосуточном освещении люминесцентными лампами 20 Вт с уровнем освещённости 2.3 – 2.5 клк, в течении 7 суток. По окончании эксперимента растения извлекали из ДО, отмывали в проточной воде от прилипших частичек ДО, измеряли все необходимые параметры.

Основными индикаторными параметрами биотестирования в данной работе служили показатели роста корней, такие как средняя длина корня, суммарная длина корней и число корней на одно растение (луковицу или проросток), а также выживаемость тест-организмов к концу эксперимента.

Достоверность различия тестируемых параметров между контролем и экспериментом оценивалась с помощью t-критерия, для установления статистической зависимости между индикаторными параметрами *A. cerea* и активностью  $^{137}\text{Cs}$  в тестируемых донных отложениях использовали корреляционный анализ Пирсона. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Статистическая и графическая обработка данных выполнена в Excel для Microsoft office 2013.

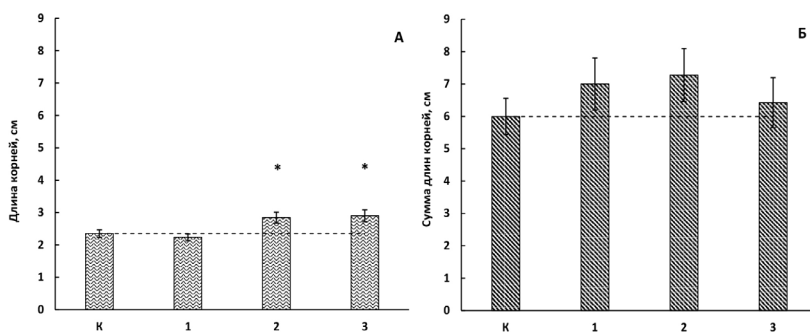
### Результаты и обсуждение

В эксперименте, где в качестве тест-объектов использовали луковицы *A. cerea*, выживаемость луковиц на всех ДО варьировала от 93 до 97 %, что может косвенно свидетельствовать об отсутствии значительной разницы в острой токсичности радиоактивных проб и контроля.

На рис. 1 приведены индикаторные показатели лука, такие как параметры роста корней (средняя длина одного корня и суммарная длина корней) для ДО с разным содержанием техногенных радионуклидов. Средняя длина одного корня на луковице в тестируемых пробах ДО варьировала от 2.2 до 2.9 см и для донных отложений №2 и №3 достоверно отличалась от контрольных проб ДО (2.3 см) (рис.1-А). Следовательно, по средней длине одного корня на луковице все пробы ДО могут быть ранжированы в порядке убывания длины следующим образом: ДО № 3 (2.9 см) ~ ДО № 2 (2.8 см) > ДО № 1 (2.2 см) ~ контроль ДО (2.4 см). Суммарная длина всех корней на одной луковице в тестируемых пробах ДО варьировала от 6.4 до 7.3 см и превышала этот параметр в контроле (6.0 см), но разница с контрольными значениями была статистически недостоверна (рис.1-Б). Эти результаты использования лукового теста подтвердили ранее нами полученные данные [3], что радиоактивные пробы ДО р. Енисей, отобранные также в районе вблизи с. Балчуг, не проявили токсичности (угнете-



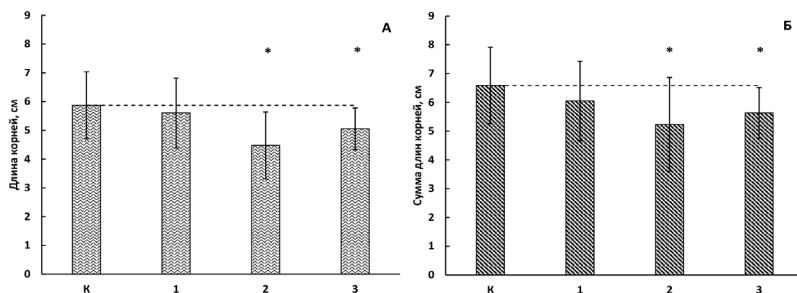
ния роста) и даже наоборот – была зарегистрирована стимуляция роста длины корней луковиц в тестируемых ДО по сравнению с контролем. Однако в новых токсикологических экспериментах (Рис.1) содержание техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в ДО (от 4700 до 17300 Бк/кг) более чем на порядок превышало содержание  $^{137}\text{Cs}$  (от 130 до 1200 Бк/кг) в ДО ранее проведенных экспериментов [3]. В ряде исследований установлено стимулирующее действие малых доз радиации на индикаторные параметры облученных семян и проростков растений [5, 10, 12, 18, 22, 24]. В отличие от суммарной длины корней (и средней длины одного корня) такой параметр как среднее число корней на одной луковице не показал достоверный эффект стимуляции роста за счет повышенного гамма-облучения. Для луковиц, выросших на ДО №2 и №3 с максимальным содержанием  $^{137}\text{Cs}$ , среднее число корней на одной луковице (21–22 штук) было меньше чем в контроле (24 штуки), но разница была статистически недостоверна. В проведенных экспериментах отсутствует корреляционная зависимость эффекта стимуляции роста длины корней от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО, но можно отметить возможный пороговый уровень  $^{137}\text{Cs}$  в ДО равный 7000 Бк/кг (проба №2), начиная с которого длина корней достоверно отличается от контроля (рис.1-А).



**Рис. 1.** Средняя длина (А) и суммарная длина (Б) корней у луковиц, на донных отложениях с разным содержанием техногенных радионуклидов (№1, 2, 3). Штриховая линия – линия уровня контроля (К). \* – достоверно отличается от контроля при  $p < 0.05$

При проведении биотестирования с использованием проросших семян *A. сера* их выживаемость составляла от 80 до 95 %, что, как и в случае с луковицами может свидетельствовать об отсутствии острой токсичности радиоактивных ДО по сравнению с контролем.

Индикаторные параметры роста корней проростков (средняя длина одного корня и суммарная длина корней) для ДО с разным содержанием техногенных радионуклидов приведены на рис. 2-А и 2-Б. При сравнении параметров роста корней семян (Рис.2) с ростом корней у луковиц (Рис.1) на радиоактивных ДО видна совершенно противоположная картина. Средняя длина одного корня и суммарная длина корней на одном проростке уменьшается при росте на радиоактивных пробах ДО (Рис.2), в отличие от увеличения длины корней у луковиц (Рис.1), относительно контроля. Разница параметров роста корней проростков на радиоактивных ДО №2 и №3 и контрольных проб ДО статистически достоверна (Рис. 2). Тогда, все пробы ДО могут быть ранжированы в порядке убывания длины корней на одном семени следующим образом: Контроль ДО ~ ДО № 1 > ДО № 3 ~ ДО № 2. Следовательно, луковый тест с использованием пророщенных семян демонстрирует эффект токсичности тестируемых ДО, в отличие от эффекта стимуляции при использовании луковиц на ДО с подобным уровнем радиоактивного загрязнения.



**Рис. 2.** Средняя длина (А) и суммарная длина (Б) корней проростков лука, на донных отложениях с разным содержанием техногенных радионуклидов (№1, 2, 3). Штриховая линия – линия уровня контроля (К). \* – отличия от контроля достоверны при  $p < 0.05$

Если для одной луковицы число выросших корней превышало 20, то для одного проростка среднее число корней было менее 2 и поэтому этот параметр не показал никакого достоверного эффекта влияния радиоактивных ДО на пророщенные семена. В экспериментах с семенами лука отсутствует корреляционная зависимость эффекта ингибирования роста корней от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО, но можно отметить возможный пороговый уровень  $^{137}\text{Cs}$  в ДО равный 7000 Бк/кг (проба №2), начиная с которого длина корней достоверно отличается от контроля (рис. 2), как и в

случае с луковцами (рис.1-А). Только в обоих вариантах с луковцами и проростками проявляются разные отклики ростовых параметров на радиоактивность ДО. Ранее было отмечено негативное влияние малых доз гамма-облучения за счет точечного источника  $^{137}\text{Cs}$  как на ростовые, так и на цитогенетические параметры корней проростков лука [7]. Высокое содержание техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в ДО (до 17300 Бк/кг) в наших экспериментах формирует малые дозы гамма-облучения корней лука и при достижении пороговых значений доз – ингибируют рост корней.

В отмеченной ранее работе [6] также использовали луковый биотест для оценки токсичности ДО реки Енисей, в том числе тестировали пять проб ДО с повышенным содержанием техногенных радионуклидов из зоны радиационного загрязнения. Относительно низкое содержание техногенных радионуклидов в тестируемых авторами ДО (менее 1200 Бк/кг радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ ) не позволило выявить токсичность и генотоксичность радиационного фактора ДО для луковец, но отмечена положительная корреляция генотоксичности с содержанием меди и нефтепродуктов в ДО. Авторы [6] констатируют, что сильных реакций индикаторных параметров лукового теста на качество исследованных ДО не выявлено из-за низкого уровня техногенного загрязнения исследованных проб, что согласуется с результатами химического анализа ДО. Констатация низкого уровня химического фактора в ДО р. Енисей, сделанная выше, позволяет считать радиационный фактор в используемых нами опытных пробах ДО (высокое содержание радионуклида  $^{137}\text{Cs}$ ) главным фактором проявления токсичности в случае с семенами лука.

Луковый тест используется не только для оценки токсичности на основе роста корней, но и генотоксичности на основе подсчета доли клеток в апикальной корневой меристеме, содержащих аномальные хромосомы [6-7, 10, 14, 16-17, 19-21]. При этом, индикатор генотоксичности (доля клеток с аномальными хромосомами) может проявлять наибольшую чувствительностью к качеству ДО р. Енисей, по сравнению с индикаторами общей токсичности (рост корней) [6]. Стимуляция роста корней у луковец *A. sepa* при тестировании радиоактивных ДО не позволяет использовать этот тест-объект для оценки токсичности содержания радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в широком диапазоне удельной активности – от 130 до 1200 Бк/кг [3] и до 17300 Бк/кг (Рис.1). Возможно оценка генотоксичности на основе хромосомных нарушений корней у луковец позволит выявить эффекты повышенного содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО, но при этом активность  $^{137}\text{Cs}$  должна быть существенно выше 1200 Бк/кг [6].

Результаты эксперимента по гамма-облучению пророщенных семян лука малыми дозами от точечного источника  $^{137}\text{Cs}$  показали, что частота встречаемости клеток с хромосомными нарушениями является более чувствительным параметром, по сравнению с длиной корней [7]. Следовательно, биотестирование с использованием в качестве тест-объекта пророщенные семена *A. cepa*, позволяет не только оценить токсичность радиоактивных ДО, но и повысить чувствительность тестирования при дополнительном анализе корней проростков семян на хромосомные нарушения в будущем (оценка генотоксичности).-

### Заключение

В проведенных экспериментах с использованием лукового биотеста (*Allium-test*) оценивали токсичность донных отложений (ДО) реки Енисей с высоким содержанием техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (до 17300 Бк/кг), превышающим активности  $^{137}\text{Cs}$  в опубликованных ранее токсикологических экспериментах с ДО. Луковый биотест проводили в двух модификациях – с луковицами и пророщенными семенами *A. cepa*. В качестве основных индикаторных параметров оценивали среднюю длину корней и суммарную длину корней, выросших на одном растении (луковице или проростке).

Индикаторные параметры луковиц *A. cepa* при тестировании радиоактивных ДО показали достоверный эффект стимуляции роста корней. Несмотря на то, что в проведенных экспериментах отсутствует корреляционная зависимость эффекта стимуляции роста длины корней от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО, можно отметить возможный пороговый уровень  $^{137}\text{Cs}$  в ДО равный 7000 Бк/кг, начиная с которого длина корней достоверно отличается от контроля. Ранее подобный эффект стимуляции роста корней наблюдался у луковиц при тестировании ДО р. Енисей с более низким содержанием  $^{137}\text{Cs}$  (до 1200 Бк/кг).

Индикаторные параметры пророщенных семян *A. cepa* (ранее для биотестирования ДО р. Енисей не использовались) при тестировании радиоактивных ДО впервые показали достоверный эффект угнетения роста корней, т.е. проявление токсичности ДО. В этих экспериментах также отсутствует корреляционная зависимость эффекта ингибирования роста корней от содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО, но можно отметить возможный пороговый уровень  $^{137}\text{Cs}$  в ДО равный 7000 Бк/кг, начиная с которого длина корней достоверно отличается от контроля.

Использование для оценки токсичности радиоактивно загрязнённых ДО р Енисей двух модификаций лукового теста (луковицы и семена *A.*

се́ра) показало, что только рост корней проростков лука как индикаторный параметр обладает достаточной чувствительностью к содержанию техногенного радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в ДО и позволяет оценить биологические эффекты влияния радиоактивности. Использование в дальнейшем индикатора генотоксичности (доля клеток с аномальными хромосомами) позволит повысить чувствительность лукового теста в широком диапазоне содержания  $^{137}\text{Cs}$  в ДО.

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

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0287-2021-0019).

**Благодарности.** Авторы благодарят старшего научного сотрудника Дементьева Д.В. за помощь в гамма-спектрометрии проб донных отложений.

**Conflict of interest statement.** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Funding.** The study was funded by State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 0287-2021-0019).

**Acknowledgements.** The authors are grateful to Dementyev D.V., Senior Researcher, for his help in conducting gamma-spectrometric measurements of bottom sediment samples.

### **Список литературы**

1. Болсуновский А.Я., Ермаков А.И., Мясоедов Б.Ф., Новиков А.П., Соболев А.И. Новые данные по содержанию трансурановых элементов в донных отложениях реки Енисей // Доклады Академии наук. 2002. Т. 387, № 2. С. 233-236.
2. Болсуновский А.Я., Муратова Е.Н., Суковатый А.Г., Пименов А.В., Санжараева Е.А., Зотина Т.А., Корнилова М.Г. Радиоэкологический мониторинг реки Енисей и цитогенетические характеристики водного растения *Elodea canadensis* // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 1. С. 63-73.
3. Болсуновский А.Я., Трофимова Е.А., Зуева А.В., Дементьев Д.В. Первые данные по использованию Allium-теста для оценки химической и радиационной токсичности донных отложений реки Енисей // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469, № 4. С. 513–517.

4. Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Вахрушев В.И. Масштабный перенос техногенных радионуклидов по течению реки Енисей во время экстремального паводка 1966 года // Доклады Академии наук. Науки о Земле, 2021, Т. 498, № 2. С. 189–194.
5. Гераськин С.А., Чурюкин Р.С., Казакова Е.М. Модификация развития ячменя на ранних этапах онтогенеза при воздействии гамма-излучения не семена // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 6. С. 607–615.
6. Зотина Т.А., Трофимова Е.А., Александрова Ю.В., Анищенко О.В. Оценка качества донных отложений среднего участка р. Енисей с помощью *Allium* теста // Сибирский экологический журнал. 2019. Т. 3. С. 327-340. <https://doi.org/10.1134/S1995425519030120>
7. Зуева А. В., Трофимова Е. А., Дементьев Д. В., Болсуновский А. Я. Действие  $\gamma$ -излучения в малых дозах на цитогенетические параметры проростков семян лука *Allium cepa* в экспериментах разной длительности // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61(2). С. 175-184.
8. Медведева М.Ю., Болсуновский А.Я., Зотина Т.А. Цитогенетические нарушения у водного растения *Elodea canadensis* в зоне техногенного загрязнения р. Енисей // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21, № 4. С. 561-572. <https://doi.org/10.1134/S1995425514040088>
9. Муратова Е.Н., Горячкина О.В., Корнилова М.Г., Пименов А.В., Седельникова Т.С., Болсуновский А.Я. Цитогенетическое изучение водных растений акватории Енисея в зоне радиационного загрязнения // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2014. № 5. С. 510-517. <https://doi.org/10.1134/S1062359014050094>
10. Синовец С.Ю., Пяткова С.В., Козьмин Г.В. Экспериментальное обоснование использования Аллиум-теста в радиоэкологическом мониторинге // Изв. ВУЗов. Ядерная энергетика. 2009. № 1. С. 32-38.
11. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.М., Болсуновский А.Я., Ковалев С.И., Косолапова Л.Г., Мельгунов М.С., Рапута В.Ф. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. Новосибирск, Изд-во СО РАН. Филиал “Гео”. 2004. 286 с.
12. Трофимова Е.А., Дементьев Д.В., Болсуновский А.Я. Влияние  $\gamma$ -излучения на развитие растений из облученных семян и проростков *Allium cepa* L. // Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. Т. 59. № 3. С. 293-299.
13. Bolsunovsky A. Artificial radionuclides in sediment of the Yenisei River // Chem. Ecol. 2010. V. 26 (6). P. 401–409. <https://doi.org/10.1080/02757540.2010.504668>
14. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E., Iniatkina E., Kladko Yu, Petrichenkov M. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa* L.) by gamma-rays // Radiat. Environ. Biophys. 2011. V. 50. P. 111–118. <https://doi.org/10.1007/s00420-010-0548-4>

- lium cepa*) by gamma-radiation // Journal of Environmental Radioactivity. 2019. V. 207. P. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.014>
15. Bolsunovsky A., Dementyev D., Trofimova E. Biomonitoring of radioactive contamination of the Yenisei River using aquatic plants // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. Vol. 211. № 106100. P. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106100>
  16. Fiskesjö G. The Allium-test as a standard in environmental monitoring // Hereditas. 1985. Vol. 102. P. 99-112.
  17. Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V. Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of Allium-test // Chemosphere. 2011. Vol. 83. P. 1133-1146. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.008>
  18. Kim J.H., Chung B.Y., Kim J.S., Wi S.G. Effects of in planta gamma-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants // J. Plant Biol. 2005. V. 48. № 1. P. 47-56. <https://doi.org/10.1007/BF03030564>
  19. Kovalchuk O., Kovalchuk I., Arkhipov A. et al. The *Allium cepa* chromosome aberration test reliably measures genotoxicity of soils of inhabited areas in the Ukraine contaminated by the Chernobyl accident // Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 1998. № 415. P. 47-57. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(98\)00053-9](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(98)00053-9)
  20. Leme D.M., Marin-Morales M.A. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water – A case study // Mutation Research. 2008. V. 650. P. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.10.006>
  21. Leme D.M., Marin-Morales M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application // Mutation Research/Reviews in Mutation Research. 2009. V. 682. №1. P. 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>
  22. Melki M., Marouani A. Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat // Environ. Chem. Lett. 2010. V. 8. P. 307-310. <https://doi.org/10.1007/s10311-009-0222-1>
  23. Sediment-water chironomid toxicity test using spiked water. Test Guideline No. 219. Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. 2004. OECD Publishing, Paris.
  24. Shi J.M., Guo J.G., Li W.J. et al. Cytogenetic effects of low doses of energetic carbon ions on rice after exposures of dry seeds, wet seeds and seedlings // J. Radiat. Res. 2010. № 51. P. 235-242. <https://doi.org/10.1269/jrr.09085>
  25. Tkalec M., Malari K., Pavlica M. et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. //

- Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. 2009. V. 672. P. 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.09.022>.
26. Zotina T.A., Trofimova E.A., Medvedeva M.Yu., Dementyev D.V., Bolsunovsky A.Ya. Use of the aquatic plant *Elodea canadensis* to assess toxicity and genotoxicity of Yenisei River sediments // Environmental Toxicology and Chemistry. 2015. Vol. 34, No. 10, P. 2310–2321. <https://doi.org/10.1002/etc.3057>
27. Vaijapurkar S.G., Agarwal D., Chaudhuri S.K., Senwar K.R., Bhatnagar P.K. Gamma-irradiated onions as a biological indicator of radiation dose // Radiation Measurements. 2001. V. 33 (5), P. 833-836. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00246-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00246-3)
28. Vakulovsky S.M., Kryshev I.I., Nikitin A.I., Savitsky Y.V., Malyshev S.U., Tertyschnik E.G. Radioactive contamination of the Yenisey River // Journal of Environmental Radioactivity. 1995. Vol. 29, P. 225-236. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00033-7](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00033-7)

### References

1. Bolsunovsky A.Ya, Ermakov A.I., Myasoedov B.F., Novikov A.P., Sobolev A.I. New data on the content of transuranic elements in bottom sediments of the Yenisei River. *Dokl. Earth Sci.*, 2002, vol. 387 (8), pp. 971-974.
2. Bolsunovsky A.Ya., Muratova E.N., Sukovaty A.G., Pimenov A.V., Sanzharaeva E.A., Zotina T.A., Sedel'nikova T.S., Kornilova M.G. Radioecological monitoring of the Yenisei River and cytogenetic characteristics of water plant *Elodea Canadensis*. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2007, vol. 47, no. 1, pp. 63-73.
3. Bolsunovsky A.Ya, Trofimova E.A., Zueva A.V., Dementiev D.V. The first results of using the Allium test in estimating the chemical and radiation toxicity of bottom sediments in the Yenisei River. *Dokl. Biol. Sci.*, 2016, vol. 469, pp. 192-195.
4. Bolsunovsky A.Ya., Dementyev D.V., Vakhrushev V.I. Transport of artificial radionuclides over long distances downstream along the Yenisei River during the 1966 extreme flood event. *Doklady Earth Sciences*, 2021, vol. 498, part 2, pp. 514-518.
5. Geras'kin S.A., Churukin R.S., Kazakova E.A. Modification of barley development at early stages after exposure of seeds to  $\gamma$ -irradiation. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2015, vol. 55(6), pp. 607-615.
6. Zotina T.A., Trofimova E.A., Alexandrova Yu.V., Anishchenko O.V. Assessment of the quality of bottom sediments in the middle reaches of the Yenisei River by



- Allium* test. *Contemporary Problems of Ecology*, 2019, Vol. 12, no. 3, pp. 265-274. <https://doi.org/10.1134/S1995425519030120>
7. Zueva A.V., Trofimova E.A., Demytyev D.V., Bolsunovsky A.Ya. The effect of low-dose  $\gamma$ -radiation on cytogenetic endpoints of onion (*Allium cepa*) seedlings in experiments of various durations. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2021, vol. 61(2), pp. 175-184.
  8. Medvedeva M. Yu., Bolsunovsky A. Ya., Zotina T. A. Cytogenetic abnormalities in aquatic plant *Elodea* in anthropogenic contamination zone of Yenisei River. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2014, vol. 7, pp. 422-432. <https://doi.org/10.1134/S1995425514040088>
  9. Muratova E.N., Goryachkina O.V., Kornilova M.G., Pimenov A.V., Sedelnikova T.S., and Bolsunovsky A.Ya. Cytogenetic studies on submerged plants from the Yenisei River area in the zone of radioactive contamination. *Biology Bulletin*, 2014, vol. 41, pp. 461–467. <https://doi.org/10.1134/S1062359014050094>
  10. Sinovets S.Yu., Pyatkova S.V., Kozmin G.V. Experimental validation of the use of the *Allium*-test in radioecological monitoring. Jekspierimental'noe obosnovanie ispol'zovanija *Allium*-testa v radiojekologicheskom monitoring. *Izv. VUZov. Jadernaja jenergetika*, 2009, no. 1, pp. 32-38.
  11. Sukhorukov F.V., Degermendzhy A.G., Belolipetsky V.M., Bolsunovsky A.Y., Kovalev S.I., Kosolapova L.G., Melgunov M.S., Raputa V.F. *Zakonomernosti raspredeleniya i migratsii radionuklidov v doline reki Enisei* [Distribution and migration of radionuclides in the Yenisei River Valley]. SB RAS "Geo" Publ., Novosibirsk, 2004, 286 p.
  12. Trofimova E.A., Demytyev D.V., Bolsunovsky A.Ya. The effect of  $\gamma$ -rays on the development of plants from irradiated seeds and seedlings of *Allium cepa* L. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2019, vol. 59, no. 3, pp. 293-299.
  13. Bolsunovsky, A. Artificial radionuclides in sediment of the Yenisei River. *Chem. Ecol.*, 2010, vol. 26 (6), pp. 401–409. <https://doi.org/10.1080/02757540.2010.504668>
  14. Bolsunovsky A., Demytyev D., Trofimova E., Iniatkina E., Kladko Yu, Petrichenkov M. Chromosomal aberrations and micronuclei induced in onion (*Allium cepa*) by gamma-radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2019, vol. 207, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.05.014>
  15. Bolsunovsky A., Demytyev D., Trofimova E. Biomonitoring of radioactive contamination of the Yenisei River using aquatic plants. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2020, vol. 211, 106100, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106100>

16. Fiskeşjö G. The *Allium*-test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, 1985, vol. 102, pp. 99-112.
17. Geras'kin S., Oudalova A., Michalik B., Dikareva N., Dikarev V. Genotoxicity assay of sediment and water samples from the Upper Silesia post-mining areas, Poland by means of *Allium*-test. *Chemosphere*, 2011, vol. 83, pp. 1133-1146. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.008>
18. Kim J.H., Chung B.Y., Kim J.S., Wi S.G. Effects of in planta gamma-irradiation on growth, photosynthesis, and antioxidative capacity of red pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *J. Plant Biol.*, 2005, vol. 48, no. 1, pp. 47-56. <https://doi.org/10.1007/BF03030564>
19. Kovalchuk O., Kovalchuk I., Arkhipov A. et al. The *Allium cepa* chromosome aberration test reliably measures genotoxicity of soils of inhabited areas in the Ukraine contaminated by the Chernobyl accident. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 1998, no. 415, pp. 47-57. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(98\)00053-9](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(98)00053-9)
20. Leme D.M., Marin-Morales M.A. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum polluted water – A case study. *Mutation Research*, 2008, vol. 650, pp. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2007.10.006>
21. Leme D.M., Marin-Morales M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 2009, vol. 682, no. 1, pp. 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>
22. Melki M., Marouani A. Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat. *Environ. Chem. Lett.*, 2010, vol. 8, pp. 307-310. <https://doi.org/10.1007/s10311-009-0222-1>
23. Sediment-water chironomid toxicity test using spiked water. Test Guideline No. 219. Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. 2004. OECD Publishing, Paris.
24. Shi J.M., Guo J.G., Li W.J. et al. Cytogenetic effects of low doses of energetic carbon ions on rice after exposures of dry seeds, wet seeds and seedlings. *J. Radiat. Res.*, 2010, no. 51, pp. 235-242. <https://doi.org/10.1269/jrr.09085>
25. Tkalec M., Malari K., Pavlica M. et al. Effects of radiofrequency electromagnetic fields on seed germination and root meristematic cells of *Allium cepa* L. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 2009, vol. 672, pp. 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2008.09.022>
26. Zotina T.A., Trofimova E.A., Medvedeva M.Yu., Dement'ev D.V., Bolsunovskiy A.Ya. Use of the aquatic plant *Elodea canadensis* to assess toxicity and genotoxicity of Yenisei River sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2015, vol. 34, no. 10, pp. 2310-2321. <https://doi.org/10.1002/etc.3057>

27. Vajjapurkar S.G., Agarwal D., Chaudhuri S.K., Senwar K.R., Bhatnagar P.K. Gamma-irradiated onions as a biological indicator of radiation dose. *Radiation Measurements*, 2001, vol. 33 (5), pp. 833-836. [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(01\)00246-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(01)00246-3)
28. Vakulovsky S.M., Kryshev I.I., Nikitin A.I., Savitsky Y.V., Malyshev S.U., Tertyschnik E.G. Radioactive contamination of the Yenisey River. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1995, vol. 29, pp. 225-236. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(95\)00033-7](https://doi.org/10.1016/0265-931X(95)00033-7)

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Болсуновский Александр Яковлевич**, д-р биол. наук, заведующий лабораторией радиэкологии  
*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН*  
*Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация*  
*radecology@gmail.com*

**Трофимова Елена Александровна**, м.н.с. лаборатории радиэкологии  
*Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН*  
*Академгородок, 50-50, г. Красноярск, 660036, Российская Федерация*  
*e.trofimova11@yandex.ru*

### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Alexander Ya. Bolsunovsky**, Dr. Sc. (Biology), Head of Radioecology Laboratory  
*Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*  
*50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation*  
*radecology@gmail.com*  
*SPIN-code: 1611-7686*

*Researcher ID: P-8028-2015*

*Scopus Author ID: 6602465853*

**Elena A. Trofimova**, Junior Researcher, Radioecology Laboratory

*Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*

*50-50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation*

*e.trofimova11@yandex.ru*

*SPIN-code: 7291-7039*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7511-4916>*

*Scopus Author ID: 42662341100*

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 01.07.2023

Принята 05.07.2023

Received 14.06.2023

Revised 01.07.2023

Accepted 05.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-719

УДК 663.88:615.32



Научная статья | Экология

## АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВ НЕДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА

*А.С. Олькова, Е.В. Товстик*

*В статье представлено исследование предварительно разработанных фито-композиций для приготовления горячих напитков на основе березовой чаги (*Inonotus obliquus*) с добавлением различного растительного сырья (трав, ягод, лишайника).*

*Применяли традиционный метод оценки полезных свойств подобных продуктов – определение уровня антиоксидантной активности, и не типичные методы, позволившие установить антибактериальную и антипротозойную активности готового продукта. Показано, что антиоксидантная активность в водных извлечениях из фитокомпозиций увеличивалась до 4,9 раз по сравнению с экстрактами из монокомпонентов, например, из чаги.*

*Методы биотестирования, являющиеся новыми при подтверждении полезных свойств недревесной продукции леса и иного растительного сырья, также подтвердили эффект синергизма растительных компонентов при их совместном действии. Антипротозойная активность снизилась только в комбинации чаги, яблока и корицы по сравнению с показателями для отдельных ингредиентов. Антибактериальной активности не наблюдалось в 57% экстрактов из монокомпонентов, тогда как при их сочетании *E. coli* угнетались во всех вариантах.*

**Ключевые слова:** *Inonotus obliquus*; растительное сырье; антиоксидантная активность; антибактериальная активность; антипротозойная активность

**Для цитирования.** Олькова А.С, Товстик Е.В. Альтернативные методы оценки полезных свойств недревесной продукции леса // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 46-60. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-719

Original article | Ecology

## ALTERNATIVE METHODS FOR ASSESSING USEFUL PROPERTIES OF NON-WOOD FOREST PRODUCTS

*A.S. Olkova, E.V. Tovstik*

*The article presents a study of pre-developed phyto-compositions for the preparation of hot drinks based on birch chaga (*Inonotus obliquus*) with the addition of various plant materials (herbs, berries, lichen).*

*We used the traditional method for evaluating the beneficial properties of such products – determining the level of antioxidant activity, and not typical methods that allowed us to establish the antibacterial and antiprotozoal activity of the finished product. It was shown that the antioxidant activity in aqueous extracts from phytocompositions increased compared to extracts from monocomponents (by a maximum of 4.8 times).*

*Bioretesting methods confirmed the effect of synergism of plant components in their joint action. Antiprotozoal activity decreased only in the mixture of chaga, apples and cinnamon compared to the values for individual ingredients. Antibacterial activity was not observed in 57% of extracts from monocomponents, and when they were combined, we observed the inhibition of *E. coli* in all variants.*

**Keywords:** *Inonotus obliquus*; vegetable raw materials; antioxidant activity; antibacterial activity; antiprotozoal activity

**For citation.** *Olkova A.S., Tovstik E.V. Alternative Methods for Assessing Useful Properties of Non-Wood Forest Products. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 46-60. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-719*

### Введение

Недревесная продукция леса и её рациональная добыча являются одним из факторов сохранения лесов для осуществления ими экологических и альтернативных экономических функций. Среди разнообразия такой продукции – березовый гриб чага (*Inonotus obliquus*), отличающийся многовековым использованием в народной медицине, доказанными лечебными свойствами, значительным оборотом сырья и производных на его основе, как на территории России, так и в других странах [8].

К наиболее ценным биологически активным веществам (БАВ), входящим в состав чаги, относят полифенолы [2]. Обладающие способностью активно поглощать свободные радикалы, они обеспечивают антиоксидантные свойства готовой продукции [11, 21]. Одним из новейших достижений в области исследования чаги, стало открытие новых, ранее не известных в составе *I. obliquus* представителей изокумаринов (неолигнан, циклический диарилгептаноид), обладающих нейропротекторными свойствами [9].

Наиболее распространённый функциональный пищевой продукт на основе *I. obliquus* – это чага-чай, часто обогащённый производителями растительными ингредиентами [7]. Последние выступают в роли натуральных вкусовых добавок, оттеняющих древесный вкус чаги; расширяют спектр БАВ, насыщающих чай. Для оценки полезных свойств чаги и композиций на её основе важны не только количественные (концентрация БАВ), но и качественные показатели, включающие оценку совокупного действия БАВ по биологическим тестам [13, 17–19]. Исследования в этой области во многом сходны с процедурой оценки свойств лекарственных препаратов [6]. Так, на выделенных клетках аденокарциномы толстой кишки человека (HT29-MTX) установлено антираковое действие бетулина и бетулиновой кислоты, входящих в состав *I. obliquus* [20].

К настоящему времени для спиртовых экстрактов из чаги, помимо мощного антиоксидантного действия, установлены антипролиферативные, противомикробные и другие свойства [14]. Менее изученными в этом отношении, остаются водные извлечения из чаги. Учитывая тот факт, что наиболее распространённым способом употребления чаги являются настои и отвары, актуальны исследования, показывающие комплекс полезных свойств таких продуктов [1]. Определение суммарной антиоксидантной активности является классическим методом демонстрации полезных свойств растительного сырья. Токсикологические методы *in vitro* (лабораторное биотестирование) редко встречаются в комплексной оценке свойств чайных продуктов. Однако, именно эти методы косвенно свидетельствуют о биологическом действии продукции в условиях прямого воздействия на живые организмы.

Целью работы стало сопоставление результатов оценки полезных свойств водных извлечений из чаги и композиций на её основе классическим методом (антиоксидантная активность) и альтернативными методами (биотестирование).

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили композиции на основе березового гриба чаги (*I. obliquus*), заготовленного в условиях подзоны средней тайги (Кировская область, Россия). Для анализа чагу сушили до воздушно-сухого состояния, измельчали в лабораторной мельнице. В работе использовали фракцию порошка чаги размером 0,1–2,5 мм. На основе чаги составляли композиции путём объединения её с различным растительным сырьём (добавка 1 и 2). Всего было составлено 10 композиций (табл.).

Таблица.

Состав композиций на основе чаги (*I. obliquus*)

Вариант	Растительное сырьё	
	Добавка 1	Добавка 2
1	Плоды рябины обыкновенной ( <i>Sorbus aucuparia</i> )	Листья иван-чая ( <i>Chamaenerion</i> )
2	Имбирь ( <i>Zingiber officinale</i> )	Листья иван-чая ( <i>Chamaenerion</i> )
3	Лемонграсс ( <i>Cymbopogon nardus</i> )	Мелисса лекарственная ( <i>Melissa officinalis</i> )
4	Душица ( <i>Origanum</i> )	Лист чёрной смородины ( <i>Ribes nigrum</i> )
5	Трава чабреца ( <i>Thymus</i> )	Цветы липы ( <i>Tiliae flores</i> )
6	Плоды можжевельника ( <i>Juniperus</i> )	Мята перечная ( <i>Mentha piperita</i> )
7	Лимон ( <i>Citrus limon</i> )	Лист облепихи ( <i>Hippophaë</i> )
8	Плоды шиповника ( <i>Fructus Rosae</i> )	Ягель ( <i>Cladonia rangiferina</i> )
9	Яблоко ( <i>Pyrus malus</i> )	Корица ( <i>Cinnamomum verum</i> )
10	Каркаде ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> )	Мелисса лекарственная ( <i>Melissa officinalis</i> )

Массовое соотношение чаги и добавок в композициях составляло 7:3 соответственно. Добавки в состав смеси вводили в равном количестве.

Для проведения исследований готовили водные извлечения из растительного сырья. Соотношение сырья к воде составляло 1:20 по массе. Способ приготовления извлечений соответствовал режиму настоя: температура воды 100°C, время настаивания 20 минут. В работе использовали артезианскую воду питьевого качества торговой марки «Ключ здоровья». Полученные извлечения фильтровали через бумажный фильтр «белая лента» в стеклянные ёмкости. Для анализа использовали свежеприготовленные извлечения.

Суммарную антиоксидантную активность (АОА) определяли методом титриметрии. Стандартизацию раствора перманганата калия осуществляли по кварцетину [3].



Биотест по угнетению хемотаксиса инфузорий *Paramecium caudatum* выполняли на приборе «Биотестер» (Россия) [5]. Результаты анализа интерпретировали с точки зрения антипротозойной активности получаемого напитка. Биотест по угнетению биолюминесценции бактериального препарата «Эколюм» на основе *Escherichia coli* выполняли на приборе «Биотокс-10М» (Россия) [4]. Результаты данного анализа свидетельствовали об антибактериальной активности водных извлечений.

Статистическую значимость различий между средними значениями устанавливали при  $p < 0,05$ . Данные выражали как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение.

### Результаты исследования

**Антиоксидантная активность.** Результаты анализа показали, что АОА водных извлечений из базового ингредиента – чаги – была равна  $0,129 \pm 0,013$  мг/см<sup>3</sup>. Аналогичный показатель для растительных добавок варьировал в пределах двух порядков. Наиболее высокое содержание антиоксидантов обнаружено в водных извлечениях из душицы ( $0,29$  мг/см<sup>3</sup>), минимальное – из плодов рябины обыкновенной ( $0,023$  мг/см<sup>3</sup>). На рисунке 1 отражена АОА водных извлечений из чаги, каждого из дополнительных ингредиентов, приготовленных и испытанных отдельно, а также итоговой композиции.

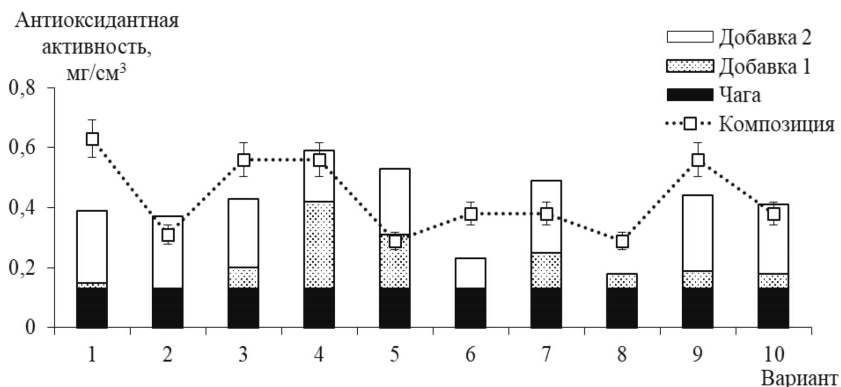


Рис. 1. Антиоксидантная активность растительного сырья и его комбинаций с чагой

Полученные результаты показывают, что комбинация некоторых видов растительного сырья с чагой приводит к увеличению АОА водных извле-

чений, по сравнению с отдельными извлечениями из них. Такое усиление полезных свойств максимально проявилось при комбинации чаги с плодами рябины и листьями иван-чая (композиция 1), а также чаги с яблоком и корицей (композиция 9). Для композиции № 1 АОА водного извлечения из готовой комбинации сырья была больше показателей для ингредиентов в 4,8; 32; 2,6 раза по сравнению с чагой, рябиной и иван-чаем соответственно. Для композиции № 9 такие соотношения были равны 4,3; 9,3; 2,2 раза по сравнению с чагой, яблоком и корицей.

Повышение антиоксидантной активности водных извлечений из смеси растительного сырья может быть связано с увеличением экстрагируемости веществ восстанавливающего характера в присутствии добавок. В целом усиление полезных свойств растительными компонентами при их сочетании (синергизм) – положительное явление, к которому необходимо стремиться при разработке фито-чаёв. Также данный эффект позволяет снизить риск побочного действия отдельных ингредиентов за счёт их более низких доз в смеси [12].

**Антипротозойная активность.** Показатель был определен посредством прямого контакта водных извлечений из растительного сырья и его комбинаций с чагой с водной культурой инфузорий *P. caudatum* (рис. 2).

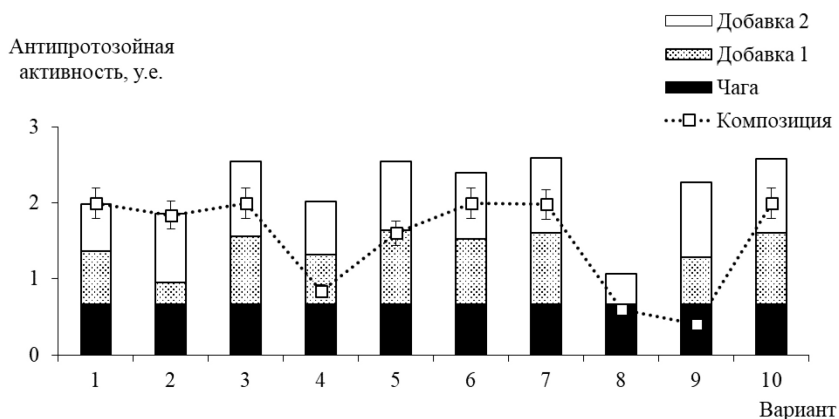


Рис. 2. Антипротозойная активность растительного сырья и его комбинаций с чагой

Все водные извлечения из чаги и растительного сырья, приготовленные вне смеси, угнетали простейших, кроме настоя из плодов шиповника, который оказывал незначительный стимулирующий эффект ( $p > 0,05$  по

сравнению с методическим контролем). Синергизм при комбинации растительного сырья по показателю антипротозойной активности был отмечен для всех композиций, кроме варианта № 4 и № 8, где уровень угнетения инфузорий в водных извлечениях из чаги и используемых добавок не отличался от аналогичного показателя для смеси ингредиентов ( $p > 0,05$ ). В варианте № 9 вклад всех растительных компонентов в обсуждаемую биологическую активность был одинаков, однако показатель для композиции оказался снижен ( $p > 0,05$  относительно отдельных ингредиентов), что говорит об антагонизме действия компонентов в таком сочетании (чага, яблоко, корица).

Выявление благоприятного биологического действия растительного сырья и его комбинаций с чагой – антипротозойной активности, эффектов синергизма и антагонизма исходных компонентов свидетельствует об информативности данного метода биотестирования и целесообразности его использования при оценке качества и свойств чайной и растительной продукции.

**Антибактериальная активность.** Среди методов биотестирования, аттестованных в России, известен бактериальный тест по угнетению биолюминесценции кишечной палочки *E. coli*. В пищевой промышленности его можно использовать для определения антибактериальной активности растительного сырья. На рисунке 3 показаны результаты тестирования растительного сырья для фито-чая, в том числе при комбинации с чагой.

Антибактериальная активность, у.е.

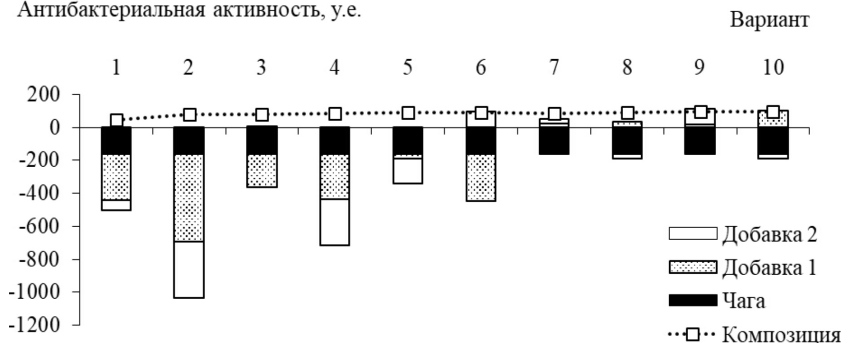


Рис. 3. Антибактериальная активность растительного сырья и его комбинаций с чагой

Главной отличительной особенностью результатов бактериального биотеста стала стимуляция биолюминесценции *E. coli* в водных извлече-

ниях из 57% проб, в том числе из чаги. Тем не менее, многое растительное сырье обладало выраженной антибактериальной активностью: каркаде > корица > лимон > ягоды можжевельника > липовые цветы > чабрец > лист облепихи > лист смородины. Так, в извлечениях из цветов каркаде индекс антибактериальной активности был 99,53, то есть приближался к максимуму – 1. Большинство результатов анализа экстрактов из фито-комплексов показали эффект, противоположный действию отдельных ингредиентов. Водные извлечения из всех композиций обладали антибактериальной активностью, причем в 9 из 10 вариантов угнетение *E. coli* превышало 80%.

### Обсуждение результатов

Классический метод оценки пользы и биологической активности растительного сырья – определение АОА – показал, что водные извлечения из чаги и иного растительного сырья были на высоком уровне. Так по сравнению с востребованными в мировой пищевой промышленности источниками антиоксидантов, недревесная продукция леса средней полосы России не уступает по данному показателю: от 0,05 до 0,29 мг/см<sup>3</sup> против 0,12 мг/см<sup>3</sup> для лимона. Более того, показан эффект усиления АОА водных извлечений из композиции чаги и различного растительного сырья.

Известно, что комбинация некоторых видов растительного сырья в чаях повышает вероятность взаимодействия между веществами, входящими в их состав, что может проявляться в проявлении свойств как положительно (синергия), так и отрицательно (антагонизм) [16]. Подобный синергизм в литературе отмечен между отдельными полифенолами или отдельными представителями этой группы соединений [10]. Например, антиоксидантная активность листьев *Potentilla fruticosa*, содержащих в основном гидролизуемые дубильные вещества, была синергетически увеличена флавоноидной фракцией листьев *Ginkgo biloba* [15].

Альтернативные методы оценки полезных свойств недревесной продукции леса дали дополнительные сведения о разработанных композициях и их составляющих. Так, активация цист простейших в кишечнике человека и их размножение – паталогическое состояние, поэтому поиск методов, дающих представление об антипротозойной активности, – актуальная задача промышленности пищевых продуктов. В представленной работе показано, что всё выбранное растительное сырье, кроме шиповника, угнетало простейших (по биотесту на *P. caudatum*). Большая часть водных извлечений из фито-композиций (70%) обладала большей антипротозойной активностью по сравнению с составляющими ингредиентами.

Напротив, антибактериальной активности во многих извлечениях из сырья, испытанного в отдельности, не наблюдалось. Факт согласуется с литературными данными: метаболиты чаги были нетоксичны в отношении распространенных кишечных бактерий *E. coli* и *B. subtilis* [13]. Однако, как в других экспериментах, сочетание растительного сырья позволило получить антибактериальный эффект в отношении *E. coli*.

### **Заключение**

Полученные результаты демонстрируют методологическое новшество в исследовании качества и полезных свойств недревесной продукции леса, применяемой для пищевых и лечебных целей. Комплексный анализ уровня антиоксидантной активности, антипротозойной и антибактериальной активности оказался эффективным подходом определения пищевой функциональности растительного сырья.

Биотестирование, как альтернативный подход оценки полезных свойств недревесной лесной продукции, показал высокую информативность в демонстрации таких важных свойств фито-продукции как антипротозойная и антибактериальная активность. Наряду с оценкой комплексной антиоксидантной активности, показывающей уровень интегральной пользы фито-продукции для здоровья человека, методы биотестирования можно рекомендовать для пищевой промышленности в целях определения уникальных свойств чайных композиций. Внедрение подобных альтернативных методов и обнародование результатов, полученных с их помощью, будет способствовать привлечению внимания потребителей к отечественным продуктам, отличающимся набором полезных свойств.

### **Список литературы**

1. Вялых Е. В., Челнакова Н. Г., Позняковский В. М. Характеристика гриба чага и его использование в производстве экстрактов для лечебного и профилактического питания // АПК России. 2017. Т. 24. № 3. С. 699-705.
2. Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э., Белова Н.В., Бондарцева М.А., Переведенцева Л.Г., Перелыгин В.В., Яковлев Г.П. Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // Формулы фармации. 2020. Т. 2. № 2. С. 84-93. <https://doi.org/10.17816/phf34803>
3. Максимова Т.В., Никулина И.Н., Пахомов В.П., Шкарина Е.И., Чумакова З.В., Арзамасцев А.П. Способ определения антиокислительной активности // Патент RU 2170930 С1. Заявка: 2000111126/14, 05.05.2000. Дата публикации: 20.07.2001.

4. ПНДФ Т 14.1.2:3:4.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М.: Нера-С, 2010. 30 с.
5. ФР 1.39.2015.19241. Методика определения токсичности проб почв и донных отложений экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». С.-Пб.: СЕКТР-М, 2015. 21 с.
6. Казачинская Е.И., Чепурнов А.А., Кононова Ю.В., Шелемба А.А., Романюк В.В., Магомедов М.Г., Шестопалов А.М. Ингибирующая активность чайных композиций и их составляющих ингредиентов на репликацию SARS-COV-2 *in vitro* // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, № 2. С. 76-90. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-76-90>
7. Кузнецова О.Ю. Обзор современных препаратов с биологически активными композициями березового гриба чага // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2016. № 1. С. 128-141.
8. Усольцева О.Н., Оленников Д.Н., Потупчик Т.В. Оценка качества и биологической активности экстракта березового гриба чага «БиоЧага» // Фармация. 2022. Т. 71. № 2. С. 33–40. <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-02-06>
9. Chang Y., Bai M., Xue X., Zou C., Huang X., Song S. Isolation of chemical compositions as dietary antioxidant supplements and neuroprotectants from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) // Food Bioscience, 2022, vol. 47, art. 101623. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101623>
10. Kicel A., Owczarek A., Kapusta, P., Kolodziejczyk-Czepas J., Olszewska M.A. Contribution of Individual Polyphenols to Antioxidant Activity of *Cotoneaster bullatus* and *Cotoneaster zabelii* Leaves – Structural Relationships, Synergy Effects and Application for Quality Control // Antioxidants, 2020, vol. 1, iss. 9, art. 69. <https://doi.org/10.3390/antiox9010069>
11. Doi N., Araki K., Fukuta Y., Kuwagaito Y., Yamauchi Y., Sasai Y., Kondo S., Kuzuya M. Anti-glycation and antioxidant effects of Chaga mushroom decoction extracted with a fermentation medium // Food Science and Technology Research, 2023, vol. 29, iss. 2, pp. 155-161. <https://doi.org/10.3136/fstr.FSTR-D-22-00120>
12. Jain D.P, Pancholi S.S., Patel R. Synergistic antioxidant activity of green tea with some herbs // Journal Of Pharmaceutical Advanced Research, 2011, vol. 3, iss. 2, pp. 177-183. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.85538>
13. Lemmer B. *Chronopharmacology in Drug Development*. In: *Drug Discovery and Evaluation: Methods in Clinical Pharmacology* / F.J. Hock, M.R. Gralinski (eds.). Springer International Publishing, 2018. pp. 1-20. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56637-5\\_40-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56637-5_40-1)

14. Liu K., Xiao X., Wang J., Chen C.Y. O., Hu H. Polyphenolic composition and antioxidant, antiproliferative, and antimicrobial activities of mushroom *Inonotus sanghuang* // LWT – Food Science and Technology, 2017, vol. 82, pp. 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.041>
15. Liu Z.H., Wang D.M., Fan S.F., Li D.W., Luo Z.W. Synergistic effects and related bioactive mechanism of *Potentilla fruticosa* L. leaves combined with *Ginkgo biloba* extracts studied with microbial test system (MTS) // BMC Complementary and Alternative Medicine, 2016, vol. 16, art. 49516. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1485-2>
16. Mao S., Wang K., Lei Y., Yao S., Lu B., Huang W. Antioxidant synergistic effects of *Osmanthus fragrans* flowers with green tea and their major contributed antioxidant compounds // Scientific Reports, 2017, vol. 7, art. 46501. <https://doi.org/10.1038/srep46501>
17. Muyumba N.W., Mutombo S.C., Sheridan H., Nachtergaeel A., Duez P. Quality control of herbal drugs and preparations: The methods of analysis, their relevance and applications // Talanta Open, 2021, vol. 4, art. 100070. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100070>
18. Sergunova E.V., Sorokina A.A., Bokov D.O., Marakhova A.I. Qualitative and Quantitative Determination of Organic Acids in Crude Herbal Drugs and Medicinal Herbal Preparations for Quality Control in Russian Federation by Modern Physicochemical Methods // Pharmacognosy Journal, 2019, vol. 5, iss. 11, pp. 1132-1137. <https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.176>
19. Shikov A.N., Narkevich I.A., Flisyuk E.V., Luzhanin V.G., Pozharitskaya O.N. Medicinal plants from the 14th edition of the Russian Pharmacopoeia, recent updates // Journal of Ethnopharmacology, 2021, vol. 268, art. 113685. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113685>
20. Wold Ch.W., Gerwick W.H., Wangenstein H., Inngjerdingen K.T. Bioactive triterpenoids and water-soluble melanin from *Inonotus obliquus* (Chaga) with immunomodulatory activity // Journal of Functional Foods, 2020, vol. 71, art. 104025. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104025>
21. Zhou R., Yang H., Lu T., Zhao Y., Zheng W. Ultraviolet radiation promotes the production of hispidin polyphenols by medicinal mushroom *Inonotus obliquus* // Fungal Biology, 2022, vol. 126, iss. 11–12, pp. 775-785. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.10.001>

### References

1. Vyalyh E.V., Chelnakova N.G., Poznyakovskij V.M. Characteristics of the chaga mushroom and its use in the production of extracts for therapeutic and preventive nutrition. *APK Rossii*, 2017, vol. 24, no. 3, pp. 699-705.

2. Zmitrovich I.V., Denisova N.P., Balandajkin M.E., Belova N.V., Bondarceva M.A., Perevedenceva L.G., Perelygin V.V., YAKovlev G.P. Chaga and its bio-active complexes: history and prospects. *Formuly farmacii*, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 84-93. <https://doi.org/10.17816/phf34803>
3. Maksimova T.V., Nikulina I.N., Pakhomov V.P., Shkarina E.I., Chumakova Z.V., Arzamashev A.P. *Method for determining antioxidant activity* / Patent RU 2170930 C1. Application: 2000111126/14, 05.05.2000. Publication date: 20.07.2001.
4. Environmental Regulatory Document PND F T 14.1:2:3:4.11-04. T.16.1:2:3:3.8-04. *Method for determining the integrated toxicity of surface waters, including marine, ground, drinking, waste waters, water extracts from soils, waste, sewage sludge by changes in bacterial bioluminescence using the Ecolum test-system*. Moscow: Nera-S, 2010, 30 p.
5. Federal Register FR 1.39.2015.19242. Environmental Regulatory Document PND F T 16.2:2.2-98. *Methodology for determining the toxicity of samples of natural, drinking, domestic and drinking, household waste, treated sewage, waste, thawed, technological water by the express method using the Biotester device*. Saint Petersburg: SPEKTR-M, 2015, 21 p.
6. Kazachinskaia E.I., Chepurnov A.A., Kononova Yu.V., Shelemba A.A., Romanuk V.V., Magomedov M.G., Shestopalov A.M. Inhibitory activity of tea compositions and their constituent ingredients on SARS-COV-2 replication *in vitro*. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development], 2022, vol. 17, no. 2, pp. 76-90. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-2-76-90>
7. Kuznetsova O.Yu. Review of modern advanced medicinal products containing the biologically active components of chaga mushroom birch. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv* [Drug development & registration], 2016, vol. 1, pp. 128-141.
8. Usol'ceva O.N., Olennikov D.N., Potupchik T.V. Assessment of the quality and biological activity of birch mushroom extract chaga "Biochaga". *Farmatsiya* [Pharmacia], 2022, vol. 71, no. 2, pp. 33-40. <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-02-06>
9. Chang Y., Bai M., Xue X., Zou C., Huang X., Song S. Isolation of chemical compositions as dietary antioxidant supplements and neuroprotectants from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). *Food Bioscience*, 2022, vol. 47, art. 101623. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101623>
10. Kicel A., Owczarek A., Kapusta, P., Kolodziejczyk-Czepas J., Olszewska M.A. Contribution of Individual Polyphenols to Antioxidant Activity of *Cotoneaster bullatus* and *Cotoneaster zabelii* Leaves – Structural Relationships, Synergy



- Effects and Application for Quality Control. *Antioxidants*, 2020, vol. 1, iss. 9, art. 69. <https://doi.org/10.3390/antiox9010069>
11. Doi N., Araki K., Fukuta Y., Kuwagaito Y., Yamauchi Y., Sasai Y., Kondo S., Kuzuya M. Anti-glycation and antioxidant effects of Chaga mushroom decoction extracted with a fermentation medium. *Food Science and Technology Research*, 2023, vol. 29, iss. 2, pp. 155-161. <https://doi.org/10.3136/fstr.FSTR-D-22-00120>
  12. Jain D.P, Pancholi S.S., Patel R. Synergistic antioxidant activity of green tea with some herbs. *Journal of Pharmaceutical Advanced Research*, 2011, vol. 3, iss. 2, pp. 177-183. <https://doi.org/10.4103/2231-4040.85538>
  13. Lemmer B. *Chronopharmacology in Drug Development*. In: *Drug Discovery and Evaluation: Methods in Clinical Pharmacology* / F.J. Hock, M.R. Gralinski (eds.). Springer International Publishing, 2018. pp. 1-20. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56637-5\\_40-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56637-5_40-1)
  14. Liu K., Xiao X., Wang J., Chen C.Y. O., Hu H. Polyphenolic composition and antioxidant, antiproliferative, and antimicrobial activities of mushroom *Inonotus sanghuang*. *LWT – Food Science and Technology*, 2017, vol. 82, pp. 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.041>
  15. Liu Z.H., Wang D.M., Fan S.F., Li D.W., Luo Z.W. Synergistic effects and related bioactive mechanism of *Potentilla fruticosa* L. leaves combined with *Ginkgo biloba* extracts studied with microbial test system (MTS). *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2016, vol. 16, art. 49516. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1485-2>
  16. Mao S., Wang K., Lei Y., Yao S., Lu B., Huang W. Antioxidant synergistic effects of *Osmanthus fragrans* flowers with green tea and their major contributed antioxidant compounds. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, art. 46501. <https://doi.org/10.1038/srep46501>
  17. Muyumba N.W., Mutombo S.C., Sheridan H., Nachtergaeel A., Duez P. Quality control of herbal drugs and preparations: The methods of analysis, their relevance and applications. *Talanta Open*, 2021, vol. 4, art. 100070. <https://doi.org/10.1016/j.talo.2021.100070>
  18. Sergunova E.V., Sorokina A.A., Bokov D.O., Marakhova A.I. Qualitative and Quantitative Determination of Organic Acids in Crude Herbal Drugs and Medicinal Herbal Preparations for Quality Control in Russian Federation by Modern Physicochemical Methods. *Pharmacognosy Journal*, 2019, vol. 5, iss. 11, pp. 1132-1137. <https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.176>
  19. Shikov A.N., Narkevich I.A., Flisyuk E.V., Luzhanin V.G., Pozharitskaya O.N. Medicinal plants from the 14th edition of the Russian Pharmacopoeia, recent

- updates. *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, vol. 268, art. 113685. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113685>
20. Wold Ch.W., Gerwick W.H., Wangenstein H., Inngjerdingen K.T. Bioactive triterpenoids and water-soluble melanin from *Inonotus obliquus* (Chaga) with immunomodulatory activity. *Journal of Functional Foods*, 2020, vol. 71, art. 104025. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104025>
21. Zhou R., Yang H., Lu T., Zhao Y., Zheng W. Ultraviolet radiation promotes the production of hispidin polyphenols by medicinal mushroom *Inonotus obliquus*. *Fungal Biology*, 2022, vol. 126, iss. 11–12, pp. 775-785. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2022.10.001>

#### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Олькова Анна Сергеевна**, д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры экологии и природопользования, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы»  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»*  
ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация  
[usr08617@vyatsu.ru](mailto:usr08617@vyatsu.ru)

**Товстик Евгения Владимировна**, канд. биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Центра компетенций «Экологические технологии и системы», доцент кафедры Фундаментальной химии и методики обучения химии  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный университет»*  
ул. Московская, 36, г. Киров, 610000, Российская Федерация  
[tovstik2006@inbox.ru](mailto:tovstik2006@inbox.ru)

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Anna S. Olkova**, Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of the Department of Ecology and Environmental Management, Senior Research Fellow, Competence Center “Environmental Technologies and Systems”  
*Vyatka State University*  
36, Moskovskaya Str., 610000, Kirov, Russian Federation  
[usr08617@vyatsu.ru](mailto:usr08617@vyatsu.ru)

*SPIN-code: 4874-9240*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5798-8211>*

*ResearcherID: A-4963-2017*

*Scopus Author ID: 57195523346*

**Evgeniya V. Tovstik**, Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher, Competence Center “Ecological Technologies and Systems”, Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Methods of Teaching Chemistry

*Vyatka State University*

*36, Moskovskaya Str., 610000, Kirov, Russian Federation*

*[tovstik2006@inbox.ru](mailto:tovstik2006@inbox.ru)*

*SPIN-code: 8792-9281*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>*

*ResearcherID: ID P-1350-2017*

*Scopus Author ID: 57004932100*

Поступила 27.06.2023

После рецензирования 10.07.2023

Принята 20.07.2023

Received 27.06.2023

Revised 10.07.2023

Accepted 20.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-725

УДК 591.111.1: 632.722



Научная статья | Физиология человека и животных

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ СЕРПОВИДНЫХ ГЕМОЦИТОВ У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА BLABERIDAE

*Е.А. Гребцова, А.А. Присный*

**Цель исследования:** поиск представителей семейства *Blaberidae*, характеризующихся наличием серповидных клеток в гемолимфе. Изучить структурные особенности этих гемоцитов и их происхождение.

**Материалы и методы.** Исследована гемолимфа нимф и имаго *Blaberus craniifer*, *Eublaberus marajoara*, *Blaptica dubia*, *Gromphadorhina portentosa*, *Perisphaerus serville*, *Archimandrita tessellata*, *Pycnoscelus indicus*, *Gyna lurida*, *Pseudoglomeris magnifica*, *Simandoa conserfariam*. С помощью световой микроскопии определено количественное содержание серповидных клеток и их морфологические особенности. Кислые гликозаминогликаны обнаруживали посредством окрашивания альциановым синим (рН 1,0). Измерение гемоцитов осуществляли с помощью программного обеспечения NIS-Elements. Применение сканирующей зондовой микроскопии позволило изучить топографию поверхности клеток. Сканирование клеток, а также анализ и обработку данных АСМ проводили приложениях Nova и Image Analysis P9.

**Результаты.** Среди 10 видов семейства *Blaberidae* только у трех в гемолимфе обнаружены серповидные клетки: *Gromphadorhina portentosa*, *Blaptica dubia*, *Archimandrita tessellata*. Все они относятся к одному подсемейству *Blaberinae*. Исследование насекомых разных возрастов позволило обнаружить промежуточные формы, проследить этапы развития серповидных клеток и выявить их родство со сферулоцитами. Сканирование клеток дало дополнительную информацию о площади поверхности. Определено изменение параметров шероховатости сферулоцитов, промежуточных форм клеток нимф вплоть до достижения характерной серповидной формы.

**Ключевые слова:** гемоциты насекомых; сферулоциты; серповидные клетки; гемолимфа

*Для цитирования.* Гребцова Е.А., Присный А.А. Структурные особенности и происхождение серповидных гемоцитов у некоторых представителей семейства Blaberidae // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 61-74. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-725

Original article | Human and Animal Physiology

## STRUCTURAL FEATURES AND ORIGIN OF CRESCENT CELLS OF SOME BLABERIDAE

*E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi*

**The purpose of the research** is search for species of the family Blaberidae, which hemolymph includes crescent cells. To study the structural features of these hemocytes and their origin.

**Materials and methods.** The hemolymph of nymphs and imagos of *Blaberus craniifer*, *Blaberus marajoara*, *Blaptica dubia*, *Gromphadorhina portentosa*, *Perisphaerus serville*, *Archimandrita tessellata*, *Pycnoscelus indicus*, *Gyna lurida*, *Pseudoglomeris magnifica*, *Simandoa conserfariam* were studied. Using light microscopy we determined the quantitative content of crescent cells and their morphological features. Glycosaminglycans were detected by staining with alcyan blue (pH 1.0). Hemocytes were measured using NIS-Elements software. Due to the AFM scanning it possible to study the topography of the cell surface. Cell scanning, analysis and processing of AFM data in Nova and Image Analysis P9 applications.

**Results.** Among 10 species of the family Blaberidae, only three have sickle-shaped cells in the hemolymph: *Gromphadorhina portentosa*, *Blaptica dubia*, *Archimandrita tessellata*. They all belong to the same subfamily Blaberidae. The study of insects of different ages allows to identify intermediate forms and trace the stages of development of crescent cells and their relationship with spherulocytes. Scanning of cells gave additional information about size of hemocytes and their surface area. The change in the roughness parameters of spherulocytes, intermediate cells of nymph up to the characteristic crescent shape was determined.

**Keywords:** spherulocytes; crescent-cells; hemolymph; AFM

**For citation.** Grebtsova E.A., Prisnyi A.A. Structural Features and Origin of Crescent Cells of Some Blaberidae. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 61-74. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-725

## Введение

Первое упоминание о необычных клеточных элементах гемолимфы *Gromphadorhina portentosa* появилось в работе Ritter в 1965 году [29]. Ritter предположил, что происходит процесс, аналогичный фагоцитозу, когда серповидная безъядерная структура способна поглотить маленькую клетку с ядром и продолжить дальнейшее совместное существование. Gupta отнес этот гемоцитарный тип к эноцитоидам, отвергнув предположение Jones о том, что эти клетки являются вариацией сферулоцитов [13; 20]. Единственным основанием такой гипотезы была положительная ШИК-реакция серповидного тела [14; 15].

Сегодня не существует общепринятых цитохимических тестов, позволяющих идентифицировать эноцитоиды насекомых даже внутри одного отряда [8; 13]. Морфологические описания клеток существенно отличаются в разных работах. Единственным примером мечения личиночных эноцитоидов *Drosophila melanogaster* и *Tribolium castaneum* является методика Burns с соавт., основанная на применении конъюгированного с флуорофором стрептовицина. Положительная ШИК-реакция не является уникальной для эноцитоидов, она свойственна и гранулоцитам, поэтому не может служить единственным критерием для идентификации клеток [6; 7; 9].

## Материалы и методы

Проведен анализ гемоцитарного состава представителей 10 видов семейства Blaberidae: *Blaberus craniifer*, *Eublaberus marajoara*, *Blaptica dubia*, *Gromphadorhina portentosa*, *Perisphaerus serville*, *Archimandrita tessellata*, *Pycnoscelus indicus*, *Gyna lurida*, *Pseudoglomeris magnifica*, *Simandoa conserfariam*. Изучена гемолимфа как нимф, так и имаго – это позволило отследить превращения клеток вплоть до достижения ими серповидной формы. Виды, во внутренней среде которых были обнаружены серповидные клетки, отобраны для дальнейшего исследования. Особенности морфологии гемоцитов определяли с применением световой и сканирующей зондовой микроскопии.

Каплю гемолимфы помещали в физиологический раствор для насекомых и изучали с помощью инвертированного микроскопа Nikon Eclipse Ti-E. Обнаружение кислых мукополисахаридов в гранулах промежуточных форм клеток осуществлено путем окрашивания альциановым синим (pH 1,0) [4; 30; 32].

Информацию об особенностях топографии поверхности клеток, а также о величине площади поверхности гемоцитов получили с помощью ска-

нирующего зондового микроскопа «Интегра Вита» (NT-MDT, Россия) [1; 3]. Работу проводили с мазками гемолимфы, высушенными на воздухе.

Анализ амплитудных среднестатистических параметров, служащих для характеристики нерегулярности поверхности в вертикальном направлении, проводили в приложении Image Analysis P9 [2].

Средняя квадратическая шероховатость  $S_q$  (Square Roughness) является определяющей характеристикой шероховатости.

Параметр  $S_z$  – параметр, характеризующий толщину поверхностного, возмущенного слоя, не полностью заполненного материалом, в котором происходит изменение рельефа.

Так же были определены значения одного из функциональных параметров, характеризующих рельеф в локальной области и степень гладкости поверхности – плотность вершин (пиков)  $S_d$  ( $1/\mu\text{m}^2$ ). Данный показатель демонстрирует количество возвышений на единице площади.

### Результаты

Анализ гемоцитарного состава 10 видов семейства Blaberidae показал наличие серповидных клеток лишь у трех: *G. portentosa*, *B. dubia*, *A. tessellata*. В гемолимфе нимф обнаружены промежуточные формы гемоцитов (Inter), которые имеют морфологическое сходство как со сферулоцитами (Sph), так и с собственно серповидными клетками (Cr) имаго. Сферулоциты указанных видов насекомых крупные (таблица 1.), овальной или круглой формы. Форма гранул варьирует от палочковидной до круглой у *G. portentosa*, сферулоциты *B. dubia* и *A. tessellata* имеют только округлые гранулы ( $d \approx 1,5 \mu\text{m}$ ), что согласуется с ранними исследованиями [19; 21; 22; 23]

Таблица 1.

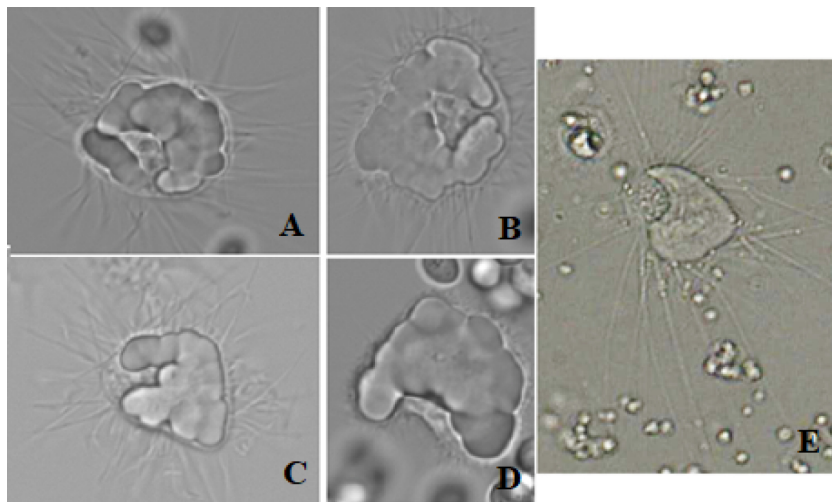
Площадь поверхности сферулоцитов и серповидных клеток *G. portentosa*, *B. dubia*, *A. tessellata*

вид	S поверхности ( $\mu\text{m}^2$ ) сферулоцитов	S поверхности ( $\mu\text{m}^2$ ) серповидных клеток
<i>G. portentosa</i>	247,3±33,3	338,1±28,1
<i>B. dubia</i>	380,8±49,4	734,7±120,2
<i>A. tessellata</i>	312,2±45,3	535,1±65,5

В гемолимфе имаго обнаружены как сферулоциты, так и серповидные клетки, а в гемолимфе нимф сферулоциты и промежуточные типы гемоцитов, сферулы которых частично слились и появилась способность фор-

мировать псевдоподии. Среди промежуточных форм также существовали отличия – некоторые клетки имели большее сходство со сферулоцитами, некоторые – с серповидными гемоцитами.

Характерная серповидная форма свойственна лишь клеткам имаго *G. portentosa*, а гемоциты *B. dubia* и *A. tessellata* более полиморфны (рис. 1).



**Рис. 1.** Разнообразие серповидных гемоцитов: A-D – клетки *B. dubia*, *A. tessellata*, E – гемоцит *G. portentosa*.

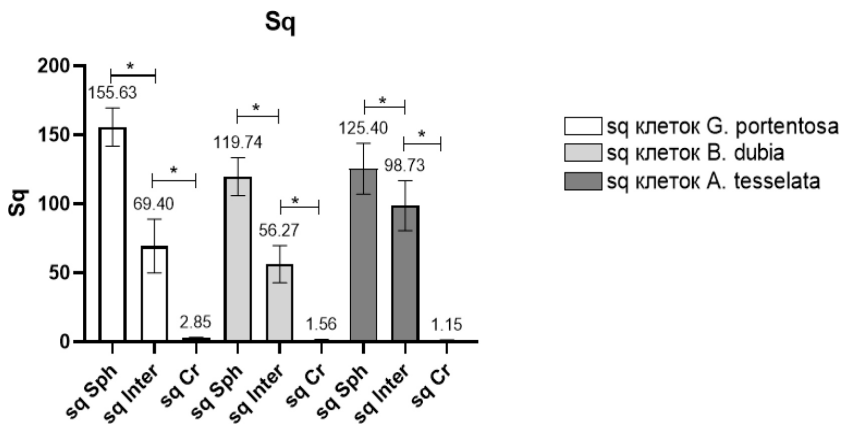
По мере превращения сферулоцитов *G. portentosa* в серповидные клетки происходит увеличение площади поверхности клеток на 36%, у гемоцитов *B. dubia* этот параметр возрастает вдвое, а у клеток *A. tessellata* на 70%. Увеличение площади поверхности обеспечивается значительным увеличением диаметра, при этом клетки уплощаются. Высота сферулоцитов составляет  $1,6 \pm 0,2 \mu\text{m}$ , данный показатель серповидных клеток не превышает  $1,1 \pm 0,2 \mu\text{m}$ . Уменьшение размеров клеток по оси Z, вероятно, связано со слиянием сферул и потерей ими содержимого. Дополнительным подтверждением происхождения серповидных клеток от сферулоцитов является положительная реакция переходных форм клеток на альциановый синий (pH 1,0). Окрашивание сферул в сильно кислой среде в синий цвет является реакцией на высокосульфатированные гликозаминогликаны, она свойственна и сферулоцитам, и клеткам нимф, где еще не произошло полного слияния сферул в серповидное тело. Зрелые серповидные клетки



не окрашиваются. Вероятно, группа клеток «сферулоциты + переходная форма клеток + серповидные клетки» вовлечена в процесс формирования кутикулы при линьке [12; 18]. Продуктом гидролиза кислых гликозаминогликанов сферул является гликозамин, который необходим для синтеза хитина [4; 5; 10; 11; 15; 17].

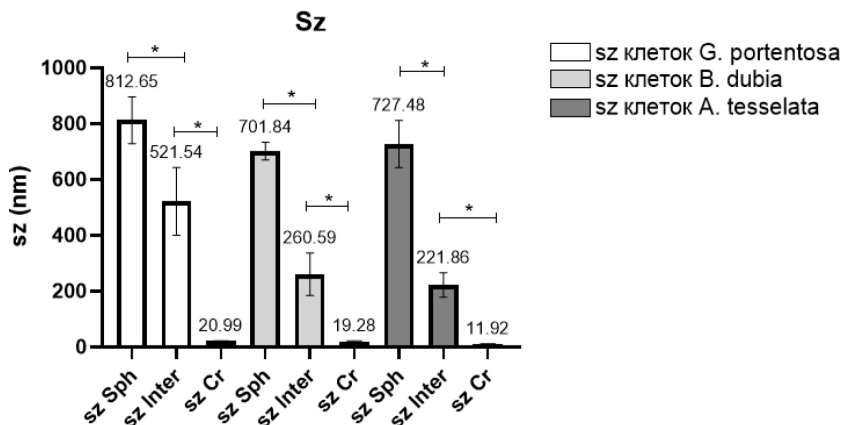
Слияние сферул сопровождается изменением топографии поверхности клеток. Для всех трех видов тараканов значительно снижается величина средней квадратической шероховатости по мере превращения сферулоцитов в серповидные клетки (рис. 2).

Изменения затрагивают и толщину поверхностного возмущенного слоя, что связано с исчезновением на поверхности клеток пиков и впадин (рис. 3), которые свойственны сферулоцитам из-за наличия большого количества гранул. В процессе их слияния и избавления от содержимого, клетки уплощаются, поверхность их становится более гладкой и однородной, остаются лишь единичные борозды, которые заметны даже при наблюдении в светлом поле.

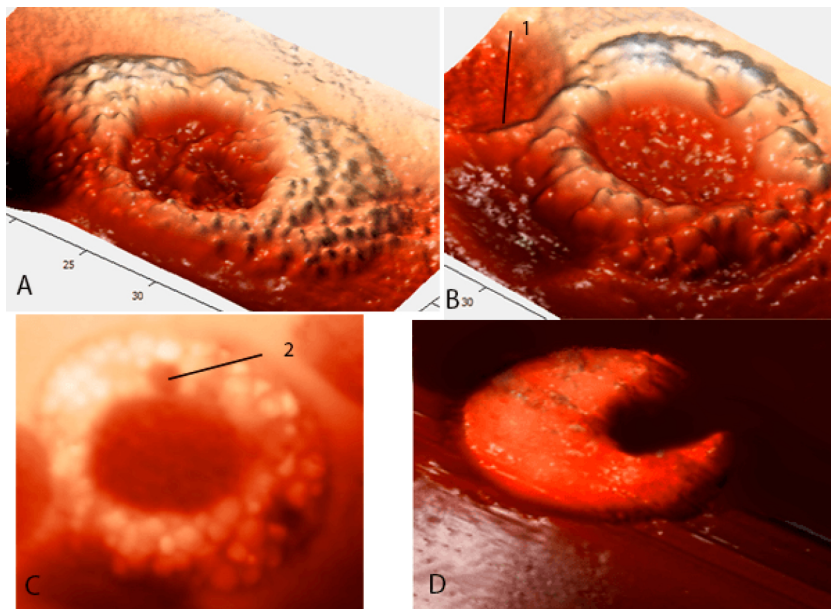


**Рис. 2.** Изменение величины Sq клеток в ряду: сферулоциты (Sph) – промежуточные гемоциты нимф (Inter) – серповидные клетки имаго (Cr) у трёх видов насекомых

В нуклеарной зоне наблюдается общее понижение рельефа. Глубина микровпадин на поверхности клеток *G. portentosa* не превышает 11 nm, на поверхности гемоцитов *B. dubia* и *A. tessellata* выделяются борозды, разграничивающие отдельные фрагменты серповидного тела. Глубина борозд колеблется от 14 до 22 nm.



**Рис. 3.** Изменение величины Sz клеток в ряду: сферулоциты (Sph) с промежуточные гемоциты нимф (Inter) – серповидные клетки имаго (Cr) у трёх видов насекомых



**Рис. 4.** Топография поверхности клеток: А – сферулоцит (3D); В – промежуточный гемоцит, появление небольшого количества псевдоподий (1); С – разрушение сферул (2); D – серповидный гемоцит имаго (3D)

По мере превращения клеток происходит вытеснение ядра из центральной части к периферии вплоть до его полной экструзии вместе с тонким ободком цитоплазмы. Толщина возмущенного слоя сферулоцитов составляет практически половину от высоты всей клетки, а у серповидных клеток  $sz$  не превышает 22 nm при высоте клеток  $1,1 \pm 0,2 \mu\text{m}$  (рис. 4).

Данные процессы влекут за собой и понижение числа микровозвышений на единицу площади. Для трех изученных видов значение SDS сферулоцитов составляет  $0,64 \pm 0,02/\mu\text{m}^2$ , у промежуточных гемоцитов  $0,61 \pm 0,03/\mu\text{m}^2$  и у серповидных клеток имаго значение падает до  $0,50 \pm 0,02/\mu\text{m}^2$ .

### Заключение

Анализ гемоцитарного состава 10 видов семейства Blaberidae показал наличие серповидных клеток только у трех представителей: *G. portentosa*, *B. dubia*, *A. tessellata*. Сочетание микроскопии светлого поля и сканирующей зондовой микроскопии позволило изучить морфологические особенности. В гемолимфе нимф данных насекомых присутствуют как сферулоциты, так и переходные формы клеток. По достижении половозрелого возраста переходные формы постепенно утрачивают сходство со сферулоцитами и превращаются в серповидные клетки, которые не имеют отдельных сферул и не окрашиваются альциановым синим. Данные превращения сопровождаются изменением топографии поверхности клеток: значительно уменьшается средняя квадратическая шероховатость, выравнивается поверхностный возмущенный слой и снижается число микровозвышений на единицу площади.

### 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. Новак А.В. Шероховатость пленок аморфного, поликристаллического кремния и поликристаллического кремния с полусферическими зернами / А.В. Новак, В.Р. Новак // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39, вып. 19. С. 32-40.
3. 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.

4. Ashhurst D.E. Histochemical properties of the spherulocytes of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae) // International Journal of Insect Morphology and Embryology. 1982. Vol. 11. P. 285-292. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(82\)90017-4](https://doi.org/10.1016/0020-7322(82)90017-4).
5. Akesson B. Observations on the haemocytes during the metamorphosis of *Calliphora erythrocephala* (Meig.) // Ark. Zool. 1954. Vol. 6, №12. P. 203-11.
6. Ben Dhahbi A., Chargui, Y., Boulaaras S.M., Ben Khalifa S., Koko W. and Al-resheedi F. Mathematical Modelling of the Sterile Insect Technique Using Different Release Strategies. Mathematical Problems in Engineering. 2020. P. 1-9.
7. Brehélin M., Zachary D., Hoffmann J.A. A comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders // Cell Tissue Res. 1978. V.195. P. 45-57. <https://doi.org/10.1007/BF00233676>
8. Browne N., Heelan M., Kavanagh K. An analysis of the structural and functional similarities of insect hemocytes and mammalian phagocytes // Virulence. 2013. Vol. 4. P. 597-603. <https://doi.org/10.4161/viru.25906>
9. Burns K.A., Gutzwiller L.M., Tomoyasu Y., Gebelein B. Oenocyte development in the red flour beetle *Tribolium castaneum* // Development genes and evolution. 2012. Vol. 222, №2. P. 77-88. <https://doi.org/10.1007/s00427-012-0390-z>
10. Csordás G., Grawe F., Uhlířova M. Eater cooperates with multiplexin to drive the formation of hematopoietic compartments // eLife. 2020. Vol. 9. e57297.
11. Day M.F. The occurrence of mucoïd substances in insects // Australian Journal of Biological Sciences. 1949. Vol. 2, № 4. P. 421-427.
12. Dennell R. A study of an insect cuticle; the larval cuticle of *Sarcophaga falcu-lata* Pand. (Diptera) // Proc R Soc Lond B Biol Sci. 1946. Vol. 133. P. 348-373. <https://doi.org/10.1098/rspb.1946.0017>
13. Dubovskiy I., Kryukova N., Glupov V., Ratcliffe N. Encapsulation and nodulation in insects // Invertebrate Survival Journal. 2016. Vol. 13. P. 229-246.
14. Gupta A.P. The Identity of the So-called Crescent Cell in the Hemolymph of the Cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Schaum) (Dictyoptera: Blaberidae) // Cytologia. 1985. Vol. 50. P. 739-745.
15. Gupta A.P., Sutherland D.J. Observations on the spherule cells in some Blattaria (Orthoptera) // Bull. ent. Soc. Am. 1965. Vol. 11. P. 161.
16. Gupta A.P., Sutherland D.J. Phase contrast and histochemical studies of spherule cells in cockroaches (Dictyoptera) // Ann Entomol Soc Am. 1967. V. 60, № 3. P. 557-565. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.3.557>
17. Ermak M.V., Matsishina N.V., Fisenko P.V., Sobko O.A. and Volkov D.I. Ontogenetic features of the morphology of hemolymph cells in *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) as an indicator of biodiversity

- // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. 042057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042057>
18. Hackman R.H. Studies on chitin. I. Enzymic degradation of chitin and chitin esters // Aust J Biol Sci. 1954. Vol. 7, № 2. P. 168-78. <https://doi.org/10.1071/bi9540168>
  19. İzzetoğlu S., Yıkılmaz M., Turgay-İzzetoğlu G. Ultrastructural characterization of hemocytes in the oriental cockroach *Blatta orientalis* (Blattodea: Blattellidae) // Zoo-morphology. 2022. V. 141. P. 95-100. <https://doi.org/10.1007/s00435-021-00550-4>
  20. Jones J.C. Forms and functions of insect hemocytes // Invertebrate Immunity, eds. K. Maramorosch and R.E. Shoppe. 1975. P. 119-129.
  21. Kolundžić E., Kovačević G., Špoljar M., Sirovina D. A comparison of hemocytes in *Phasmatodea* and *Blattodea* species // Entomol News. 2018. V. 127. P. 471-477. <https://doi.org/10.3157/021.127.0510>
  22. Kwon H, Bang K, Cho S. Characterization of the hemocytes in larvae of *Protaetia brevitarsis seulensis*: involvement of granulocyte-mediated phagocytosis // PLoS ONE. 2014. Vol. 9. P. 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103620>
  23. Liegeois S., Ferrandon D. An atlas for hemocytes in an insect // Elife. 2020. Vol. 9. <https://doi.org/10.7554/elife.59113>
  24. Lubawy J., Słocińska M. Characterization of *Gromphadorhina coquereliana* hemolymph under cold stress // Sci Rep. 2020. Vol. 10, 12076. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68941-z>
  25. Majumder J., Ghosh D., Agarwala B.K. Haemocyte Morphology and Differential Haemocyte Counts of Giant Ladybird Beetle *Anisolemnia dilatata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae): A Unique Predator of Bamboo Woolly Aphids // Current Science. 2017. Vol. 112. № 1. P. 160-164.
  26. Mase A., Augsburg J. Brückner K. Macrophages and their organ locations shape each other in development and homeostasis – A *Drosophila* perspective // Front. Cell Dev. Biol. 2021. Vol. 9, 630272. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.630272>
  27. Ratcliffe N.A. Spherule cell-test particle interactions in monolayer cultures of *Pieris brassicae* hemocytes // Journal of Invertebrate Pathology. 1975. Vol. 26, №2. P. 217-223. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(75)90052-X)
  28. Richardson R.T., Ballinger M.N., Qian F. Christman J.W., Johnson R.M. Morphological and functional characterization of honey bee, *Apis mellifera*, hemocyte cell communities // Apidologie. 2018. Vol. 49, № 3. P. 397-410. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0566-2>
  29. Ritter H. Blood of a Cockroach: Unusual Cellular Behavior // Science. 1965. P. 518-519.

30. Ruiz E., López C.M. and Rivas F.A. Comparison of hemocytes of V-instar nymphs of *Rhodnius prolixus* (Stål) and *Rhodnius robustus* (Larousse 1927), before and after molting // RFM. 2015. Vol. 63(1). P. 11-17. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v63n1.44901>
31. Stanley D., Haas E., Kim Y. Beyond Cellular Immunity: On the Biological Significance of Insect Hemocytes // *Cells*. 2023. Vol. 12(4), 599. <https://doi.org/10.3390/cells12040599>
32. Whitten J.M. Hemocytes and metamorphosing tissues in *Sarcophaga bullata*, *Drosophila melanogaster* and other cyclorrhaphous Diptera // *Journal of Insect Physiology*. 1964. Vol. 10, № 3. P. 447-69.

### References

1. Grebtsova E.A. *Morphofunctional characterization and osmoregulatory reactions of hemocytes of representatives of the order Dictyoptera*. Belgorod, 2017, 184 p.
2. Novak A.V., Novak V.R. Roughness of films of amorphous, polycrystalline silicon and polycrystalline silicon with hemispherical grains. *Letters in ZhTF*, 2013, vol. 39, no. 19, pp. 32-40.
3. Prisniy A.A. *Comparative analysis of the morphofunctional status of the cellular elements of the circulating fluids of invertebrate animals*. Belgorod, 2016, 403 p.
4. Ashhurst D.E. Histochemical properties of the spherulocytes of *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 1982, vol. 11, pp. 285-292. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(82\)90017-4](https://doi.org/10.1016/0020-7322(82)90017-4).
5. Akesson B. Observations on the haemocytes during the metamorphosis of *Calliphora erythrocephala* (Meig.). *Ark. Zool.*, 1954, vol. 6, no. 12, pp. 203-11.
6. Ben Dhahbi A., Chargui, Y., Boulaaras S.M., Ben Khalifa S., Koko W. and Al-resheedi F. Mathematical Modelling of the Sterile Insect Technique Using Different Release Strategies. *Mathematical Problems in Engineering*. 2020, pp. 1-9.
7. Brehélin M., Zachary D., Hoffmann J.A. A comparative ultrastructural study of blood cells from nine insect orders. *Cell Tissue Res.*, 1978, vol. 195, pp. 45-57. <https://doi.org/10.1007/BF00233676>
8. Browne N., Heelan M., Kavanagh K. An analysis of the structural and functional similarities of insect hemocytes and mammalian phagocytes. *Virulence*, 2013, vol. 4, pp. 597-603. <https://doi.org/10.4161/viru.25906>
9. Burns K.A., Gutzwiller L.M., Tomoyasu Y., Gebelein B. Oenocyte development in the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *Development genes and evolution*, 2012, vol. 222, no. 2, pp. 77-88. <https://doi.org/10.1007/s00427-012-0390-z>

10. Csordás G., Grawe F., Uhlířova M. Eater cooperates with multiplexin to drive the formation of hematopoietic compartments. *eLife*, 2020, vol. 9, e57297.
11. Day M.F. The occurrence of mucoid substances in insects. *Australian Journal of Biological Sciences*, 1949, vol. 2, no. 4, pp. 421-427.
12. Dennell R. A study of an insect cuticle; the larval cuticle of *Sarcophaga falcu-lata* Pand. (Diptera). *Proc R Soc Lond B Biol Sci.*, 1946, vol. 133, pp. 348-373. <https://doi.org/10.1098/rspb.1946.0017>
13. Dubovskiy I., Kryukova N., Glupov V., Ratcliffe N. Encapsulation and nodulation in insects. *Invertebrate Survival Journal*, 2016, vol. 13, pp. 229-246.
14. Gupta A.P. The Identity of the So-called Crescent Cell in the Hemolymph of the Cockroach, *Gromphadorhina portentosa* (Schaum) (Dictyoptera: Blaberidae). *Cytologia*, 1985, vol. 50, pp. 739-745.
15. Gupta A.P., Sutherland D.J. Observations on the spherule cells in some Blattaria (Orthoptera). *Bull. ent. Soc. Am.*, 1965, vol. 11, p. 161.
16. Gupta A.P., Sutherland D.J. Phase contrast and histochemical studies of spherule cells in cockroaches (Dictyoptera). *Ann Entomol Soc Am.*, 1967, vol. 60, no. 3, pp. 557-565. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.3.557>
17. Ermak M.V., Matsishina N.V., Fisenko P.V., Sobko O.A. and Volkov D.I. On-togenetic features of the morphology of hemolymph cells in *Henosepilachna vigintioctomaculata* (Coleoptera: Coccinellidae) as an indicator of biodiversity. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2022, 042057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/981/4/042057>
18. Hackman R.H. Studies on chitin. I. Enzymic degradation of chitin and chitin esters. *Aust J Biol Sci.*, 1954, vol. 7, no. 2, pp. 168-78. <https://doi.org/10.1071/bi9540168>
19. İzzetođlu S., Yikilmaz M., Turgay-İzzetođlu G. Ultrastructural characterization of hemocytes in the oriental cockroach *Blatta orientalis* (Blattodea: Blattidae). *Zoomorphology*, 2022, vol. 141, pp. 95-100. <https://doi.org/10.1007/s00435-021-00550-4>
20. Jones J.C. Forms and functions of insect hemocytes. *Invertebrate Immunity*, eds. K. Maramorosch and R.E. Shoppe. 1975, pp. 119-129.
21. Kolundžić E., Kovačević G., Špoljar M., Sirovina D. A comparison of hemocytes in Phasmatodea and Blattodea species. *Entomol News*, 2018, vol. 127, pp. 471-477. <https://doi.org/10.3157/021.127.0510>
22. Kwon H, Bang K, Cho S. Characterization of the hemocytes in larvae of *Protaetia brevitarsis seulensis*: involvement of granulocyte-mediated phagocytosis. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103620>
23. Liegeois S., Ferrandon D. An atlas for hemocytes in an insect. *Elife*, 2020, vol. 9. <https://doi.org/10.7554/elife.59113>



24. Lubawy J., Słocińska M. Characterization of *Gromphadorhina coquereliana* hemolymph under cold stress. *Sci Rep.*, 2020, vol. 10, 12076. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68941-z>
25. Majumder J., Ghosh D., Agarwala B.K. Haemocyte Morphology and Differential Haemocyte Counts of Giant Ladybird Beetle *Anisolemnia dilatata* (F.) (Coleoptera: Coccinellidae): A Unique Predator of Bamboo Woolly Aphids. *Current Science*, 2017, vol. 112, no. 1, pp. 160-164.
26. Mase A., Augsburg J. Brückner K. Macrophages and their organ locations shape each other in development and homeostasis – A *Drosophila* perspective. *Front. Cell Dev. Biol.*, 2021, vol. 9, 630272. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.630272>
27. Ratcliffe N.A. Spherule cell-test particle interactions in monolayer cultures of *Pieris brassicae* hemocytes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 1975, vol. 26, no. 2, pp. 217-223. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(75\)90052-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(75)90052-X)
28. Richardson R.T., Ballinger M.N., Qian F. Christman J.W., Johnson R.M. Morphological and functional characterization of honey bee, *Apis mellifera*, hemocyte cell communities. *Apidologie*, 2018, vol. 49, no. 3, pp. 397-410. <https://doi.org/10.1007/s13592-018-0566-2>
29. Ritter H. Blood of a Cockroach: Unusual Cellular Behavior. *Science*, 1965, pp. 518-519.
30. Ruiz E., López C.M. and Rivas F.A. Comparison of hemocytes of V-instar nymphs of *Rhodnius prolixus* (Stål) and *Rhodnius robustus* (Larousse 1927), before and after molting. *RFM*, 2015, vol. 63(1), pp. 11-17. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v63n1.44901>
31. Stanley D., Haas E., Kim Y. Beyond Cellular Immunity: On the Biological Significance of Insect Hemocytes. *Cells*, 2023, vol. 12(4), 599. <https://doi.org/10.3390/cells12040599>
32. Whitten J.M. Hemocytes and metamorphosing tissues in *Sarcophaga bullata*, *Drosophila melanogaster* and other cyclorrhaphous Diptera. *Journal of Insect Physiology*, 1964, vol. 10, no. 3, pp. 447-69.

### **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, старший преподаватель кафедры биологии

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)  
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, профессор кафедры биологии

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)  
ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация  
andreyprisny@gmail.com*

### 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  
SPIN-code: 7716-1300  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0768-0490>  
Scopus Author ID: 57190863865*

**Andrey A. Prisnyi**, Doctor of Biology, Associated professor, Institute of Pharmacy, Chemistry and Biology, Director

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
andreyprisny@gmail.com  
SPIN-code: 2523-4576  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8337>  
ResearcherID: M-9243-2017  
Scopus Author ID: 56358999400*

Поступила 13.07.2023

После рецензирования 31.07.2023

Принята 15.08.2023

Received 13.07.2023

Revised 31.07.2023

Accepted 15.08.2023

## СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## AGRICULTURAL SCIENCES

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1063

UDC 636.1(0.63)



Original article | Animal Husbandry

THE STUDY MEAT PRODUCTIVITY  
OF HORSES YAKUT BREED

*A.A. Sidorov, E.D. Alekseev,  
M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva*

*The paper presents data on study of meat productivity horses Yakut breed. As a result, it was found that meat productivity of horses, including quality of meat products, largely depends on feed conditions.*

*As result of research, it was found that animals from second and third groups exceeded first group in pre-slaughter weight by 3.29 and 2.99%, carcass weight by 4.42 and 3.38%, fat by 8.85 and 3.05%.*

*The study of meat quality was carried out in terms of chemical composition and organoleptic characteristics. During analysis, it was found that meat samples of first group contained more moisture compared to second and third groups by 1.96 and 1.10%. At the same time, second and third groups exceeded the first group in protein by 1.43 and 0.73%, fat by 0.53 and 0.36%, P by 1.62 and 0.54%, Cu by 9.52 and 4.76%, Mg by 9.23 and 5.14%, Se by 3.57 and 1.79%, as well as vitamins A, C, E, B1, B2 and B3.*

*The organoleptic evaluation of meat products found that all samples met quality requirements of the standard. Thus, analysis of the data showed that meat productivity of horses depends to a greater extent on feeding conditions.*

**Keywords:** horses; meat productivity; analysis; comparison; conditions

**For citation.** Sidorov A.A., Alekseev E.D., Grigorev M.F., Grigoreva A.I. The Study Meat Productivity of Horses Yakut Breed. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 75-89. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1063

Научная статья | Животноводство

## ИЗУЧЕНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛОШАДЕЙ ЯКУТСКОЙ ПОРОДЫ

*А.А. Сидоров, Е.Д. Алексеев, М.Ф. Григорьев, А.И. Григорьева*

*В работе представлены данные изучения мясной продуктивности лошадей якутской породы. В результате установлено, что мясная продуктивность лошадей, в том числе и качество мясной продукции, во многом зависят от условий кормления.*

*В результате исследований установлено, что животные второй и третьей групп превосходили первую группу по предубойной массе на 3,29 и 2,99%, массе туши на 4,42 и 3,38%, жиру на 8,85 и 3,05%. Изучение качества мяса проводили по химическому составу и органолептическим показателям.*

*При анализе установлено, что образцы мяса первой группы содержали больше влаги по сравнению со второй и третьей группами на 1,96 и 1,10%. При этом вторая и третья группы превосходили первую группу по белку на 1,43 и 0,73%, жиру на 0,53 и 0,36 %, Р на 1,62 и 0,54%, Си на 9,52 и 4,76%, Mg на 9,23 и 5,14%, Se на 3,57 и 1,79%, а также витамины А, С, Е, В1, В2 и В3. При органолептической оценке мясных продуктов установлено, что все образцы соответствуют требованиям стандарта по качеству. Таким образом, анализ данных показал, что мясная продуктивность лошадей в большей степени зависит от условий кормления.*

*Ключевые слова: лошади; мясная продуктивность; анализ; сравнение; условия*

*Для цитирования. Сидоров А.А., Алексеев Е.Д., Григорьев М.Ф., Григорьева А.И. Изучение мясной продуктивности лошадей якутской породы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 75-89. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1063*

### Introduction

Horse breeding is an important livestock industry. The industry is represented by such main areas as productive horse breeding, sports and etc. It is believed that the Russian Federation ranks 19th in the production of horsemeat (in terms of per capita). Productive horse breeding is mainly developing dynamically in the regions (Republic of Sakha (Yakutia), Republic of Tyva, Republic of Altai, Altai Territory, Republic of Khakassia, Republic of Buryatia, Trans-Baikal

Territory, Republic of Bashkortostan, Astrakhan Region, Republic of Kalmykia) – where herd horse breeding is one of the main areas of traditional livestock industries. A significant increase in the number of horses in the regions (from 8 and more than 20 %) is associated with the economic efficiency of horse breeding. At the same time, state and regional support had a significant impact on the development of the industry [7].

In scientific paper [13] an analysis of horse breeding in the Russian Federation is given, as well as a detailed analysis of it by federal districts. It is noted that changes in the dynamics of the number of horses in different years did not have the same pace. The statistical data (1990-2018) show that the number of horses in the country has decreased by more than 8 times. At the same time, it was noted that during these periods in the enlarged federal districts, the proportion of the number of horses changed. In the Far Eastern Federal District, their number increased from 8.9 to 26.9 %, Siberian Federal District from 31.4 to 32.7 % and vice versa decreased in the Ural Federal District from 7.2 to 5.3 %, Northwestern Federal District - from 2.4 to 0.7 %, Volga Federal District - from 24.6 to 16.9 %, Central Federal District - from 12.4 to 3.0 %, Southern Federal District – from 13.1 to 7.7 %, North Caucasian Federal District - by 6.9 %. It is also indicated that the total number of animals has decreased due to the liquidation of organizations and farms. In 2018, the number of horses increased due to household plots and peasant farms.

The Republic of Sakha (Yakutia) contains approximately 90 % of the horse population in the Far Eastern Federal District of the Russian Federation. The Yakut horse is characterized by a massive body, the ability to quickly feed and in comparison with other farm animals - the best adaptive qualities to the extreme continental climate, as well as unpretentiousness to the forage conditions of the region. Animal slaughter yield can easily exceed 60 %. Yakut horses can intensively increase their live weight during the summer. Autumn for animals is the best time of the year, because the summer heat is replaced by more moderate temperatures and the number of bloodsucking insects is reduced. Therefore, this time of the year is considered the most optimal for animals [1, 8, 18, 19].

The high efficiency of horse breeding is due to the fact that the cost of labor and monetary resources for the production of a unit of output is reduced, while remotely located natural tracts are used more efficiently. Here it is necessary to note the unpretentiousness of animals to local climatic conditions of keeping. There is a lot of information on the effectiveness of horse breeding. But at the same time, it is indicated that the forecast for the efficiency of the industry should be based on a number of estimated indicators [15].

Currently, the industry is developing dynamically, scientific developments are being actively introduced in the field of selection and breeding work, veterinary medicine and etc. [7, 9, 13]. In the article [10] – detailed review of the scientific literature on the resistance of nematodes in horses to anthelmintic drugs is presented.

In experimental works [17, 20] rationale the inclusion of local non-traditional feed additives in the rations of horses in the conditions of Yakutia. The use of feed additives from local natural resources in the rations of horses had a positive effect on their productivity and physiological state in the winter period of keeping.

Along with this, there is quite a lot of scientific information on the meat productivity of horses of the Yakut breed [3, 5, 14, 16, 21]. At the same time, it should be noted that the assessment of the meat productivity of animals is indicated without taking into account the characteristics of the main routes and forage lands.

It is known that good conditions for keeping horses are areas near horse farms, river floodplains or other relatively remote areas [12, 15]. As you know, the meat productivity of animals depends to a greater extent on feed conditions.

Previously, we conducted experiments, but another scientific experiment was carried out in the conditions of the Verkhoyansk region (Arctic group of the Yakutia region). In the experiments, the influence of feeding routes on the meat productivity of young Yakut horse breeds of the Yan type was studied [14]. In the presented experiment, we studied the influence of the main feeding routes on the meat productivity of young stock of the Yakut breed of horses of the indigenous type. The obtained data complement the scientific base in the field of productive horse breeding.

As is known, the characteristics of the basic zones of Yakutia (Western, Central, Southern, Eastern and Northern groups, including the Arctic zones) and the characteristics of forage vegetation are more different. In a scientific monograph, these differences are presented in detail [2].

Therefore, we analyzed the meat productivity of horses of the Yakut breed, depending on the feeding routes.

### **Material and research methods**

The purpose of the study: to study the meat productivity of horses of the Yakut breed, depending on the feeding routes.

Research objectives:

- analysis of the results of slaughter of horses and their dependence on feed conditions;
- assessment of the quality of meat products.

The scientific experiment was carried out on young horses of the Yakut breed under the conditions of the Farm Rummyantsev S.I. Ust-Aldansky district of the Republic of Sakha (Yakutia). In accordance with the research program, the animals were kept in different conditions, the difference between the groups was in the feeding conditions areas: keeping near the horse farms – I group (soddy meadow pastures), II group – on two remote tracts (soddy meadow pastures and small valley meadows); III group (soddy meadow pastures and floodplain areas).

Detailed description of the plant community, nutritional value and chemical composition of plants is presented in a published work [2].

In summer, animals from all groups grazed in predominantly open, well-ventilated glades.

At the end of the experiment, young horses were slaughtered to study meat productivity and product quality. Meat productivity and meat quality were determined in accordance with the method [4]. Mathematical processing of the research results was carried out according to the method [11].

### The results and discussion

The consumption of feed and nutrients per animal is presented in Table 1.

Table 1.

Feed consumption by young horses, per head

Indicators	Per day, kg	Period duration, days	Total feed, kg	Contained in feed	
				Energy feed unit (EFU)	digestible protein, kg
Milk, kg	4	60	240	64.8	7.9
Meadow hay, kg	4	30	120	82.8	6.5
Pasture feed, kg	8	60	480	153.6	15.8
Oats, kg	1.25	105	131.3	131.3	10.5
Pasture grass, kg	12	45	540	151.2	10.8
Total				583.7	51.5
Protein levels in the rations, g/EFU					88.3
Norm				504	
Compliance with the norm, %				115.8	

Feed intake analyzed with material [6]. At the end of the experience – studied meat productivity (Table 2).

Table 2.

## Meat productivity of horses (M±m)

Indicators	Group		
	I	II	III
Live weight, kg	223.00±3.79	230.33±3.53	229.67±3.76
Carcass weight, kg	128.33±4.48	134.00±3.21	132.67±3.53
Mass of fat, kg	9.83±0.50	10.70±0.46	10.13±0.55
Weight of carcass and fat, kg	138.17±4.99	144.70±3.67	142.80±4.06
Carcass output, %	57.51±1.04	58.16±0.64	57.75±0.62
Fat yield, %	4.40±0.15	4.64±0.13	4.41±0.17
Slaughter output, %	61.92±1.19	62.81±0.76	62.15±0.78

Animals in the summer were kept in tracts near the settlement and horse farms - until autumn. With a cold snap, animals from two groups moved to remote areas. At the end of the scientific and economic experiment, horses were slaughtered according to the generally accepted method. The analysis of experimental data showed their high meat qualities. In terms of pre-slaughter live weight, the first group yielded to II and III groups by 3.29 and 2.99 %, also in the same groups, carcass weight was heavier by 4.42 and 3.38 %. From of II and III groups, more internal fat was obtained by 8.85 and 3.05 % and, accordingly, slaughter weight indicators were higher by 4.73 and 3.35 %. In terms of carcass yield, I group yielded to II and III groups – by 0.65 and 0.24 %, in terms of fat yield – by 0.24 and 0.01 %, and slaughter yield – by 0.89 and 0.23 %.

In Table 3 – presents the data of the chemical analysis of meat. Sampling and analysis of meat was carried out according to generally accepted research methods.

When analyzing the chemical composition of meat, a difference in indicators between groups was established. The meat of I group contained more moisture compared to II and III groups by 1.96 and 1.10 %. While in terms of protein and fat in meat, I group was inferior to II group by 1.43 % and 0.53 % ( $P > 0.99$ ); and III group by 0.73 % and 0.36 % ( $P > 0.95$ ), respectively.

The changes concerned the mineral composition of meat, samples of I group were inferior to II and III groups in Ca by 14.03 and 4.20 %, P by 1.62 and 0.54 %, Fe by 7.94 and 2.54 %, Cu 9.52 and 4.76 %, Zn by 14.08 and 2.31 %, Mg by 9.23 and 5.14 %, Se by 3.57 and 1.79 %, respectively.

In meat samples of II and III groups, the content of Pb showed 0.04 and 0.05 mg/kg versus 0.09 mg/kg in I group. The content of Cd in the meat of animals of I group was 0.003 mg/kg, and in the meat of II and III groups, the indicators were 0.001 and 0.002 mg/kg.

Table 3.

## The chemical composition of meat (M±m)

Indicators	Norm	Group		
		I	II	III
Moisture content, %		74.53±0.86	72.57±0.64	73.43±0.74
Mass fraction of protein, %		22.40±0.78	23.83±0.58	23.13±0.67
Mass fraction of fat, %		3.07±0.09	3.60±0.06**	3.43±0.09*
Ca, mg/100 g		11.90±0.46	13.57±0.45	12.40±0.74
P, mg/100 g		185±15.52	188±9.71	186±10.69
Fe, mg/kg		31.50±2.05	34.00±0.85	32.30±0.92
Cu, mg/kg		0.21±0.03	0.23±0.02	0.22±0.03
Zn, mg/kg		10.37±0.64	11.83±0.67	10.61±0.66
Mg, mg/100 g		22.00±1.05	24.03±0.76	23.13±0.82
Se, mg/kg		0.56±0.02	0.58±0.02	0.57±0.02
Pb, mg/kg	Not more than 0.5	0.09±0.01	0.04±0.01*	0.05±0.01*
Cd, mg/kg	Not more than 0.05	0.003±0.001	0.001±0.000	0.002±0.000
Vitamin A, mg/100 g		0.01±0.00	0.03±0.00	0.02±0.00
Vitamin C, mg/100 g		0.05±0.01	0.07±0.00	0.06±0.01
Vitamin E, mg/100 g		0.19±0.01	0.21±0.01	0.20±0.01
Vitamin B <sub>1</sub> , mg/100 g		0.024±0.001	0.028±0.001*	0.027±0.001
Vitamin B <sub>2</sub> , mg/100 g		0.13±0.01	0.16±0.01	0.15±0.01
Vitamin B <sub>3</sub> , mg/100 g		4.88±0.07	5.53±0.07**	5.42±0.07**

Note: \*P>0,95; \*\*P>0,99

It should be noted that the meat of II and III experimental groups contained vitamin A - 0.03 and 0.02 mg/100 g, vitamin C - 0.07 and 0.06 mg/100 g, vitamin E - 0.21 and 0.20 mg/100 g, vitamin B<sub>1</sub> - 0.028 and 0.027 mg/100 g, vitamin B<sub>2</sub> - 0.16 and 0.15 mg/100 g, vitamin B<sub>3</sub> - 5.53 and 5.42 mg/100 g.

The optimal content of nutrients and minerals in meat (II and III groups) is explained by the fact that more productive fodder lands contributed to better feeding of animals.

We also analyzed data on the conversion of protein and feed energy into food production (Table 4).

An analysis of experience data indicates that the use of remote feeding routes contributed to an increase in the efficiency of the conversion of nutrients and feed energy into meat production. At the same time, it was found that the feeding factor had a positive effect on the ability of animals to transform nutrients and feed energy into meat products.



Table 4.

**Conversion rates of protein and feed energy to dietary protein and fat**

Indicators	Group		
	I	II	III
Meat received, kg	36.28	39.67	38.34
Food protein yield per kg of removable live weight, g	107.22	115.70	111.12
Absolute amount of food protein, kg	8.13	9.45	8.87
Energy output per kg of removable live weight, MJ	3.12	3.43	3.28
Conversion rate of feed protein to food protein, %	10.58	12.31	11.55
Yield of edible fat per kg of removable live weight, g	14.69	17.48	16.48
Absolute amount of dietary fat, kg	1.11	1.43	1.31
Coefficient of exchange energy of feed into energy of food products of slaughter, %	4.05	4.80	4.49
Feed exchange energy consumption per kg of live weight gain during the experiment period, MJ	77.00	71.44	73.14

The first group was inferior to II and III groups in terms of the amount of meat by 9.34 and 5.68 %, and in terms of the yield of food protein per kg of live weight by 7.91 and 3.64 %, in terms of the absolute amount of protein by 16.24 and 9,10 % respectively. Feed protein consumption per kg of live weight gain for the period of experience in I group was 1013.24 g, and in II and III groups this figure was 940.07 and 962.45 g, respectively.

The energy output per kg of removable live weight in I group was 3.12 MJ, yielding to II and III groups by 9.94 and 5.13 %.

The conversion rate of protein into food protein was 10.58 % in I group, 12.31 % in II group and 11.55 % in III group.

The yield of dietary fat per kg of removable live weight in I group was 14.69 g, yielding to II group by 18.99 %, and also to III group by 12.19 %. The absolute amount of dietary fat in I group was 1.11 kg, and in II and III groups this indicator was 1.43 and 1.31 kg. It was also found that the first group in terms of the energy exchange coefficient of feed in the power of food products was inferior to II and III groups by 0.75 and 0.44 %. The consumption of feed exchange energy per kg of live weight gain for the period of the experiment in I group was 77.00 MJ; in II group - 71.44 MJ; and in III group - 73.14 MJ.

To assess the quality of meat, a check was carried out for compliance with the quality according to the standard GOST 32226-2013, data are presented in Table 5.

Table 5.

**Organoleptic evaluation of meat**

Indicators	Compliance	Group		
		I	II	III
Surface color	Dark-red color	+	+	+
Muscles on cut	Slightly moist, does not leave a wet spot on the filter paper	+	+	+
Consistency	The meat is dense, elastic; the hole formed when pressed with a finger is quickly leveled	+	+	+
Smell	Specific, peculiar to fresh meat	+	+	+
Fat condition	Has a white color; fat soft	+	+	+
Tendon condition	Tendons are soft, friable	+	+	+

Thus, the assessment of meat showed that meat raw materials from animals of all groups met the quality requirements of GOST 32226-2013. An analysis of the closest in subject matter and scientific content of the study of the meat productivity of horses of the Yakut breed showed that our data correspond to those obtained from other authors [3, 5, 16, 21]. But at the same time, our research shows the most detailed indicators of the difference in changes in the meat productivity of horses depending on natural conditions.

**Conclusion**

Studies have shown that the use of more remote routes makes it possible to relatively better realize the potential of the meat productivity of young horses of the Yakut breed. When comparing these slaughter indicators, it was found that I group was inferior to II and III groups in terms of pre-slaughter live weight by 3.29 and 2.99 %, carcass weight by 4.42 and 3.38 %, fat by 8.85 and 3,05 %, slaughter weight by 4.73 and 3.35 %, carcass yield by 0.65 and 0.24 %, fat yield by 0.24 and 0.01 %, slaughter yield by 0.89 and 0.23 %. These differences also affected the quality of meat products. Meat samples of I group yielded to II and III groups in terms of the amount of protein (by 1.43 and 0.73 %), fat (by 0.53 and 0.36 %), Ca (by 14.03 and 4.20 %), P (by 1.62 and 0.54 %), Fe (by 7.94 and 2.54 %), Cu (by 9.52 and 4.76 %), Zn (by 14.08 and 2.31 %), Mg (by 9.23 and 5.14 %), Se (by 3.57 and 1.79 %), as well as a number of vitamins. The organoleptic evaluation of meat indicates that the meat products of all groups met the quality standard.

Thus, the best indicators of meat productivity, as well as the best quality of meat, are associated with more productive remote tracts, which is confirmed by the analysis of the chemical composition and data on the conversion of nutrients into meat products.

### References

1. Vinokurov I.N. *Traditional culture of the peoples of the North: productive horse breeding of the North-East of Yakutia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 2009, 256 p.
2. Gabyshev M.F., Kazansky A.V. *Fodder grasses of Yakutia. Characterization of chemical composition and nutrition of fodder grasses of the Yakut ASSR*. Yakutsk, 1957, 164 p.
3. Gomboeva V.V., Plotnikov D.A. Complex evaluation of meat quality of foals of the Yakut breed. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technics and technology of food production], 2014, no. 3 (34), pp. 17-23.
4. GOST 32226-2013 Meat. Cutting of horse and foal meat into cuts. Technical conditions (Reissue).
5. Evsyukova V.K., Protodyakonov A.K. Quality of foals produced in SPPK "Uluu" of Namsky ulus. *Akademicheskii vestnik Yakutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Academic Bulletin of the Yakutsk State Agricultural Academy], 2021, no. 5 (22), pp. 20-26.
6. Kalashnikov A.P. *Norms and rations of feeding agricultural animals* / Edited by A.P. Kalashnikov, N.I. Kleimenov, V.N. Bakanov. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985, 352 p.
7. Kalashnikov V. Prospects for the development of meat horse breeding in Russia / V. Kalashnikov, V. Koveshnikov, R. Kalashnikov. *APK: ekonomika, upravlenie* [AIC: Economics, Management], 2017, no. 8, pp. 57-67.
8. Konstantinova T.L. Current state and trends of horse breeding development in the Republic of Sakha (Yakutia). *Agrarnaya nauka*, 2013, no. 5, pp. 16-17.
9. Kuznetsova A.R. Economic efficiency of horse breeding development in the Republic of Bashkortostan / A.R. Kuznetsova, R.U. Gusmanov, A.A. Askarov, V.A. Kovshov. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], 2019, no. 5, pp. 78-81.
10. Panova O.A. The problem of anthelmintic resistance in horse breeding / O.A. Panova, I.A. Arkhipov, M.V. Baranova, A.V. Khrustalev. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Parasitology], 2022, vol. 16, no. 2, pp. 230-242.
11. Plokhinsky N.A. *Manual on biometrics for zootechnicians*. Moscow: Kolos Publ., 1969, 328 p.
12. Podoyntsyna T.A., Kozub Yu.A. Methods of increasing the productivity of horses of the indigenous breed. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2019, no. 2 (46), pp. 206-210.
13. Politova M.A., Demin V.A. Prospects for the development of exports of pedigree horse breeding products of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka*, 2019, no. 11-12, pp. 43-45.

14. Sidorov A.A. Meat productivity of Yakut breed horses / A.A. Sidorov, N.M. Chernogradskaya, M.F. Grigoriev, A.I. Grigorieva. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University], 2022, no. 101, pp. 308-313.
15. Suleymanova A.I. Economic efficiency of arable land use in herd horse breeding. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2015, no. 2 (45), pp. 73-79.
16. Tatarinova Z.G. Veterinary and sanitary examination of meat of foals of the Oymyakonsky district of the Republic of Sakha (Yakutia). *Akademicheskii vestnik Yakutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Academic Bulletin of the Yakutsk State Agricultural Academy], 2019, no. 3 (5), pp. 5-8.
17. Grigorev M.F. Studying the metabolism of horses when feeding them zeolite-sapropel feed additives in the conditions of Yakutia / M.F. Grigorev, Grigorev, A.A. Sidorov, A.I. Grigoreva, V.V. Sysolyatina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020, p. 42008.
18. Grigoreva A.I. Study of the influence of organomineral supplement feeds on the natural resource indicators of the live weight of horses in the far north of Yakutia / A.I. Grigoreva, M.F. Grigoreva, A.A. Sidorov, V.V. Sysorov, Grigorev, A.A. Sidorov, V.V. Sysolyatina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering*. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021, p. 12006.
19. Sidorov, A.A. Influence of non-traditional feed additives on the quality of horse breeding products / A.A. Sidorov, M.F. Grigorev, A.I. Grigorev, Grigorev, A.I. Grigoreva, S.I. Stepanova. *Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture*, 2020, pp. 197-205.
20. Sidorov A.A. The influence of non-traditional feed additives on the productivity of horses in Yakutia / A.A. Sidorov, M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva, A.N. Kyundyaytseva. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 2020, p. 42007.
21. Vasiliev S.S. Quality and processing behavior of the megezhek breed horsemeat / S.S. Vasiliev, P.A. Gogoleva, K.M. Stepanov. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International science and technology conference "Earth science"*. Vladivostok, Russian Federation, 2021, p. 022077.

### *Список литературы*

1. Винокуров И.Н. Традиционная культура народов Севера: продуктивное коневодство Северо-Востока Якутии. Новосибирск: Наука, 2009. 256 с.
2. Габышев М.Ф. Кормовые травы Якутии. Характеристика химического состава и питательности кормовых трав Якутской АССР / М.Ф. Габышев, А.В. Казанский. Якутск, 1957. 164 с.
3. Гомбоева В.В. Комплексная оценка качества мяса жеребят якутской породы / В.В. Гомбоева, Д.А. Плотников // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 3 (34). С. 17-23.
4. ГОСТ 32226-2013 Мясо. Разделка конины и жеребятины на отрубы. Технические условия (Переиздание).
5. Евсюкова В.К. Качество жеребятины, производимой в СППК «Улуу» Намского улуса / В.К. Евсюкова, А.К. Протодияконов // Академический вестник Якутской госуд. сельскохозяйственной академии. 2021. № 5 (22). С. 20-26.
6. Калашников А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных / Под ред. А.П. Калашникова, Н.И. Клейменова, В.Н. Баканова. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
7. Калашников В. Перспективы развития мясного коневодства в России / В. Калашников, В. Ковешников, Р. Калашников // АПК: экономика, управление. 2017. № 8. С. 57-67.
8. Константинова Т.Л. Современное состояние и тенденции развития коневодства в Республике Саха (Якутия) // Аграрная наука. 2013. № 5. С. 16-17.
9. Кузнецова А.Р. Экономическая эффективность развития коневодства в Республике Башкортостан / А.Р. Кузнецова, Р.У. Гусманов, А.А. Аскарлов, В.А. Ковшов // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5. С. 78-81.
10. Панова О.А. Проблема антигельминтной резистентности в коневодстве / О.А. Панова, И.А. Архипов, М.В. Баранова, А.В. Хрусталева // Российский паразитологический журнал. 2022. Т. 16. № 2. С. 230-242.
11. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 328 с.
12. Подойницына Т.А. Приемы повышения продуктивности лошадей аборигенной породы / Т.А. Подойницына, Ю.А. Козуб // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2 (46). С. 206-210.
13. Политова М.А. Перспективы развития экспорта продукции племенного коневодства Российской Федерации / М.А. Политова, В.А. Демин // Аграрная наука. 2019. № 11-12. С. 43-45.
14. Сидоров А.А. Мясная продуктивность лошадей якутской породы / А.А. Сидоров, Н.М. Черноградская, М.Ф. Григорьев, А.И. Григорьева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 101. С. 308-313.

15. Сулейманова А.И. Экономическая эффективность использования пашни в табунном коневодстве // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015. № 2 (45). С. 73-79.
16. Татарнинова З.Г. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса жеребят Оймьконского района Республики Саха (Якутия) // *Академический вестник Якутской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 3 (5). С. 5-8.
17. Grigorev M.F. Studying the metabolism of horses when feeding them zeolite-sapropel feed additives in the conditions of Yakutia / M.F. Grigorev, A.A. Sidorov, A.I. Grigoreva, V.V. Sysolyatina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 42008.
18. Grigoreva A.I. Study of the influence of organomineral supplement feeds on the natural resource indicators of the live weight of horses in the far north of Yakutia / A.I. Grigoreva, M.F. Grigorev, A.A. Sidorov, V.V. Sysolyatina // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering*. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. P. 12006.
19. Sidorov A.A. Influence of non-traditional feed additives on the quality of horse breeding products / A.A. Sidorov, M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva, S.I. Stepanova // *Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture*. 2020. P. 197-205.
20. Sidorov A.A. The influence of non-traditional feed additives on the productivity of horses in Yakutia / A.A. Sidorov, M.F. Grigorev, A.I. Grigoreva, A.N. Kyundyaytseva // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. P. 42007.
21. Vasiliev S.S. Quality and processing behavior of the megezhek breed horsemeat / S.S. Vasiliev, P.A. Gogoleva, K.M. Stepanov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International science and technology conference "Earth science"*. Vladivostok, Russian Federation. 2021. P. 022077.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

**Сидоров А.А.:** сбор и обработка материалов, написание текста.

**Алексеев Е.Д.:** сбор и обработка материалов.

**Григорьев М.Ф.:** концепция и дизайн исследования, написание текста.

**Григорьева А.И.:** экспериментальные исследования.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Andrey A. Sidorov:** collection and processing of materials, writing the text.

**Egor D. Alekseev:** collection and processing of materials.

**Mikhail F. Grigorev:** concept and design of the study, writing the text.

**Aleksandra I. Grigoreva:** experimental research.

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Andrey A. Sidorov**, Candidate of Agricultural Sciences, Dean of the Faculty of Agrotechnology

*Arctic State Agrotechnological University*

*3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation*

*grig\_mf@mail.ru*

*Scopus Author ID: 57219110798*

**Egor D. Alekseev**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department «Traditional industries of the North», Faculty of Agrotechnology

*Arctic State Agrotechnological University*

*3, Sergelyakhskoe Str., Yakutsk, 677007, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation*

*grig\_mf@mail.ru*

**Mikhail F. Grigorev**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research and Innovation Department; doctoral

*Kuzbass State Agricultural University; Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences*

*5, Markovtseva Str., Kemerovo, Kemerovo region, 650056, Russian Federation; Tsentralnaya Str., Krasnoobsk, Novosibirsk region, 630501, Russian Federation*

*grig\_mf@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5910-9268>*

**Aleksandra I. Grigoreva**, Researcher

*Far Eastern State Agrarian University*

*86, Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Amur region, 675005, Russian Federation*

*shadrina\_ai@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5968-2400>*

**ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Сидоров Андрей Андреевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, декан агротехнологического факультета

*ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»*

*ш. Сергеляхское, 3 км, 3, , г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007, Российская Федерация*

*grig\_mf@mail.ru*

**Алексеев Егор Денисович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общей зоотехнии, Агротехнологический факультет

*ФГБОУ ВО «Арктический государственный агротехнологический университет»*

*ш. Сергеляхское, 3 км, 3, , г. Якутск, Республика Саха (Якутия), 677007, Российская Федерация*

*grig\_mf@mail.ru*

**Григорьев Михаил Федосеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-инновационного управления; докторант

*ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный аграрный университет имени В.Н. Полецкого»; Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН)*

*ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056, Российская Федерация; ул. Центральная, г. Краснообск, Новосибирская область, 630501, Российская Федерация*

*grig\_mf@mail.ru*

**Григорьева Александра Ивановна**, соискатель

*ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет»*

*ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Амурская область, 675005, Российская Федерация*

*grig\_mf@mail.ru*

Поступила 18.06.2023

После рецензирования 05.07.2023

Принята 13.07.2023

Received 18.06.2023

Revised 05.07.2023

Accepted 13.07.2023



DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-713

UDC 633.853



Original article | General Farming and Crop Production

## PRODUCTIVITY OF OIL FLAX DEPENDING ON DOSES OF FERTILIZERS AND CORRELATION AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE STUDY FACTORS

*A.A. Podlipnaya, D.V. Vinogradov, T.V. Zubkova*

**Background.** *The high purchase price and the expansion of treatment volumes stimulate the production of oilseeds in general, including oilseed flax. However, it has not been enough done to determine the autecological aspects in the agroecosystems of oil flax and the scientific justification for the sustainable production of oilseed raw materials of this crop in conditions of the Central Non-Black Earth Region. Also, the problem of the sowing qualities of flax, the preservation of the crop in various weather conditions of the region has not been solved and such methods of agricultural technology as the use of biological microfertilizers, including complex interaction with mineral fertilizers, have not been worked out, which determines the relevance and necessity of conducting these studies.*

**Materials and Methods.** *Research methods and methodology were based on generalization of scientific sources of domestic and foreign authors, laboratory and field studies, phenological observations, records, according to recommendations and generally accepted methods, using correlation and statistical analysis of the experimental data obtained. Microsoft Office Excel 10 was used for statistical work.*

**Results.** *The maximum average yields were found in variants with  $N_{205}P_{35}K_{75}$  (24.4 dt/ha);  $N_{220}P_{70}K_{105}$  (25.1 dt/ha) against the background of Micropolidoc Plus application. The increase in oilseeds compared to options with introduction of  $N_{125}$  was without Micropolidoc Plus: +6.8 dt/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ) and +8.9 dt/ha ( $N_{220}R_{70}K_{105}$ ), and against the background of using Micropolidoc plus it was +7.9 dt/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ) and +8.6 dt/ha ( $N_{220}P_{70}K_{105}$ ).*

**Conclusion.** *The use of higher calculated doses of fertilizers stimulated an increase in yield, and spraying oil flax plants in the “herringbone” phase with Micropolidoc Plus microfertilizer at a dose of 0.5 l/ha, in combination with mineral fertilizers, gave a higher increase in seeds according to the options. Correlation-*

statistical analysis revealed that the relationship was enhanced when treated with agrochemical Micropolidoc Plus against the background of an average level of nutrition ( $r = 0.42$ ), and an increase in the number of boxes per unit increased the crop yield by  $+0.84$  dt/ha, which indicated the effectiveness of a biological product that improved conditions for increasing the responsiveness of yields to the formation of boxes.

**Keywords:** oil flax; Moscow region; agrochemical; mineral fertilizer; microfertilizer; crop structure; yield

**For citation.** Podlipnaya A.A., Vinogradov D.V., Zubkova T.V. Productivity of Oil Flax Depending on Doses of Fertilizers and Correlation and Statistical Analysis of the Study Factors. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 90-101. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-713

Научная статья | Общее земледелие и растениеводство

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДУЕМЫХ ФАКТОРОВ

*А.А. Подлипная, Д.В. Виноградов, Т.В. Зубкова*

**Обоснование.** Высокая закупочная цена, расширение объемов переработки стимулирует производство масличных культуры в целом, в том числе и льна масличного. Однако, в условиях центрального Нечерноземья еще недостаточно проведена работа по определению аутоэкологических аспектов в агроценозах льна масличного и научному обоснованию устойчивого производства масличного сырья данной культуры. Так же, не решена проблема посевных качеств льна, сохранности урожая в различных погодных условиях региона, плохо отработаны такие приемы агротехнологии, как применение биологизированных микроудобрений, включая комплексное взаимодействие с минеральными удобрениями, что определяет актуальность и необходимость проведение данных исследований.

**Материалы и методы исследования.** Методы исследования и методология исследования базируется на обобщении научных источников отечественных и иностранных авторов, проведении лабораторных и полевых исследований, фенологических наблюдений, учетов, согласно рекомендаций и общепринятых методик, с применением корреляцион-

но-статистического анализа полученных экспериментальных данных. Для статистической работы применялся Microsoft Office Excel 10.

**Результаты.** Максимальные средние показатели урожайности выявлены на вариантах с внесением  $N_{205}P_{35}K_{75}$  (24,4 ц/га);  $N_{220}P_{70}K_{105}$  (25,1 ц/га) на фоне применения Микрополидок Плюс. Прибавка маслосемян по сравнению с вариантами с внесением  $N_{125}$  составила без Микрополидок Плюс: +6,8 ц/га ( $N_{205}P_{35}K_{75}$ ), +8,9 ц/га ( $N_{220}P_{70}K_{105}$ ); на фоне применения Микрополидок плюс: +7,9 ц/га ( $N_{205}P_{35}K_{75}$ ), +8,6 ц/га ( $N_{220}P_{70}K_{105}$ ).

**Заключение.** Применение более высоких расчетных доз удобрений стимулирует увеличение урожая, а опрыскивание растений льна масличного в фазу «елочки» микроудобрением Микрополидок Плюс в дозе 0,5 л/га, в комплексе с минеральными удобрениями дает более высокую прибавку семян по вариантам. При корреляционно-статистическом анализе, выявлено, что связь усиливается при обработке агрохимикатом Микрополидок Плюс на фоне среднего уровня питания ( $r=0,42$ ), а увеличение числа коробочек на единицу повышает урожайность культуры уже на +0,84 ц/га, что указывает на эффективность биопрепарата, который улучшает условия для повышения отзывчивости урожайности на формирование коробочек.

**Ключевые слова:** лен масличный; Московская область; агрохимикат; минеральное удобрение; микроудобрение; структура урожая; урожайность

**Для цитирования.** Подлипная А.А., Виноградов Д.В., Зубкова Т.В. Продуктивность льна масличного в зависимости от доз удобрений и корреляционно-статистический анализ исследуемых факторов // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 90-101. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-713

## Introduction

Oil flax is a valuable industrial and oilseed crop that produces high-quality oil and highly concentrated protein feed for animals in the form of meal and cake [1-3]. The production of oil flax in Moscow region in recent years has been a promising area, and has a tendency to increase production crops in the region [4, 5].

Thus, the gross volume of oil flax in the Russian Federation in 2021 exceeded 1 million hectares, and amounted to 1.4 million tons, and already in 2022, the figure was 1.7 million tons [6]. The cultivation of this crop stimulated production, including the absence of duties, while other oilseeds - rape, soybean and sunflower had them. The area under oil flax in Russia is also increasing: 2013 - 0.48 million hectares, 2015 – 0.64 million ha, 2018 – 0.84 million ha, 2021 – 1.56 million ha, 2022 – 2.1 million ha.

The cultivation of oil flax is not developed in Moscow region and the annual area under crop is not more than 1.5 thousand hectares with a yield of 1.4-1.6 t/ha, but there is a large reserve in increasing production.

The main buyer of oil flax is the People's Republic of China getting more than half of the volume of seeds from the country, Turkey has increased purchases. Such European countries as Belgium, Norway, Poland, Latvia also import oil flax [7-11].

The high price and the expansion of treatment volumes stimulate the production of oilseeds in general, including oil flax [12, 13]. In addition, oil flax is often sown as a good predecessor for winter cereals in crop rotation, having a stable crop yield [14]. Further production of oil flax will depend on market conditions and sales, stable and high prices for raw oil, and agricultural producers are ready to increase production of oil linseed raw materials [15, 16].

An increase in crop yield is impossible without the use of fertilizers and various modern biological products in the production technology, therefore this scientific work is devoted to these problems.

The **purpose** of the work is to identify the reaction of oil flax variety Uralsky, taking into account the applied calculated doses of mineral fertilizers, to the planned yield (1.5; 2.0; 2.5; 3.0 t/ha) in combination with the use of Micropolidoc plus microfertilizer.

### **Scientific novelty**

For the first time in the conditions of the central part of the non-Chernozem zone, the reaction of oil flax variety Uralsky to calculated doses of mineral nutrition in combination with microfertilizer Micropolidoc plus on soddy-podzolic heavy loamy soils of Moscow region was studied. The productivity of oil flax depending on the factors was revealed and a correlation-statistical analysis of the straight-line relationship between the number of pods and the yield of the crop was carried out.

### **Materials and Methods**

Experimental studies were carried out on fields of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry Named after D.N. Pryanishnikov, mcr. distr. Barybino, Domodedovskiy district, Moscow region in 2021-2022.

The soil of experimental plots was soddy-podzolic heavy loamy and the D horizon was Shale drape with the following agrochemical characteristics: pH KCl - 5.25-5.33; N-NO<sub>3</sub> 7.6-7.7 mg/kg; N-NH<sub>4</sub> 1.25-1.33 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 151-161 mg/kg; K<sub>2</sub>O 168-174 mg/kg; humus - 2.0 %.

The studies were according to the method presented by B.A. Dospekhov (1985). Events for sowing oil flax were generally accepted for the region. The predecessor was winter wheat. Autumn plowing was carried out to a depth of 20-22 cm (MTZ-1221 + PLN-4-35) and early-spring harrowing was carried out by BZSS-1.0 to a depth of 16-18 cm BDN-2.4 \* 2, followed by presowing cultivation after 1-1.5 weeks to a depth of 6-8 cm (MTZ-1221 + KPM-6). There was application of fertilizers for pre-sowing cultivation. Sowing was with a seeding rate of 7 million units/ha (MTZ-1221 + Kverneland DL) and sowing time was the first decade of May. The variety of oil flax in the experiment was Uralsky. Harvest accounting was carried out by a continuous method using a selective harvester Tarion - 2010.

Azophoska NPK 16-16-16, ammonium nitrate was used in the experiment (factor A). Doses of fertilizers were applied based on the planned yield: 1) 1.5 t/ha; 2) 2.0 t/ha; 3) 2.5 t/ha; 4) 3.0 t/ha of seeds in doses of  $N_{125}$ ;  $N_{160}K_{40}$ ;  $N_{205}R_{35}K_{75}$ ;  $N_{220}P_{70}K_{105}$  kg/ha according to the options. As factor B in experiments, microfertilizer Micropolidoc Plus was studied at a dose of 0.5 l/ha. This agrochemical includes macro- and microelements and amino acids. The composition of Micropolidoc Plus microfertilizer declared by the manufacturer included N - 200g/l,  $P_2O_5$  - 120 g/l,  $K_2O$  - 100 g/l, S - 1.5 g/l, Fe - 1.1 g/l, Mo - 0.5 g/l, Cu - 0.21 g/l, Zn - 0.2 g/l, Mg - 0.6 g/l, Mn - 1.1 g/l, B - 0.1 g/l, Co - 0.02 g/l, glutamic acid - 0.002 g/l, L-alanine - 0.014 g/l.

## Results and discussion

The climate of Domodedovo district of Moscow region during the years of research was characterized as temperate continental with an average annual air temperature of about +4° C, a period with positive temperatures of 210-213 days and an average annual precipitation of 520-546 mm. The sum of average daily temperatures in the experimental area during the growing season was 1 970–2 120° C, on average, the hydrothermal coefficient of the HTC 2021 was 0.89, HTC was 1.09.

The soil of the experimental plot was soddy-podzolic, and therefore, the application of mineral fertilizers, taking into account the planned yield, was a mandatory technique in agricultural technology. The application of mineral fertilizers stimulated the growth and development of oil flax throughout the entire growing season (Table 1).

It was revealed that the maximum average yields were obtained on options with  $N_{205}P_{35}K_{75}$  (24.4 dt/ha) and  $N_{220}P_{70}K_{105}$  (25.1 dt/ha) against the background of Micropolidoc Plus application. The increase in oilseeds compared to op-

tions with the introduction of  $N_{125}$  was without Micropolidoc Plus: +6.8 dt/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ), +8.9 dt/ha ( $N_{220}R_{70}K_{105}$ ); against the background of Micropolidoc plus: +7.9 d/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ), +8.6 dt/ha ( $N_{220}P_{70}K_{105}$ ).

Table 1.

**The structure of the crop and the yield of oil flax depending on doses of fertilizers and the use of Micropolidoc Plus**

Option of application of calculated mineral fertilizers, kg/ha of active ingredient	Treatment with Micropolidoc Plus	Quantity of plants, pcs/m <sup>2</sup>	Plant height, cm	Number of pods, pcs. / 1 plant	Weight of 1 000 seeds, g	Yield, dt/ha
$N_{125}$	-	604.8	43.3	14.9	6.9	15.8
	+	620.0	48.0	15.5	7.2	16.5
$N_{160}K_{40}$	-	617.8	46.7	15.9	7.0	19.0
	+	634.9	51.8	16.3	7.2	20.5
$N_{205}P_{35}K_{75}$	-	618.5	49.9	16.7	7.0	22.6
	+	650.0	59.6	17.6	7.4	24.4
$N_{220}P_{70}K_{105}$	-	609.0	55.1	18.1	7.1	24.7
	+	641.1	63.9	17.9	7.4	25.1
LSD <sub>05</sub> , 2021				0.39	0.06	1.41
				2022	1.04	3.40

The work included a correlation-statistical analysis of the obtained data to check the significant differences between the yield data of oil flax according to the criterion of theoretical yield (4 groups), which was equivalent to the meaning of the ranked level of nutrition in accordance with doses of mineral fertilizers. A non-parametric comparison method was used according to Kruskal-Wallis test, which was designed to check the equality of the medians of several samples. It is considered the non-parametric equivalent of one-way analysis of variance. This is determined by the fact that the values in the flax yield data, the number of pods do not have a normal distribution (according to Kolmogorov-Smirnov). To do this, each theoretical yield threshold is assigned groups.

The data allow to conclude that there are differences in the yield of flax in options with different doses of fertilizers, with the exception of the relationship between the options with a theoretical (calculated) yield of 2.5 and 3.0 t/ha. Apparently, this is due to the fact that in the range of fertilizer doses corresponding to 2.5 and 3.0 t/ha, they do not affect the increase in crop productivity. The hyperbolic-type dependence parameters shown below support this conclusion.

In terms of the number of pods, the differences were not significant between the groups of fertilizer doses for the estimated flax yield of 1.5 and 2.0

t/ha and 2.5 and 3.0 t/ha. This gives a reason to combine them when studying dependencies.

To study the direct relationship between the number of pods (an independent feature) and the yield of oil flax, a two-level grouping of the planned yield factor was carried out based on doses of mineral fertilizers. For this, two groups were created: group 1 had 1.5+2.0 t/ha (average level of nutrition) and group 2 had 2.5+3.0 t/ha (high level of nutrition). Accordingly, the data array was grouped according to the biological product treatment factor – without treatment and with treatment. Table 2 shows the general statistics of the yield and number of pods.

*Table 2.*

**General statistics of the dependence of flax yield on the number of pods per plant**

Parameter	Xaver	Confidence interval		Me	Xmin	Xmax	S	V, %	Sx
		-95%	+95%						
Yield, dt/ha	21	20	21	21	12	28	4	18	0.31
Number of pods, pcs.	16	16	17	17	10	22	2	13	0.18

Regression and correlation and their statistical parameters (standard errors and significance level) are presented in Table 3. In general, the share of such a factor as the “number of pods”, judging by the values of the correlation coefficients (determination), in the formation of yield (share in variability) is small - does not exceed 20%. The total share of other factors related to weather conditions, other reasons - 80%.

Statistical treatment for the total array (without grouping) showed that correlation and regression coefficients were 0.41 (share in the variance 17%) and 0.71. Accordingly, the relationship was positive. This means that with an increase in the number of pods per yield unit of oil flax it significantly increased by 0.71 dt/ha. When no Micropolidoc Plus treatment, at an average level of nutrition, it was slightly lower than -0.68 dt/ha ( $r=0.36$ ). In this case, the relationship between the features weakened.

Under a combination of conditions with treatment and nutrition level, the relationship turned out to be even weaker and unreliable (Table 4).

Mineral fertilizers and microfertilizer Micropolidoc plus contributed to an increase in the density of flax plants, by increasing resistance to adverse conditions in the early phases of crop development: increasing drought resistance in May – early June, competition with weeds, increasing resistance to pests

and diseases, more intensive development of the crop was revealed in “her-ringbone” phase.

Table 3.

**Dependence of the yield of oil flax on the number of pods at various combinations of nutrition level and treatment with a biological product**

Parameter	Correlation coefficient	Standard error of correlation	Regression coefficient	Standard error of regression	Significance level
According to the general array of data					
Intersection	-	-	9.16	2.08	0.000021
Number of boxes	0.41	0.07	0.71	0.12	0.0000001
No treatment, average nutrition					
Intersection	-	-	8.39	4.54	0.072429
Number of boxes	0.36	0.15	0.68	0.28	0.020507
With Micropolidoc Plus treatment, medium nutrition level					
Intersection	-	-	6.54	4.84	0.184586
Number of boxes	0.42	0.14	0.84	0.28	0.006098
No treatment, high nutrition					
Intersection	-	-	9.66	3.89	0.017743
Number of boxes	0.45	0.14	0.71	0.22	0.003036
With Micropolidoc Plus treatment, high nutrition level					
Intersection	-	-	18.0	3.19	0.000002
Number of boxes	0.23	0.15	0.28	0.18	0.135881

Table 4.

**Hyperbolic dependency parameters**

Parameter	Rating	Standard error	p-value	Confidence interval	
				-95%	+95%
a	33.84	0.66	0.00	32.53	35.14
b	-26.76	1.34	0.00	-29.42	-24.11

**Conclusion**

Thus, according to the results of the research, we state that the maximum average yields were obtained on options with  $N_{205}P_{35}K_{75}$  (24.4 dt/ha) and  $N_{220}P_{70}K_{105}$  (25.1 dt/ha) against the background of Micropolidoc Plus application. The increase in oilseeds compared to options with the introduction of  $N_{125}$  was without Micropolidoc Plus: +6.8 dt/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ), +8.9 dt/ha ( $N_{220}R_{70}K_{105}$ )



and against the background of Micropolidoc plus it was +7.9 dt/ha ( $N_{205}R_{35}K_{75}$ ) and +8.6 dt/ha ( $N_{220}P_{70}K_{105}$ ).

The weak relationship under the combination of conditions between the treatment with Micropolidoc Plus and the application of mineral fertilizers can be explained by the absence of a response in the amount of pods formation in flax in a certain range of applied doses of mineral fertilizers. The argumentation of this statement is supported by a significant regression of the hyperbolic type ( $y = a + b / x$ ) between the level of nutrition and yield.

The relationship is enhanced by the treatment with agrochemical Micropolidoc Plus against the background of an average level of nutrition ( $r=0.42$ ), and an increase in the number of pods per unit increases the crop yield by +0.84 dt/ha. This may indicate that the biopreparation improves conditions for increasing yield responsiveness to pod formation.

#### *References / Список литературы*

1. Bakulina G., Fedoskin V., Pikushina M., Kukhar V., Kot E. Factor analysis models in enterprise costs management // International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. 2020. Vol. 14. P. 232-240.
2. Byshov N.V., Uspenskiy I.A., Yukhin I.A., Limarenko N.V. Ecological and technological criteria for the efficient utilization of liquid manure // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 422. P. 012069.
3. Gulidova V.A., Zubkova T.V., Kravchenko V.A., Dubrovina O.A. On the ways of improving photosynthesis productivity in spring rape plants in the crops // Ecology, Environment and Conservation. 2019. Vol. 25 (2). P. 577-581
4. Gulidova V.A., Zubkova T.V., Kravchenko V.A., Dubrovina O.A. The dependence of photosynthetic indices and the yield of spring rape on foliar fertilization with microfertilizers // OnLine Journal of Biological Sciences. 2017. Vol. 17 (4). P. 404-407.
5. Lupova E.I., Sazonkin K.D., Vinogradov D.V. Yield of winter rape in Ryazan region // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 723. P. 022031.
6. Nakayeva A.A., Okazova Z.P. On the competitiveness of field crops // Successes of modern science. 2017. Vol. 2. 12. P. 191-195.
7. Vasileva V., Kertikov T., Ilieva A. Dry mass yield and amount of fixed nitrogen in some forage legume crops after treatment with organic fertilizer Humustim // Bulgarian Journal of Agricultural Sciences. 2017. Vol. 23(5). P. 816-819.
8. Vasileva V. Aboveground to root biomass ratios in pea and vetch after treatment with organic fertilizer // Global Journal of Environmental Science and Management. 2015. Vol. 1(2). P. 71-74.

9. Ushakov R.N., Ruchkina A.V., Levin V.I., Zakharova O.A., Kostin Y.V., Golovina N.A. Sustainability of Agro-Gray Soil to Pollution and Acidification, and its // *Bio diagnostics International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4.36). P. 929
10. Zubkova T., Motyleva S., Dubrovina O., Brindza J. The study of rapeseeds ash composition in the conditions of the agroecological experiment // *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 156–161.
11. Vinogradov D.V., Naumtseva K.V., Lupova E.I. Use of biological fertilizers in white mustard crops in the non-Chernozem zone of Russia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341(1). P. 012204.
12. Zubkova T.V., Vinogradov D.V., Zakharov V.L. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 979(1). P. 012094.
13. Zubkova T.V., Vinogradov D.V., Dubrovina O.A. Effect of zeolite on the micro-morphological and biochemical features of the spring rapeseed (*Brassica napus L.*) // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 54(1). P. 153-164.
14. Vinogradov D.V., Makarova M.P., Zubkova T.V. The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in oilseed agrocenoses // *Theoretical and Applied Ecology* [this link is disabled](#). 2023. Vol. (1). P. 93-100.
15. Zubkova T., Motyleva S., Vinogradov D., Gulidova V., Dubrovina O. Organic fertilizer and natural zeolite effects on morphometric traits of brassica napus l. pollen grains // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2022. Vol. 54(2). P. 397-406.
16. Vinogradov D.V., Evsenina M.V., Novikova A.V. Improving the conditioning of wheat grain when preparing it for grinding into graded flour // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [this link is disabled](#). 2021. Vol. 723(2). P.022081

#### **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**

**Anastasia A. Podlipnaya**, Postgraduate Degree Seeker of the Department of Agronomy and Agrotechnologies

*Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev  
1, Kostychev Str., Ryazan, 390044, Russian Federation  
a.podlipnaya@yandex.ru*

**Dmitry V. Vinogradov**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnologies; Professor of the Department of General Agriculture and Agroecology  
*Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev;  
Lomonosov Moscow State Faculty; Yelets State University Named after I.A. Bunin  
1, Kostychev Str., Ryazan, 390044, Russian Federation; 1/12, Leninskie Gory, 119234, Moscow, Russian Federation; 28, Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russian Federation  
vdvrzn@mail.ru*

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

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Подлипная Анастасия Александровна**, соискатель кафедры агрономии и агротехнологий  
*Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева  
ул. Костычева, 1, г. Рязань, 390044, Российская Федерация  
a.podlipnaya@yandex.ru*

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

---

*ул. Костычева, 1, Рязань, 390044, Российская Федерация; Ленинские горы, 1, стр. 12, 119234, Москва, Российская Федерация; ул. Коммунаров, 28, г. Елец, 399770, Российская Федерация  
vdvrzn@mail.ru*

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

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 05.07.2023

Принята 10.07.2023

Received 14.06.2023

Revised 05.07.2023

Accepted 10.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-722

УДК 634.232:634.22:631.671.1:631.81



Научная статья | Садоводство

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ЧЕРЕШНИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

*О.А. Никольская, Е.В. Семинченко, А.В. Солонкин*

**Обоснование.** Увеличение производства фруктов до бездефицитного объема потребления населением и потребностей промышленной переработки связано с необходимостью расширения площади садовых насаждений. Неотъемлемой частью организации закладки садовых насаждений, является отрасль питомниководства, выращивающая посадочный материал. От качества посадочного материала зависит многое. Выбор саженца влияет на дальнейший рост, развитие, плодоношение, урожайность и иммунитет будущего плодового дерева. В условиях питомника косточковых культур открытого грунта важно определить режим орошения, который в сочетании с применением удобрений обеспечивает наиболее высокий выход саженцев при экономии всех видов ресурсов.

**Цель.** Определить показатели экономической эффективности рекомендуемой технологии орошения в сочетании с минеральными подкормками саженцев черешни. Оценка экономической эффективности в наших опытах проводилась путем расчета получаемой прибыли, учета всех затрат в питомнике и уровня рентабельности.

**Материалы и методы.** Объектом исследований служили однолетние саженцы черешни сорта Василиса. Схема двухфакторного опыта предусматривала изучение трех вариантов по каждому фактору. Фактор А – водный режим почвы и фактор В – минеральные подкормки.

**Результаты.** Доказано, что при выращивании саженцев косточковых культур на светло-каштановых почвах высока эффективность применения удобрения в сочетании с дифференцированным способом полива, при котором изменяется глубина промачивания и соответственно поливная норма.

**Заключение.** Анализ данных экономической эффективности выращивания саженцев показал, что при цене реализации саженцев 170 (1 сорт) и 120 (2

*сорт) руб. за один саженец при выращивании их на фоне водного режима А3 в сочетании с подкормками препаратом Изабион и Мастер рентабельность была самой высокой и составила 155 и 154%. При этом рентабельность контрольного варианта составила 99%.*

**Ключевые слова:** орошение; саженцы; сорт; рентабельность; экономическая эффективность

**Для цитирования.** Никольская О.А., Семинченко Е.В., Солонкин А.В. Сравнительный анализ показателей экономической эффективности возделывания саженцев черешни при капельном орошении // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 102-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-722

Original article | Horticulture

## COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS OF ECONOMIC EFFICIENCY OF CULTIVATION OF CHERRY SEEDLINGS WITH DRIP IRRIGATION

*O.A. Nikolskaya, E.V. Semenchenko, A.V. Solonkin*

**Background.** *The increase in fruit production to a deficit-free volume of consumption by the population and the needs of industrial processing is due to the need to expand the area of garden plantings. An integral part of the organization of the laying of garden plantings is the nursery industry that grows planting material. A lot depends on the quality of the planting material. The choice of a seedling affects the further growth, development, fruiting, yield and immunity of the future fruit tree. In the conditions of a nursery of stone crops of open ground, it is important to determine the irrigation regime, which, in combination with the use of fertilizers, will provide the highest yield of seedlings while saving all types of resources.*

**Purpose.** *To determine the economic efficiency indicators of the recommended irrigation technology in combination with mineral fertilizing of cherry seedlings. The assessment of economic efficiency in our experiments was carried out by calculating the profit received, taking into account all costs in the nursery and the level of profitability.*

**Materials and methods.** *The object of research was annual cherry seedlings of the Vasilisa variety. The scheme of two-factor experience provided for the study of three options for each factor. Factor A is the water regime of the soil and factor B is mineral fertilizing.*

**Results.** *It has been proved that when growing seedlings of stone crops on light chestnut soils, the effectiveness of fertilizer application in combination with a differentiated irrigation method is high, in which the depth of soaking and, accordingly, the irrigation rate changes.*

**Conclusion.** *The analysis of the data on the economic efficiency of growing seedlings showed that at the selling price of seedlings 170 (grade 1) and 120 (grade 2) rubles per seedling, when growing them against the background of the A3 water regime in combination with top dressing with Izabion and Master, the profitability was the highest and amounted to 155 and 154%. At the same time, the profitability of the control variant was 99%.*

**Keywords:** *irrigation; seedlings; variety; profitability; economic efficiency*

**For citation.** *Nikolskaya O.A., Semenchenko E.V., Solonkin A.V. Comparative Analysis of Indicators of Economic Efficiency of Cultivation of Cherry Seedlings with Drip Irrigation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 102-118. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-722*

Задача каждого производственника, в том числе аграрного, объединяется к получению максимального выхода получаемой продукции вместе с минимальными расходами на ее изготовление. Вероятность увеличения рентабельности гарантируется повышением доходов с изготавливаемой продукции за счет результата уменьшения ее себестоимости.

Обеспечение развития садоводства в стране приобретает общегосударственные масштабы и становится одним из приоритетных направлений аграрной политики [6, 12]. Развитие отрасли садоводства напрямую зависит от посадочного материала, выращиваемого в плодовых питомниках и используемого для закладки продуктивных насаждений [8, 9, 18, 21].

Для полноценного развития растений, как в питомнике, так и в саду, необходимо обеспечить растения достаточным количеством влаги и питательных элементов [1, 4, 13]. При этом нужно не забывать, что избыток влаги и микро- макроэлементов негативно сказывается, не только на росте и развитии растений, но и на плодородии почвы [2, 7].

Ключевыми изготовителями плодово-ягодной продукции считаются хозяйства населения, на долю которых приходится более 60% (наиболее 300тыс.га) площадей [12]. Недостаток товаров садоводства (85%) дополняется посредством ввоза импорта плодов из-за границы [10, 14].

Присутствие допустимого импортозамещения возможно только лишь благодаря учету устойчивой подходящей урожайности (не меньше 40 т/га), конкурентоспособности, а также высочайшего свойства плодов [3].

В настоящее время посадочный материал, поставляемый на рынок, не всегда отвечает установленным государственным стандартам. Первоственной задачей питомниководства является выращивание качественного посадочного материала, отвечающего всем требованиям [7, 11, 17].

В базарной экономике любая организаци находясь экономически независимым товаропроизводителем, имеет право применять всевозможные баллы производительности, для формирования своего товарооборота, вместе с учетом определенных страной налоговых выплат. При этом, имеются общепринятые группы, а также определения, которые применяются для устранения трудностей производительности.

С целью балла производительности деятельность компании использует условные характеристики, единственные с рентабельностью. Эффективность – условный коэффициент финансовой производительности, определяющий результативность использования, либо пользования ресурсов; демонстрирующий значение доходов, приобретенных предприятием в расчете на штуку использованных либо израсходованных ресурсов [2, 19, 20].

Значимым течением увеличения производительности изготовления, считается усовершенствование свойства продукта.

Объемы необходимых финансовых ресурсов и издержек, для организации выпуска сертифицированного посадочного материала, в Российской Федерации составляют в среднем 12327,3 млн. руб. в год.

Создание насаждений малораспространённых плодовых культур, для обеспечения их посадочным материалом в объёме необходимым для удовлетворения потребностей населения, требует значительных капитальных вложений. Без обоснования экономической эффективности затрат, сроков их окупаемости невозможно планирование работ по закладке садов. Создание новых насаждений требует значительного количества высококачественного посадочного материала плодовых культур [5, 16].

Вопросам выращивания саженцев посвящено много работ, носящих технический характер, мы хотим рассмотреть экономическую составляющую данного вопроса [13, 17, 21].

Затраты на выращивание посадочного материала складываются из стоимости материалов, удобрений, ядохимикатов, подвоев и стоимости производственных и транспортных расходов на проведение работ.

Одной из отличительных черт питомниководческих хозяйств, занятых выращиванием плодовых саженцев, заключается в том, что целый оборот извлечения, в том числе и одногодичного, саженца отделанного к реа-



лизации покупателю исполняется, равно как и в нашем эксперименте, в течении 2 лет. По этой причине в наших расчетах расходы в разведении саженцев черешни складывались отталкиваясь от двухгодичного цикла исполнения трудов: в первоначальный год, сопряженные с выращиванием школки а также во 2-ой – саженца [4, 7, 17, 21].

Научная новизна исследований состоит в определении экономической целесообразности системы выращивания саженцев при применении дифференцированного способа полива и обосновании безубыточности производства посадочного материала признаком, которого выступает рентабельность и себестоимость.

### **Материалы и методы**

При постановки и проведении опыта были использованы различные научные методики и методы [2, 5, 16].

Для изучения на опытный участок, в поле питомника, были высажены сеянцы вишни магалеvской (Антипка), с дальнейшей их окулировкой сортом черешни Василиса. В дальнейшемполученные в питомнике саженцы были высажены на постоянное место в сад.

Экспериментальный участок расположен на местности лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства ФНЦ агроэкологии РАН, в сухостепной зоне Волгоградской области. Грунт слабощелочной, светло-каштановый, гумус – 1,73 %, рН=7,2-7,5. Сумма температур за вегетационный промежуток (месяц–месяц) в среднем составляет от 2850 до 3050<sup>o</sup>С. Годы исследований существенно отличались по температурному режиму и количеству осадков за вегетационный период, с апреля по сентябрь. За годы исследований, при среднемноголетней норме 190,4 мм, наблюдался дефицит осадков: 149,7 в 2017г., 138,5 в 2018г., 169,2 в 2019г, 90,2 в 2020 году, и 123,2 в 2021 году. При этом неравномерное выпадение осадков, отмечалось как по годам, так и по месяцам. Среднемесячные температуры за период исследований изменялись от 8,9 до 28,8<sup>o</sup>С, что в среднем на 1<sup>o</sup>С выше среднемноголетней нормы. Влажность воздуха по годам варьировала от 25% в до 85%, что в среднем на 1 - 7% ниже средних многолетних показателей. В летний период в районах Волгоградской области не редко наблюдаются суховеи и воздушные засухи, которые приводят к значительной сухости воздуха и иссушению верхних почвенных горизонтов. Гидротермический коэффициент (ГТК) также имел существенную разницу, 2017 г. – засушливый (ГТК=0,6), 2018 г. – сухой (ГТК=0,5), 2019 г. – слабо засушливый (ГТК=0,7), 2020 г. – сухой

(ГТК=0,3), в 2021 – сухой(ГТК=0,4), что характеризует необходимость проведения поливов [Архив погоды].

Высокая аридизация условий выращивания, в которых расположен экспериментальный участок, требует обустройства орошения. В связи с этим экспериментальные насаждения еженедельно орошались нормой от 50 до 160 м<sup>3</sup>/га в зависимости от варианта опыта, капельными линиями с эмиттерами 1,1 л/час, расстоянием между эмиттерами 0,30 м (NETAFIM, Израиль). Уходные мероприятия в питомнике проводились согласно общепринятым технологиям ухода, при выращивании посадочного материала (разрыхление междурядий, войну с вредителями, заболеваниями, сорняками, а также отрезку поросли).

Для изучения на опытный участок весной 2016 года были высажены сеянцы вишни магалебской в качестве подвойного материала. Материал был привит в питомнике сортом Василиса, выращенные саженцы в дальнейшем были высажены на постоянное место в сад.

*Водный режим почвы:* А<sub>1</sub> – влажность почвы в слое 0,4 м в течение вегетации поддерживалась поливами не ниже 80% НВ (контроль);

А<sub>2</sub> – то же (80% НВ) в течении первого периода вегетации в слое 0,2 м с последующим увеличением с периода активного прироста до вызревания саженцев глубины регулируемого поливами слоя почвы до 0,4 м;

А<sub>3</sub> – поддержание влажности почвы по схеме варианта А<sub>2</sub> до завершения второго периода вегетации с последующим снижением предполивной влажности в третьем периоде в слое 0,4 м до 70% НВ.

*Регулирование пищевого режима вегетирующих саженцев:* В<sub>1</sub> – в первом периоде через каждые 10 дней трехкратная подкормка N<sub>10</sub>P<sub>5</sub> кг д.в./га, во втором периоде – N<sub>10</sub> кг д.в./га двукратно через 14 дней (контроль);

В<sub>2</sub> – в первом периоде подкормки по схеме варианта В<sub>1</sub>, во втором периоде через 14 суток две обработки саженцев по листу биостимулятором роста Изабион дозой - 2 л/га, растворенной в 300 л воды;

В<sub>3</sub> – в первоначальном этапе подкормки согласно схеме В<sub>1</sub>, во 2-ой этапе 3 подкормки смесью «Мастер» (NPK 18:18:18+3МЭ) четырнадцать дней порцией 5 кг/га, растопленных в размере вода вычисленной поливаемый общепризнанных мерок. Корневые подкормки (N10P5, N10, а также «Мастер») сочетались вместе с поливами.

Поливные нормы по вариантам определяли расчетным способом с учетом водно-физических свойств, предполивной влажности и глубины промачивания почвы по формуле А.Н. Костякова в модификации для капельного орошения И.П. Кружилина и др. [Пат. 2204241]:

Экономическую эффективность рассчитывали согласно технологическим картам.

### Результаты и обсуждение

Концепция финансовых характеристик взращивания саженцев черешни, согласно исследуемым нами альтернативам орошения, а также роттизитовых подкормок, велась согласно себестоимости товарной продукции, получаемой с осуществления ее дохода, а также степени рентабельности. В экономических расчетах стоимости в расходы, согласно выращиванию саженцев, а также реализации приобретенного продукта, воспринимались цены сформировавшиеся в лето 2020 гг.

Состав расходов согласно закупке подвойно-привойного использованного материала, а также осуществлению определенных научно-технических действий, введенных в заметку «прочие расходы», приведены в таблице 1.

Таблица 1.

#### Структура затрат по закупке подвойно-привойного материала и выполнению технологических операций в питомнике

№ п/п	Статья расходов	Сумма, тыс.руб.
1	Закупка подвойно-привойного материала (55000 шт./га)	440,00
2	Выполнение прививки на подвой	10,00
3	Стоимость расходных материалов	14,00
4	Стоимость гербицидной обработки	4,488
5	Обработка питомника от вредителей и болезней	40,00
	Итого:	508,488

Итоги проведения финансовой производительности возделывания саженцев черешни, согласно разным альтернативам малого орошения, роттизитовых подкормок показаны в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показал, что производственные расходы менялись согласно альтернативам навыка, а также непосредственно находились в зависимости от размера производимых трудов. В текстуру расходов в разведение саженцев включали, наравне с непосредственными затратами, содержащими в себе осуществление трудов предустановленных научно-технической картой – приобретение подвойного использованного материала, заработная оплата, сервис питомника, а также не прямые (мнимые затраты, амортизацию а также др.).

Таблица 2.

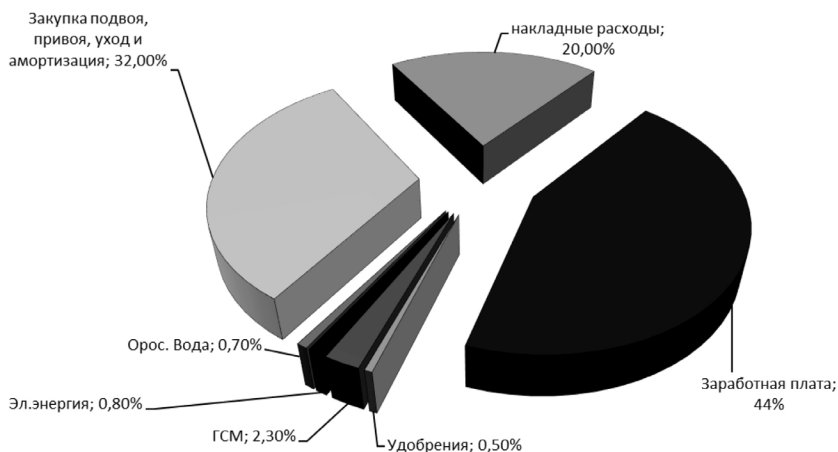
**Показатели экономической эффективности выращивания  
саженцев черешни в плодовом питомнике по вариантам капельного  
орошения и видам минеральных подкормок**

Показатели	Варианты опыта								
	А <sub>1</sub> (κ)			А <sub>2</sub>			А <sub>3</sub>		
	В <sub>1</sub> (κ)	В <sub>2</sub>	В <sub>3</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>3</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>3</sub>
Выход плодовых саженцев, тыс. шт./га	33,848	36,448	36,132	38,313	40,099	40,114	38,810	40,340	40,233
Оросит. вода, тыс. руб.	20,100	20,100	20,100	21,300	21,300	21,300	19,08	19,08	19,08
Удобрения, тыс. руб.	8,300	14,300	13,250	8,300	14,300	13,250	8,300	14,300	13,250
ГСМ и электроэнергия, тыс. руб.	62,0	63,5	62,0	62,3	63,8	62,3	61,7	63,2	61,7
Хранение саженцев, тыс. руб.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Заработная плата, тыс. руб.	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0
Прочие затраты, включая амортизацию, тыс. руб.	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00	800,00
Накладные расходы, тыс. руб.	438,4	439,6	439,4	438,7	439,9	439,6	438,1	439,4	439,1
Всего затрат, тыс. руб.	2627,5	2636,2	2633,5	2629,3	2638,0	2634,9	2625,91	2634,7	2631,83
Получено саженцев 1 сорта, тыс. шт./га	23,657	30,869	30,917	28,634	35,552	35,565	29,512	37,436	37,330
Получено саженцев 2 сорта, тыс. шт./га	10,191	5,579	5,215	9,679	4,547	4,549	9,298	2,904	2,903
Цена реализации саженцев 1 сорта, руб./шт.	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0	170,0
Цена реализации саженцев 2 сорта, руб./шт.	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0	120,0
Выручка от реализации саженцев 1 сорта, тыс.руб.	4021,7	5247,73	5255,9	4867,78	6043,84	6046,05	5017,04	6364,12	6346,1
Выручка от реализации саженцев 2 сорта, тыс.руб.	1222,92	669,48	625,8	1161,48	545,64	545,9	1115,58	348,48	348,36
Общая выручка от реализации саженцев, тыс. руб.	5244,62	5917,2	5881,7	6029,26	6589,48	6591,9	6132,8	6712,6	6694,46
Себестоимость 1 саженца, руб.	77,6	72,3	72,9	68,6	65,8	65,7	67,7	65,3	65,4
Прибыль, тыс. руб.	2617,12	3281,0	3248,2	3399,96	3951,48	3957,0	3506,89	4077,9	4062,63
Прибыль на 1 руб. затрат, руб.	0,99	1,24	1,23	1,30	1,49	1,50	1,34	1,55	1,54
Уровень рентабельности, %	99	124	123	130	149	150	134	155	154

Расходы на разведение саженцев черешни в абсолютно всех вариантах менялись в границах с 2625,9 вплоть до 2638,0 тыс. руб. Оптимальные характеристики финансовой производительности взращивания саженцев

сформировались из-за результата уменьшения количества поливов в промежуток вызревания основного отростка, снижения длительности данного времени, а также повышения количества первоклассных саженцев на 3-ем году.

Единая совокупность расходов в разведение саженцев черешни согласно вариантам показала небольшие отличия, с 2625,91 тыс. (А3В1) вплоть до 2638,0 тыс. (А2В2). Состав расходов показан нами согласно, более экономически доходному, а также подходящему третьему виду орошения в комбинации вместе с подкормкой биопрепаратом Изабион (рис. 1).



**Рис. 1.** Состав расходов в разведение саженцев черешни согласно варианту А3В2

На рисунке 1 очевидно, то, что доминирующее место в структуре расходов занимает заработная плата (44 %), а кроме того затраты на покупку изначального, с целью закладки питомника, использованного материала. Затраты на амортизацию содержали в себе отчисления компенсации цены приобретения концепции малого орошения, автомобилей, а также работников организации. Расходы на оросительную воду собирали 0,7% от единой составляющей суммы средств и расходов в разведение саженцев. Наименьшая роль в структуре расходов относится к удобрениям. На их долю в целом ушло 0,5 % с единых расходов.

Минимальный доход получен на варианте А1В1, где получено 2,617 миллионов. руб. В данном варианте существовала наибольшая первоначальная стоимость изготовления 1-го саженца – 77 руб. Первоначальная

стоимость саженцев зависела от выхода числа товарных саженцев, а также в первую очередь и в целом первосортных. В других альтернативах навыка расходы денег, в расчете на приобретение 1-го саженца, также изменялись в границах с 65,3 вплоть до 72,9 руб. на единицу растения.

Более значительный доход получен в комбинации 3 вида орошения в сравнении с другими, а также 3 вариациями роттизитовых подкормок (А3В2, а также А3В3). Прибыль составила 4,077 миллионов, а также А3В3 - 4,062 миллионов. руб. вместе с 1 га питомника. Схожая к ней А2В2 - 3,951 миллионов, а также А2В3 - 3,957 миллионов. руб. с 1 га, доход получен во 2 виде орошения, а также в комбинации с 2-ой и третьей схемой использования роттизитовых подкормок вегетирующих саженцев. Но разведение саженцев согласно, такого рода технологическим процессам орошения, сопряжено вместе с риском наиболее запоздалого перехода их к фазе покоя, а также уменьшения в результате данного свойства первосортности посадочного использованного материала.

Существенное воздействие на финансовые характеристики производительности взращивания саженцев проявило воздействие увеличения свойства получаемых саженцев присутствие различных гидрофитных систем земли, а также роттизитовых подкормах, в характерные черты повышение числа первоклассных. Таким образом, в альтернативах А1В1 (контроль), А2В1 а также А3В1 число второразрядных саженцев существовало максимальным, по этой причине прибыль с их реализации составила с 1115,58 вплоть до 1222,92 тыс. руб. В альтернативах вместе с использованием стимуляторов увеличения а также групповых удобрений число саженцев 2-го вида стремительно сжималось, макро- а также микроэлементы, находящиеся в веществах Изабион а также Мастер, содействовали переходу их в ряд первоклассных. Минимальное число саженцев 2-го вида существовало в альтернативах А3В2 а также А3В3.

Как очевидно из выше приведенных данных, более экономически выигрышно разведение саженцев при комбинации дифференцированного гидрофитного порядка земли с поддержанием влаги не ниже 80 % НВ в сферах 0,2, а также 0,4 м вплоть до перехода их в основание фазы спокойствия вместе с дальнейшим уменьшением предполивной влаги до 70 %, в комбинации с использованием роттизитовых подкормок вегетирующих растений согласно схеме В2 либо В3. Степень рентабельности в данных альтернативах собрал в А3В2 - 155%, что перевалило проверочный вид А1В1 в 56%, а также 154% в виде А3В3.

Таким образом, итоги изучений дают возможность заключить итог, что разведение саженцев черешни в питомнике при присутствие малом орошении, вместе с использованием стимуляторов, увеличивает экономиче-

скую доходность, являясь экологично безвредным, а также гарантирует приобретение рентабельности вплоть до 155 %. Согласно сопоставлению вариантов А1В1, а кроме того использование стимуляторов увеличения роста, а также групповых удобрений степень рентабельности согласно альтернативам орошения возрастал с 25 до 56 %. Анализ финансовой производительности взращивания одногодичных саженцев черешни с присутствием малого орошения в условиях Волгоградской области показал, что предлагаемый нами водяной порядок вместе с использованием подкормок веществами, включающими наравне с макро и микроэлементы гарантирует увеличение выхода обычных саженцев, согласно сопоставлению вместе с контролем в 17% присутствие увеличении рентабельности повышается с 99 вплоть до 155%.

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

#### *Список литературы*

1. Алейник С.Н., Колесников А.В. Влияние природно-климатических условий на эффективность сельскохозяйственного производства // Вестник агропромышленного комплекса Ставрополя. 2015. №1(17). С. 268-274.
2. Алехина Е., Доля Ю. Методика определения потенциальной продуктивности сортов вишни // Плодоводство и виноградарство на Юге России. 2013. №24(06). С. 10-17.
3. Гудковский В.А., Кожина Л.В., Назаров Ю.Б. Научно-практические основы повышения эффективности садоводства и ускорения импортозамещения плодов яблони в России. Повышение эффективности отечественного садоводства с целью улучшения структуры питания населения России (материалы научно-практической конференции 4-6 сентября в Мичуринске Томской области) Мичуринск - наукоград Российской Федерации. 2016, С. 21-46.
4. Доспехов Б. Методика полевых экспериментов. Изд. 5-е, доп. и переработано. М.: Альянс. 2014. 351 с.
5. Дуплекс Н. Н., Семенов А. В., Лебедев А. В. Потребление влаги саженцами сливы при капельном орошении в центральной нечерноземной зоне России // Журнал агрономии и животноводства РУДН. 2020. №15(2). С.191-199.
6. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А., Оценка состояния и перспективы развития виноградарства и питомниководства в Российской Федерации // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2020. № 61 (1). С. 1-15. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-1-61-1-15>

7. Еремин Г.В., Чепинога И.С., Сафаров Р.М. Биологические особенности размножения одревесневшими черенками форм Антипка в связи с их использованием в качестве клонового подвоя для черешни и черешневок // Выращивание фруктов и ягод в России. 2017. №49. С. 116-120.
8. Журавлева Е.В., О научном обеспечении развития питомниководства России // Садоводство и виноградарство. 2018. № 2. С. 5-7. <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12254>
9. Каталог паспортов доноров и источников селекции - значимых признаков косточковых культур / Еремин Г., Солонкин А., Еремина О., Смирнова Е, Чепинога И.; Федеральный исследовательский центр агроэкологии Российской академии наук. 2018. 76 с.
10. Криничная Е.П. Современное состояние отрасли селекции и семеноводства в России: ключевые проблемы и направления их решения // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11. № 4. С. 245-265. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-4-245-265>
11. Кружилин И.П., Никольская О.А. Обоснование водного режима почвы и регулирование капельного орошения саженцев черешни // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №2. С. 9-13.
12. Куликов И.М. Актуальные проблемы инновационного развития садоводства в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2012. №2. С. 9-14.
13. Кузнецова Н.Е. К вопросу о прорастании семян и выращивании саженцев хвойных деревьев // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина Российской академии наук. 2020. №15. С. 38-41.
14. Парахин Н.В. Современное садоводство в России и перспективы развития отрасли // Современное садоводство. 2013. №2. С. 1-8.
15. Патент 2204241 Российская Федерация, IPC A01G 25/02. Способ определения поливных норм для капельного орошения томатов / И.П. Кружилин, А.М. Салдаев, Ю.И. Кружилин, Е.А. Ходяков, А.В. Галда // заявитель и патентообладатель Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия. № 2001128337/13; заявка № 18.10.01; опубл. 20.05.03, Бул. № 14. 5 с.
16. Седов Е., Огольцова Т. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур: под общ. ред. Академик РААСХН-ОРЕЛ: Издательство Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур. 1999, 608 с.
17. Солонкин А., Семенютин А., Никольская О., Киктева Е. Оценка засухоустойчивости и жаростойкости сортов и форм косточковых культур в



- условиях Волгоградской области // Вестник Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. №4(56). С. 55-64.
18. Трухачев В.И., Есаулко А.Н., Айсанов Т.С., Анализ состояния отрасли питомниководства плодово-ягодных культур на юге России и перспективы ее развития // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 2 (38). С. 164-170.
  19. Ханмагомедов С.Г., Алиева П.И., Кудаева Б.Ш. Факторы и методы оценки экономической эффективности агропроизводства // Современные проблемы садоводства и виноградарства и инновационные подходы к их решению. сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Героя соц. труда, профессора, академика АТН Н.А. Алиева. 2016. С. 281-286.
  20. Korneeva E.A. Economic assessment and management of agroforestry productivity from the perspective of sustainable land use in the south of the Russian plain // *Forests*. 2022. Vol. 13. № 2. <https://doi.org/10.3390/f13020172>
  21. Solonkin A., Nikolskaya O., Semichenko E. The effect of low-growing rootstocks on the adaptability and productivity of sour cherry varieties (*Prunus cerasus* L.) in arid conditions // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8(5), 400. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050400>

### References

1. Aleinik S.N., Kolesnikov A.V. Influence of natural and climatic conditions on the efficiency of agricultural production. *Vestnik agropromyshlennogo kompleksa Stavropol'ya* [Bulletin of agroindustrial complex of Stavropolya], 2015, no. 1(17), pp. 268-274.
2. Alekhina E., Dolya Y. Methodology for determining the potential productivity of cherry varieties. *Plodovodstvo i vinogradarstvo na Yuge Rossii* [Fruit growing and viticulture in the South of Russia], 2013, no. 24(06), pp. 10-17.
3. Gudkovskiy V.A., Kozhina L.V., Nazarov Y.B. Scientific and practical basis for improving the efficiency of horticulture and accelerating the import substitution of apple fruits in Russia. Increasing the efficiency of domestic horticulture to improve the nutritional structure of the Russian population (proceedings of the scientific and practical conference on September 4-6 in Michurinsk, Tomsk region) Michurinsk - science city of the Russian Federation. 2016, pp. 21-46.
4. Dospekhov B. *Methodology of field experiments*. Moscow: Alliance Publ., 2014, 351 p.
5. Duplex N. N., Semyonov A. V., Lebedev A. V. Moisture consumption by plum seedlings under drip irrigation in the central non-black earth zone of Russia.

- Zhurnal agronomii i zhivotnovodstva RUDN* [Journal of agronomy and animal husbandry RUDN], 2020, no. 15(2), pp. 191-199.
6. Egorov E.A., Shadrina J.A., Kochyan G.A., Assessment of the state and prospects for the development of viticulture and nursery farming in the Russian Federation. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii* [Fruit growing and viticulture of the South of Russia], 2020, no. 61 (1), pp. 1-15. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-1-61-1-15>
  7. Eremin G.V., Chepinoga I.S., Safarov R.M. Biological features of propagation by single-tree cuttings of Antipka forms in connection with their use as a clonal rootstock for cherry and cherry trees. *Vyrashchivanie fruktov i yagod v Rossii* [Growing fruits and berries in Russia], 2017, no. 49, pp. 116-120.
  8. Zhuravleva E.V. On scientific support for the development of nursery production in Russia. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* [Gardening and viticulture], 2018, no. 2, pp. 5-7. <https://doi.org/10.25556/VSTISP.2018.2.12254>
  9. Eremin G., Solonkin A., Eremina O., Smirnova E., Chepinoga I. *Catalog of passports of donors and sources of selection - significant traits of stone fruit crops / Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences*. 2018. 76 c.
  10. Krinichnaya E.P. Current state of the breeding and seed production industry in Russia: key problems and directions of their solution. *Melioratsiya i gidrotekhnika* [Melioration and Hydraulic Engineering], 2021, vol. 11, no. 4, pp. 245-265. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2021-11-4-245-265>
  11. Kruzhilin I.P., Nikolskaya O.A. Justification of soil water regime and regulation of drip irrigation of cherry seedlings. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* [Russian Agricultural Science], 2021, no. 2, pp. 9-13.
  12. Kulikov I.M. Actual problems of innovative development of horticulture in Russia. *Mezhdunarodny sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* [International Agricultural Journal], 2012, no. 2, pp. 9-14.
  13. Kuznetsova N.E. To the question of seed germination and cultivation of coniferous tree seedlings. *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N.V. Tsitsina Rossiyskoy akademii nauk* [Scientific Proceedings of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences], 2020, no. 15, pp. 38-41.
  14. Parakhin N.V. Modern horticulture in Russia and prospects for the development of the industry. *Sovremennoe sadovodstvo* [Modern Horticulture], 2013, no. 2, pp. 1-8.
  15. Patent 2204241 Russian Federation, IPC A01G 25/02. Method for determining irrigation rates for drip irrigation of tomatoes / I.P. Kruzhilin, A.M. Saldaev, Y.I.

- Kruzhilin, E.A. Khodiakov, A.V. Galda / applicant and patentee All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture. No. 2001128337/13; application No. 18.10.01; published 20.05.03, Bul. No. 14. 5 с.
16. Sedov E., Ogoltsova T. *Program and methodology of varietal studies of fruit, berry and nut crops*. All-Russian Research Institute of Fruit Crops Breeding Publ., 1999, 608 p.
  17. Solonkin A., Semenyutina A., Nikolskaya O., Kikteva E. Evaluation of drought resistance and heat resistance of varieties and forms of stone fruit crops in the conditions of the Volgograd region. *Vestnik Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Nizhnevolzhsk agro-university complex: Science and higher professional education], 2019, no. 4(56), pp. 55-64.
  18. Trukhachev V.I., Esaulko A.N., Aysanov T.S., Analysis of the state of the nursery industry of fruit and berry crops in the south of Russia and prospects for its development. *Problemy razvitiya APK regiona* [Problems of development of agro-industrial complex of the region], 2019, no. 2 (38), pp. 164-170.
  19. Khanmagomedov S.G., Alieva P.I., Kudayeva B.S. Factors and methods of assessing the economic efficiency of agricultural production. *Modern problems of horticulture and viticulture and innovative approaches to their solution. Collection of scientific papers of the international scientific-practical conference dedicated to the 85th anniversary of Hero of Socialist Labor, Professor, Academician of ATN N.A. Aliyev*. 2016, pp. 281-286.
  20. Korneeva E.A. Economic assessment and management of agroforestry productivity from the perspective of sustainable land use in the south of the Russian plain. *Forests*, 2022, vol. 13, no. 2. <https://doi.org/10.3390/f13020172>
  21. Solonkin A., Nikolskaya O., Seminchenko E. The effect of low-growing rootstocks on the adaptability and productivity of sour cherry varieties (*prunus cerasus* L.) in arid conditions. *Horticulturae*, 2022, vol. 8(5), 400. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050400>

### ВКЛАД АВТОРОВ

- Никольская О.А.:** концептуализация, методология, ресурсы, написание – обзор и редактирование, визуализация, приобретение финансирования.
- Семинченко Е.В.:** методология, формальный анализ, написание – черновая подготовка, обзор и редактирование, визуализация, приобретение финансирования.
- Солонкин А.В.:** концептуализация, методология, ресурсы, написание – обзор и редактирование, визуализация, приобретение финансирования.
- Все авторы прочитали и приняли участие в улучшении текста рукописи.

### AUTHORS CONTRIBUTIONS

**Olga A. Nikolskaya:** conceptualization, methodology, resources, writing – review and editing, visualization, acquisition of financing.

**Elena V. Seminchenko:** methodology, formal analysis, writing – rough preparation, review and editing, visualization, acquisition of financing.

**Andrey V. Solonkin:** conceptualization, methodology, resources, writing - review and editing, visualization, acquisition of financing.

All authors have read and participated in improving the text of the manuscript.

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Никольская Ольга Алексеевна**, кандидат сельскохозяйственных 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» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*

**Семи́нченко Елена Валерьевна**, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*

**Солонкин Андрей Валерьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Olga A. Nikolskaya**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery  
*Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences)*  
97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation  
elka-nikolskaya@mail.ru  
SPIN-code: 6656-6935  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1337-7101>  
Scopus Author ID: 57219087700

**Elena V. Seminchenko**, Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery  
*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences*  
97, Universitetskiy prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation  
eseminchenko@mail.ru  
SPIN-code: 2756-2340  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-9563>  
Scopus Author ID: 57222146275

**Andrey V. Solonkin**, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery  
*Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences)*  
97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation  
solonkin-a@yfac.ru  
SPIN-code: 8724-5383  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>  
Scopus Author ID: 57219094230

Поступила 27.06.2023

После рецензирования 16.07.2023

Принята 20.07.2023

Received 27.06.2023

Revised 16.07.2023

Accepted 20.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-716

УДК 633.11



Научная статья | Агрохимия и агропочвоведение

## ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ

*И.А. Массалимов, А.Х. Шакирзянов, Б.И. Массалимов*

**Обоснование.** Проблема дефицита минеральных веществ решается внесением в почву основных видов удобрений: азота, калия и фосфора. Но в настоящее время твердо установлено, что еще одним наиболее востребованным макроэлементом является сера — важный элемент питания растений, которая улучшает усвоение соединений азота сельскохозяйственными культурами и обеспечивает ее высокое качество. В статье представлены результаты предпосевной и некорневой обработки наночастицами серы на урожайность и качество зерна мягкой яровой пшеницы на различных стадиях роста.

**Цель.** Целью исследования является оценка влияния предпосевной и некорневой обработки наночастицами серы на урожайность и качество зерна мягкой яровой пшеницы сорта «Экада» на различных стадиях роста.

**Материалы и методы.** В качестве источника наночастиц серы использован препарат на основе полисульфида кальция, разведением которого до концентрации 2% получают гидрозоль серы. Размеры частиц серы определяли с помощью лазерного анализатора размеров частиц и зондового микроскопа, а фазовый рентгеновский анализ проведен на дифрактометре. В работе использовалась мягкая яровая пшеница «Экада 70», характеристики которой определяли с помощью лабораторного и полевого опыта, который проводился по полностью рандомизированной блочной схеме с трехкратной повторностью.

**Результаты.** Установлено, что обработка пшеницы наночастицами серы на всех стадиях роста привела к улучшению основных показателей пшеницы, в том числе привела к получению более высокой урожайности и увеличению содержания белка в зерне пшеницы.

**Заключение.** Испытания в лабораторных и полевых условиях показали, что обработка мягкой пшеницы препаратом на основе полисульфида кальция оказывает положительное воздействие на все основные характеристики,

начиная с всхожести и количества продуктивных стеблей и завершая урожайностью и содержанием белка. Препарат может быть рекомендован к применению в качестве экологически безопасного продукта стимулирующего рост растения и повышающего урожайность и качество пшеницы.

**Ключевые слова:** сера; наночастица; полисульфид; пшеница; урожайность; белок

**Для цитирования.** Массалимов И.А., Шакирзянов А.Х., Массалимов Б.И. Влияние листовой обработки наночастицами серы на урожайность пшеницы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 119-143. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-716

Original article | Agrochemistry and Agricultural Soil Science

## EFFECT OF FOLIAR TREATMENT WITH SULFUR NANOPARTICLES ON WHEAT YIELD

*I.A. Massalimov, A.Kh. Shakirzyanov, B.I. Massalimov*

**Background.** The problem of mineral deficiency is solved by introducing the main types of fertilizers into the soil: nitrogen, potassium and phosphorus. But at present, it is firmly established that sulfur is another most demanded macronutrient – an important element of plant nutrition, which improves the absorption of nitrogen compounds by agricultural crops and ensures its high quality. The article presents the results of pre-sowing and foliar treatment with sulfur nanoparticles on the yield and grain quality of soft spring wheat at various stages of growth.

**Purpose.** The aim of the study is to evaluate the effect of presowing and foliar treatment with sulfur nanoparticles on the yield and grain quality of soft spring wheat of the Ekada variety at various stages of growth.

**Materials and methods.** As a source of sulfur nanoparticles, a preparation based on calcium polysulfide was used, which, diluted to a concentration of 2%, leads to obtaining sulfur hydrosol. The sulfur particle sizes were determined using a laser particle size analyzer and a probe microscope, and the X-ray phase analysis was carried out on a diffractometer. We used soft spring wheat “Ekada 70”, the characteristics of which were determined using laboratory and field experiments, which were carried out according to a completely randomized block scheme with three repetitions.

**Results.** *It was found that the treatment of wheat with sulfur nanoparticles at all stages of growth led to an improvement in the main indicators of wheat, including a higher yield and an increase in the protein content in wheat grain.*

**Conclusion.** *Laboratory and field tests have shown that the treatment of soft wheat with a calcium polysulfide preparation has a positive effect on all key characteristics, from germination and number of productive stems to yield and protein content. The drug can be recommended for use as an environmentally friendly product that stimulates plant growth and increases the yield and quality of wheat.*

**Keywords:** *sulfur; nanoparticles; polysulfide; wheat; productivity; protein*

**For citation.** *Massalimov I.A., Shakirzyanov A.Kh., Massalimov B.I. Effect of Foliar Treatment with Sulfur Nanoparticles on Wheat Yield. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 119-143. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-716*

## Введение

Проблема дефицита минеральных веществ решается внесением в почву основных видов удобрений: азота, калия и фосфора. Но в последнее время выяснилось, что еще одним наиболее востребованным макроэлементом наряду с азотом, калием и фосфором является сера – важный элемент питания растений [13]. Это объясняется тем, что она входит в состав белков, витаминов, участвует в формировании большинства ферментов, масел, играет важную роль в окислительно-восстановительных реакциях культур. Сера улучшает усвоение соединений азота сельскохозяйственными культурами и предотвращает образование небелковых форм азотистых соединений (нитратов, нитритов и др.) в товарной продукции, чем и обеспечивает ее высокое качество. В настоящее время установлено, что дефицит серы существенно влияет на качество и количество урожая всех культур, в том числе основных продуктов питания, таких как злаковые, бобовые и масличные культуры [1,10].

Применение серы совместно с азотом традиционным способом внесением в почву эффективно, улучшает количество и качество урожая, а потому применяется давно [9, 12, 16, 20, 22, 24].

Но в последнее время все большую популярность приобретает, наряду с внесением в почву этих удобрений, листовая обработка, т. е. опрыскивание. Листовая обработка растений на определенных стадиях позволяет создавать благоприятные условия для развития растений. Степень и скорость усвоения элементов питания через листву значительно выше, чем при внесении удобрений в грунт. Кроме того, листовая обработка позво-



ляет проводить некоторые подкормки тогда, когда активность корневой системы со временем угасает [8,15]. В качестве серосодержащих подкормок для листовой обработки обычно используют растворимые сульфаты ( $MgSO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $(NH_4)_2SO_4$ ) и тиосульфаты ( $K_2S_2O_3$ ,  $Ca_2S_2O_3$ ,  $(NH_4)_2S_2O_3$ ), т. е. те же соединения, которые вносились в почву при традиционном способе использования удобрений.

Дефицит серы в почве также становится глобальной проблемой, потому что вызывает снижение эффективности использования азота (ЭИА) и увеличение количества сообщений о проблемах со здоровьем, связанных с белком пшеницы. В [23] использовались полевые и тепличные эксперименты для изучения воздействия серных удобрений на почву с дефицитом серы. Показано, что добавление серы увеличивало ЭИА более чем на 20%, авторы пришли к выводу, что дефицит серы в современных системах ведения сельского хозяйства не только оказывает глубокое негативное влияние на производительность, но и влияет на здоровье населения. В работе [18] было проведено изучение влияния внекорневой и почвенной подкормки чистой серой (0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 ppm) на вегетативный рост, урожайность и фотосинтез пигменты в листьях пшеницы. Результаты показали, что вегетативный рост и урожайность параметры (количество побегов/растение, количество листьев/растение, площадь флагового листа/растение, количество колос/растение, масса колоса, количество зерен, масса зерна и сухая масса побегов) были увеличены значительно при концентрации 15 и 20 ppm серы по сравнению с контрольными растениями. Применение серы для листьев и почвы значительно увеличило содержание хлорофилла «а», хлорофилла «b», общего хлорофилла в листьях и содержания азота и белка в семенах с увеличением концентрации серы. Чтобы оценить вклад азота и серы в почву и внекорневую подкормку на оценку качества пшеницы, была проведена полевые эксперименты с четырехкратной повторностью и восемью различными обработками комбинаций азота и серы, распределенных по участкам на разных стадиях роста [17]. В качестве источника азота применялась мочевина, а в качестве источник серы применяли сульфата аммония. Результаты показали, что самое высокое качество пшеницы можно получить сочетанием почвенной и некорневой обработки. В работе [21] ставилась задача, может ли внесение азота и серы в озимую пшеницу на стадии цветения во время двух полевых испытаний влиять на поглощение и распределение азота и серы в зерне и хлебопекарных качествах муки. С использованием метода масс-спектрометрии изотопов N и S обнаружено, что максимальный эффект наблюдается при одновременном внесении удо-

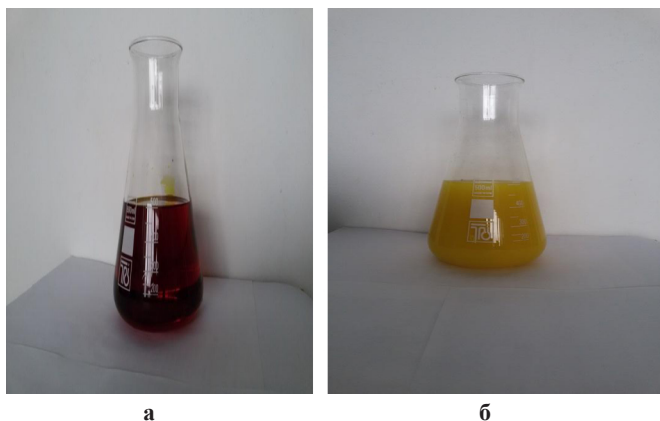
брений азота и серы. Установлено что синергетический эффект между внекорневыми азотными и серными удобрениями, по-видимому, увеличивает усвоение азота и серы зерном и может улучшить хлебопекарные качества.

Таким образом, листовая обработка растений пшеницы существенно и положительно влияет на качество и количество урожая. В связи с этим работе исследована эффективность препарата на основе полисульфида кальция посредством лабораторных и полевых испытаний на пшенице сорта Экада-70. В нашей работе исследовано предпосевной обработки семян и листовой обработки растений препаратом, содержащим полисульфид кальция, который при разбавлении водой, как показали результаты [3-5, 14] генерирует наночастицы серы.

## Материалы

### 1. Характеристики препарата

В качестве препарата использован состав на основе полисульфида кальция [2], который представляет собой прозрачный раствор темно красного цвета плотностью  $\rho=1,24 \text{ г/см}^3$  (рис. 1а). Рабочую жидкость готовили для листовой обработки разбавлением препарата до 2% концентрации при этом образовывалась дисперсия – гидрозоль серы (рис. 1б), а для протравливания использовалась рабочая жидкость 10% концентрации.



**Рис. 1.** Изображение раствора полисульфида кальция (а) и рабочей жидкости, полученной разбавлением раствора полисульфида кальция (б).

Характеристики частиц (размеры и их форма) были оценены с помощью лазерного анализатора размеров частиц Shimadzu Wing SALD 7101

и зондового микроскопа Solver PRO-M, а фазовый рентгеновский анализ проведен на дифрактометре BRUKER D2 PHASER. Для анализа распределения рабочей жидкости по поверхности использовался оптический микроскоп.

## **2. Характеристики пшеницы**

В работе использовалась мягкая яровая пшеница «Экада 70», рекомендованная к применению [6], средний уровень урожайности в Уральском регионе 19,8 ц/га. Колос цилиндрический, средней плотности, белый с короткими или средней длины остевидными отростками на конце. Зерновка окрашенная. Масса 1000 зерен от 32 до 46 грамм. Разновидность лютеценс. Среднеустойчив к полеганию. Засухоустойчивость средняя. Ценная пшеница. Масса 1000 зёрен 32-46 г. Содержание клейковины до 36%, белка до 17,6%. Средняя урожайность в Уральском регионе 19,8 ц/га.

## **3. Характеристики места проведения эксперимента**

Место проведения: Россия, Республика Башкортостан, опытный участок Башкирского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Агрохимическая характеристика почвы (опытного участка)

Почва: чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистого механического состава.

Климатические условия относят территорию к зоне рискованного земледелия, характеризуются жарким летом и холодной зимой. Средняя годовая температура воздуха составляет +4,1°C. Продолжительность периода с температурой выше 0°C составляет 150 дней, выше +10°C – 137 дней. Снег держится в среднем 150 дней. Высота снежного покрова к концу зимы бывает 20 - 30 см. Полное оттаивание почвы наступает в третьей декаде апреля. Среднегодовое количество осадков составляет 310-335 мм, из них за май-июнь 55-70 мм, а за вегетационный период – 164-167 мм. В переходные периоды года – весной и осенью создаётся пониженный температурный режим. Наблюдаются резкие колебания температуры воздуха не только в годовом ходе, но и в суточном. Кроме того, выпадение осадков тоже изменчиво как в годовом цикле, так и по сезонам. Летом устанавливается жаркая и сухая погода, что резко снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Гидротермический коэффициент увлажнения (ГТК Hydrothermal moisture coefficient), характеристика уровня влагообеспеченности территории составляет в среднем за вегетацию 0,8, а в отдельные годы снижается до 0,4- 0,5.

Таблица 1.

**Агрохимическая характеристика почвы опытного участка**

Показатели	Чернозём обыкновенный
Гумус по Тюрину, %	6,28
Азот валовой, %	0,354
Азот щёлочногидролизуемый, мг/кг	272
Фосфор валовой, %	0,122
Фосфор подвижный, мг/100 г почвы	3,6
Степень подвижности фосфора, мг/л	0,04
Калий обменный, мг/100 г почвы	21,5
Кислотность обменная (pHкcl)	6,08
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	2,07
Сумма поглощ. оснований, мг-экв/100 г	36,9
Поглощённый кальций, мг-экв/100 г	21,2
Поглощённый магний, мг-экв/100 г	3,6
Степень насыщенности основаниями, %	93

**4. Схема опыта**

**Виды испытания:** лабораторный и полевой опыт, который проводился по полностью рандомизированной блочной схеме с трехкратной повторностью.

Рабочая жидкость для протравливания зерен готовилась разбавлением препарата разбавлением водой до концентрации 10%: к 9 литрам воды добавляли 1 литр препарата. Полученной рабочей жидкостью обрабатывали 1 тонну зерна. В случае листовой обработки рабочая жидкость готовилась разбавлением препарата водой до концентрации 2%, к 98 литрам воды добавляли 2 литра препарата. Эта рабочая жидкость наносилась опрыскиванием на растения.

**Площадь (кв. м) и расположение делянок:**

Площадь посевой делянки:  $4,0 \times 25 = 100 \text{ м}^2$ , количество повторностей в опыте – три.

Было проведено 4 варианта обработки:

1. контроль (обработка водой);
2. протравливание семян 10% препаратом, 10литров рабочей жидкости на 1 тонну зерна;
3. обработка растений 2% препаратом в фазу молочной спелости (2 л препарата на 98 л воды), 200 литров рабочей жидкости на 1 гектар;
4. обработка растений препаратом в фазу налива зерна (2 л препарата на 98 л воды), 200 литров рабочей жидкости на 1 гектар.

### **5. Агротехнические мероприятия, которые проводились до и во время эксперимента:**

1. предшественник растения, на котором проводилось испытание: яровая пшеница по чистому пару;

2. обработка почвы: вспашка на глубину 23-25 см (сентябрь), ранневсеннее боронование (май), предпосевная культивация (май);

3. внесение удобрений: азот (15 кг), фосфор (15 кг), калий (15 кг) - N15P15K15.

Норма посева семян: 5 млн. всхожих зёрен на гектар.

Способ сева: рядовой с шириной междурядий 15 см.

Наименование и сроки проведения мероприятий по уходу за посевами: химическая прополка в период кущения яровой пшеницы (гербицид Чисталан).

Технология и способ применения препаратов: поделяночное опрыскивание ранцевым опрыскивателем. Норма расхода рабочей жидкости: для листовой обработки 200 л/га, для протравливания семян 10л/т. Сроки применения препарата: предпосевная обработка зерна и посевов в фазе молочной спелости и налива зерна.

### **6. Методика проведения испытаний**

Фазы развития растений в период проведения исследований: полные всходы, кущение, колошение - цветение, полная спелость зерна. Для определения структуры урожая за один-два дня до начала уборки яровой пшеницы с каждой делянки отбирали по 4 сноповых образца. После просушки снопов определили: массу 1000 зерен и натуральный вес зерна. Уборку и учет урожая яровой пшеницы проводили самоходным комбайном прямым комбайнированием. При этом убирали всю площадь делянки. Пересчет урожая проводили на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность зерна.

### **7. Наблюдения за ростом и развитием яровой пшеницы**

Посев яровой пшеницы проводился 21 мая 2020 года. Всходы появились на 6-й день после посева (27.05.2020 г.). Предпосевная обработка и обработка посевов препаратом полисульфида кальция оказывало стимулирующее влияние на растения яровой пшеницы, несколько ускоряло наступление фенологических фаз развития.

## **Результаты**

### **1. Характеристики препарата**

В процессе приготовления рабочего раствора препарат разбавляется водой до концентраций 2%, в результате молекулы полисульфида каль-

ция разрушаются, раствор мутнеет и становится непрозрачным за счет образования частиц серы (рис. 1б), размеры которых измеряют с помощью лазерного анализатора. Лазерный анализатор позволяет определять дифференциальное и интегральное распределения по размерам частиц осадка (рис. 2а), из которого видно, что средний размер частиц составляет 20 нм. Из рис. 2а видно, что все 100% частиц серы имеют размер меньше 40 нм.

Измерения, проведенные на зондовом микроскопе, также показали значения среднего размера частиц в интервале 20-25 нм, кроме того, установлена их сферически симметричная форма (см. рис. 2б). Химический и рентгеновский дифракционный анализы порошка показали, что частицы являются элементарной серой с орторомбической структурой кристаллической решетки (рис. 3).

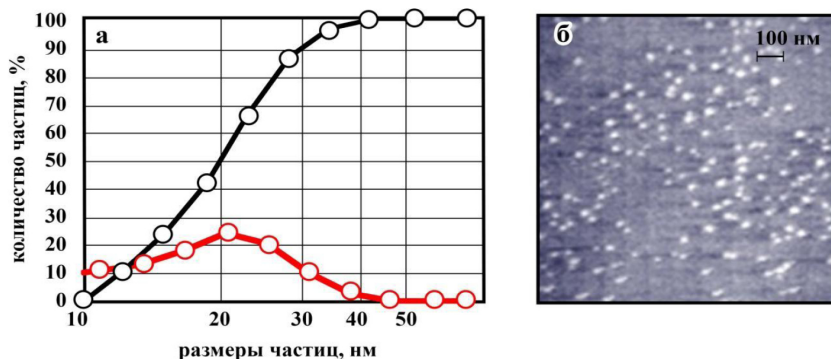


Рис. 2. Интегральное и дифференциальное распределение частиц серы, выделенных из полисульфида кальция (а) и изображение частиц серы, полученное с помощью зондового микроскопа (б)



Рис. 3. Рентгенограмма наночастиц серы, осажденных из полисульфидного раствора

При нанесении на поверхность растений препарат в виде рабочей жидкости равномерно распределяется по поверхности. Изображение разбавленного препарата на поверхности приведено на рис. 4.

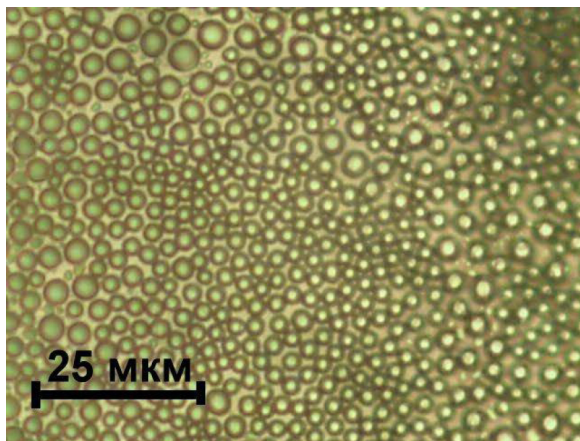


Рис. 4. Изображение поверхности стекла обработанного рабочей жидкостью

## 2. Влияние обработки препаратом на биологические параметры яровой пшеницы

В первую очередь была определена всхожесть и морфологические характеристики (длина побегов и корешков) препарата. Различают два вида всхожести: лабораторная всхожесть - определяется в лабораторных условиях и полевая всхожесть – определяется по количеству всходов непосредственно на поле, практически во всех случаях она бывает ниже лабораторной. Перед выполнением полевых испытаний были проведены лабораторные испытания, на основании которых установлена оптимальная концентрация препарата, приводящая к максимальной всхожести пшеницы. Для этой цели зерна пшеницы были обработаны препаратом различной концентрации. Для установления оптимальной концентрации для предпосевной обработки семян пшеницы препарат готовили ряд растворов из расчета 10 литров рабочей жидкости для обработки 1 тонны зерен пшеницы. В 10 литров рабочей жидкости компоненты препарат: вода входили в следующих отношениях: вода были: 0.5: 9.5, 1:9, 2:8, 3:7, 5:5 (рис.5).

По результатам исследований была установлена оптимальная концентрация, при которой получили максимальную всхожесть равную 98%, в контроле всхожесть равна 93%. Таким образом, соотношение компонент

9:1 принято в качестве оптимальной при предпосевной обработке семян (рис. 5).

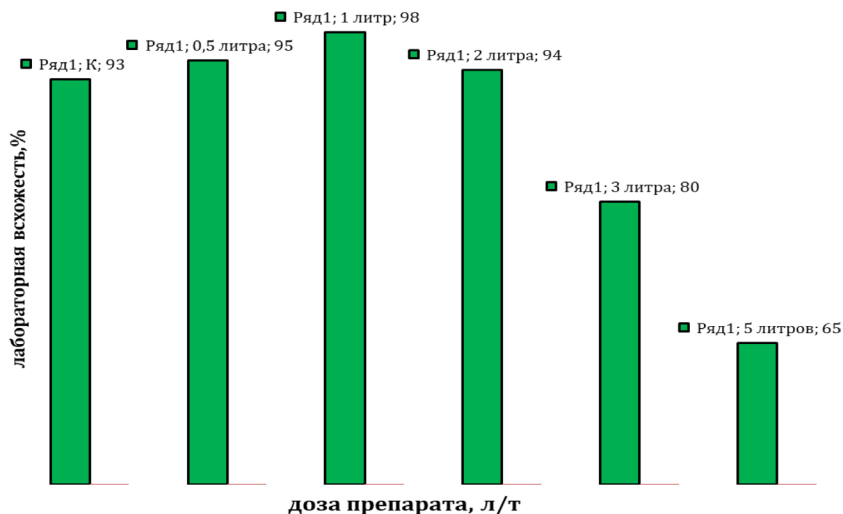


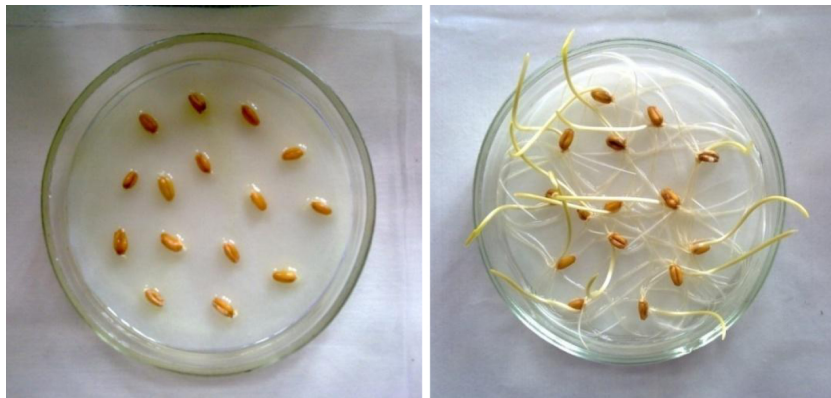
Рис. 5. Зависимость лабораторной всхожести от дозы препарата на тонну препарата

Далее для определения морфологических характеристик (длина побегов и корешков) полученные образцы рабочей жидкости раскладывали в чашки Петри по 15 зерен и заливали растворами различной концентрации и ставили в термостат при 25С (рис.6). Контрольными образцами являлись образцы зерен обработанных водой. Для каждого значения использовалось 6 чашек Петри, т.е. брали среднее по 90 измерениям. Установлено, что длина побегов и корешков сильно зависит от концентрации раствора, максимальные значения длин побегов и корешков достигает 190-200%, т.е. практически удваивается при обработке препаратом (рис.7), видно, что происходит при использовании препарата в концентрации 20 ppm.

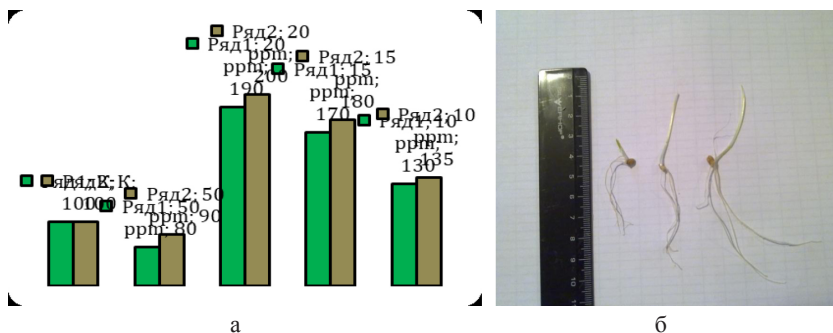
При значениях концентраций больших, чем 20 ppm наблюдались меньшие значения, чем контрольные, т. е. рост подавлялся. При значениях концентраций меньших чем 20 ppm также наблюдались меньшие значения роста побегов и корешков, из-за того что концентрация молекул серы недостаточно для стимуляции роста. Наблюдаемые на рис.7 данные показывают, что препарат обладает сильным ростстимулирующим действием, что выражается 90-100% прибавлением роста побегов и корешков. На рис.7б



изображены проросшие зерна пшеницы обработанные водой (зерно слева) и обработанные дисперсиями с концентрациями 15 ppm и 20 ppm.



**Рис. 6.** Зерна пшеницы до обработки (а) и после обработки (б) дисперсией наночастиц серы, выделенной из препарата на основе полисульфидного раствора



**Рис. 7.** Зависимость длины побегов и корешков для разных степеней разбавления (а) и изображение зерна необработанного и обработанных образцов (б)

Далее были проведены полевые испытания. В процессе выполнения работы измеряли: число всходов, полевая всхожесть, число растений к уборке, число сохранившихся растений, количество стеблей, коэффициент кушения, количество продуктивных стеблей, количество зёрен в колосе, вес зерна с 1 колоса, масса 1000 зёрен, выход зерна, выход соломы, биологическая урожайность (см. таблица 2).

Из данных таблицы 2 видно, что обработка зерна перед посевом, обработка в фазе молочной спелости и в фазе налива приводят к улучшению всех

показателей пшеницы. Наилучшие показатели полевой всхожести, процента сохранившихся растений, количества стеблей, количества продуктивных стеблей дал вариант протравливания семян. Надо отметить, что обе обработки растений в фазе молочной спелости и в фазе налива дают улучшение показателей по сравнению с контрольными показателями. В тоже время обработка растений в фазе молочной спелости дала максимальные результаты для показателей количества зёрен в колосе, веса зерна с 1 колоса, массы 1000 зёрен, выхода зерна и выхода соломы. Таким образом, обработка препаратом приводит к улучшению всех основных показателей пшеницы и показывает, что предложенный метод перспективен для использования.

Таблица 2.

**Влияние препаратов на основе полисульфида кальция на структуру урожая яровой мягкой пшеницы Экада 70**

№ п/п	Элементы структуры урожая	Контроль (без обработки)	Протравливание семян	Обработка растений в фазу молочной спелости	Обработка растений в фазу восковой спелости
1	Число всходов, шт/м <sup>2</sup>	400	405	403	402
2	Полевая всхожесть, %	80,0	81,0	80,6	80,4
3	Число растений к уборке, шт/м <sup>2</sup>	324	339	336	335
4	% сохранившихся растений	81,0	83,7	83,4	83,3
5	Количество стеблей, шт/м <sup>2</sup>	356	373	370	369
6	Коэффициент кущения	1,1	1,1	1,1	1,1
7	Количество продуктивных стеблей, шт/м <sup>2</sup>	356	373	370	369
8	Коэффициент продуктивного кущения	1,0	1,0	1,0	1,0
9	Количество зёрен в колосе, шт	16,0	16,0	16,5	16,4
10	Вес зерна с 1 колоса, г	0,51	0,53	0,58	0,56
11	Масса 1000 зёрен, г	31,7	33,3	35,1	34,4
12	Урожайность (выход зерна), ц/га	18,2	20,0	21,5	20,7
13	Выход соломы, ц/га	18,8	20,0	22,0	21,1
14	Биологическая урожайность, ц/га	37,0	40,9	43,5	41,8
15	Содержание белка, %	13,5	14,02	14,70	14,50

НСР 05 = 0,39 ц/га.

Использование препарата обеспечило более высокую урожайность яровой пшеницы. Так, протравливание зерен препаратом привело к 9,6%

увеличению урожайности, в контрольном варианте 18,2 ц/га. А обработка в фазе восковой спелости зерна повысила урожайность яровой пшеницы на 10% ц/га, по отношению урожайности в контрольном варианте. Обработка растений препаратом в фазе молочной спелости зерна дала прибавку урожайности яровой пшеницы 14,4% по сравнению с контролем и достигла 21,5 ц/га. Наряду с увеличением урожайности возрастает также такой важный показатель как содержание белка. В контрольном варианте содержание белка равно 13,5% протравливание зерен препаратом привело к увеличению содержание белка до 14,02% Обработка растений препаратом в фазе молочной спелости восковой спелости зерна привело к увеличению этого параметра до 14,70%, а обработка в фазе восковой спелости зерна повысила параметра до значений 14,5%. Таким образом, препарат на основе полисульфида кальция обладает большим потенциалом применения для растений, особенно для зерновых культур, в связи с увеличением урожайности и качества зерна.

### **Обсуждение**

Проблема обеспечения полноценного развития растений пшеницы решается внесением серы в почву в виде элементарной порошковой серы и в виде серосодержащих соединений, в основном в виде сульфатов аммония, магния, кальция. Виды серосодержащих удобрений в виде сульфатов, разрешенные в РФ: сульфат калия, серноокислый марганец и аммоний, сульфат аммония-натрия, сульфат магния. Этот метод показал свою эффективность, особенно совместного внесения серы и азота [7, 9, 12, 19]. В [19] авторы установили, что добавление серы увеличивало эффективность использования азота, в основном за счет увеличения извлечения азота из почвы, авторы считают, что сбалансированное внесение азота и серы важно для снижения потенциального загрязнения остаточными нитратами почвы за счет увеличения извлечения азота из почвы при сохранении высокой эффективности использования азота. В полевых исследованиях авторы [7] включали два уровня внесения в почву азотных удобрений и три уровня удобрений серных. Внесение азота и серы также значительно повлияло на урожай зерна и сухой клейковины, самое высокое содержание белка в зерне было получено при сочетании самых высоких норм удобрений (180 кг/га азота и 120 кг/га серы). В работе [12] эксперимент показал, что яровая пшеница положительно реагируют на азотные и серные удобрений на урожай зерна, наиболее благоприятно влияет на содержание общего белка, клейковины, цистеина и метионина наблюдалось при внесении N в норме

80 кг/га и S в норме 50 кг/га. Установлена положительная корреляция между содержанием S в зерне и урожайностью зерна ( $r = 0,73$ ). В работе [9] указывается, что несбалансированное внесение азотных и/или серных удобрений может иметь низкую эффективность использования азота и серы, а также иметь существенные негативные последствия для урожайности, потери питательных веществ и параметров качества растений. Таким образом, внесение совместно азота и серы заметно улучшает урожайность и содержание белка в зерне.

Но в последнее время приобретает популярность, листовая обработка, т. е. опрыскивание, наряду с внесением в почву этих удобрений. Листовая обработка растений на определенных стадиях позволяет создавать благоприятные условия для развития растений. Степень и скорость усвоения элементов питания из удобрений через листву значительно выше, чем при внесении удобрений в грунт. Кроме того, некорневая обработка позволяет проводить некоторые подкормки тогда, когда активность корневой системы со временем угасает. В работе [21] опрыскивали растения пшеницы серой и азотом некорневой обработкой и исследовали содержание изотопов азота ( $^{15}\text{N}$ ) и серы ( $^{34}\text{S}$ ) в различных частях растений (листья, стебли, колосья) с помощью масс-спектрометрии. Влияние внекорневой подкормки на процент извлечения изотопов  $^{15}\text{N}$  и  $^{34}\text{S}$  в различных частях растения, урожайность зерна, содержание белка в муке и свойства теста исследовали после комбинации обработок: N (мочевина), S (микронизированная элементарная S) и NS (оба мочевины и микронизированный элемент S). Установлен синергетический эффект между удобрениями N и S, что свидетельствует о взаимодействии между метаболизмом обоих элементов. Кроме того, одновременное внесение азотных и серных удобрений может улучшить качество пшеничного теста без изменения урожайности зерна.

А в работе [17] были проведены полевые эксперименты с внесением в почву и некорневой обработкой с четырехкратной повторностью и восьмью различными обработками комбинаций азота и серы, распределенных по участкам на разных стадиях роста. Результаты показали, что самое высокое содержание глютена (28,35%) было зарегистрировано, когда урожай пшеницы был удобрен пяти кратной обработкой, включающей в себя сочетание почвенной и листовой обработки по сравнению с контрольной обработкой, которая приводила к низкому содержанию клейковины, низкому стандартному проценту энергии прорастания и минимальному значению всхожести. Авторы работы [18] провели изучение влияния внекорневой и почвенной подкормки чистой серой (0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 ppm) на веге-

тативный рост, урожайность и фотосинтез пигменты в листьях пшеницы. Результаты показали, что вегетативный рост и урожайность параметры (количество побегов/растение, количество листьев/растение, площадь флагового листа/растение, количество колос/растение, масса колоса, количество зерен, масса зерна и сухая масса побегов) были увеличены значимо при концентрации 15 и 20 ppm серы по сравнению с контрольными растениями. Применение серы для листьев и почвы значительно увеличило содержание хлорофилла a, хлорофилла b, общего хлорофилла в листьях и содержания азота и белка в семенах с увеличением концентрация серы.

В работе [11] с препаратом [2] переданным нами для исследований, проведены исследования на урожайность и некоторые свойства растений мягкой пшеницы в течение зимнего вегетационного периода 2016-2017 гг. в районе Испарта, Турция. Были исследованы пять различных видов обработки: контроль, внесение в почву, предпосевная обработка семян, покрытие семян + нанесение на стадии выхода в трубку и покрытие семян + нанесение на стадии колошения. Применение наночастиц серы к мягкой пшенице оказало положительное влияние на все изученные признаки (скорость появления всходов, среднее время появления всходов, высота растения, длина колосья, количество зерен в колосе, выход зерна, содержание белка). Средние значения изучаемых признаков варьировали по коэффициенту всхожести 75,0-100,0%, средним срокам появления всходов 2,35-2,83 дня, высоте растений 68,7-73,7 см, длине колоса 8,37-9,92 см, числу зерен в колосе 35,55-39,50, урожайности зерна 3431-3911 кг/га<sup>-1</sup>, соотношению белков 13,29-14,57%.

Результаты работ [11, 17, 18, 21] указывают на исключительную эффективность некорневой обработки пшеницы, обработка таким способом положительно влияет на большинство важных характеристик (урожайность, содержание белка, содержание хлорофилла). Наиболее близким к данной работе являются результаты [11], в которой авторы провели детальное исследование препарата и получили положительное влияние на все изученные признаки. Интересно сравнить результаты, так как много общего в этих работах: один и тот же препарат (на основе полисульфида кальция) и использование предпосевной обработки семян и некорневой обработки. Различие лишь в сроках некорневой обработки. Авторы [11] использовали протравленные семена для некорневой обработки препаратом во время выхода в трубку, а также использовали протравленные семена для листовой обработки препаратом во время колошения. А в нашей работе мы использовали вариант с протравленными семенами, с некорневой

обработкой препаратом в фазе молочной спелости и вариант с листовой обработкой во время восковой спелости.

Если взять за 100% данные полученные для контрольных образцов, то по сравнению с ними в результате применения препарата путем протравливания семян урожайность увеличилась на 9,8%, в результате применения препарата на стадии восковой спелости на 13,7%, а применение его на стадии молочной спелости на 18,1 (см. табл. 3). Масса 1000 зёрен в результате протравливания семян увеличилась на 5,04%, в результате обработки на стадии восковой спелости на 8,5%, а на стадии молочной спелости на 10,7%. По сравнению с контрольным образцом в результате применения препарата содержание белка в случае протравливания семян на 3,8%, в случае обработки на стадии восковой спелости на 7,4%, а применение его на стадии молочной спелости на 8,8%. Таким образом, по всем основным показателям наблюдается существенное улучшение параметров, и это говорит о том, что препарат на основе полисульфида кальция благотворно влияет на пшеницу. Таким образом, максимальное возрастание показателей произошло в результате обработки пшеницы в фазе молочной спелости.

Таблица 3.

**Увеличение технологических качеств зерна яровой пшеницы  
в результате обработки препаратом**

Параметры	протравливание семян, %	восковая спелость, %	молочная спелость, %
Масса 1000 зёрен, г	5,04	8,5	10,7
Выход зерна, ц/га	9,8	13,7	18,1
Содержание белка, %	3,8	7,4	8,8

Можно непосредственно сравнить наши результаты по урожайности и содержанию белка с данными работы [11] для случая протравливания семян, в этом случае по сравнению с контрольными результатами урожайность в нашей работе увеличилась на 9,8%, а в работе [11] на 3,8% (см. табл.4). По сравнению с контрольными результатами содержание белка в результате протравливания семян в нашей работе увеличилась 3,8%, а в работе [11] на 5,3%. В результате листовой обработки в фазе молочной спелости и в фазе восковой спелости результаты урожайности увеличилась на 18,1% и 13,7%, а в результате комбинированного воздействия (протравливание семян + листовая обработка в фазе выхода в труб-

ку) урожайность увеличилась на 14% и в результате комбинированного воздействия (протравливание семян + листовая обработка в фазе колошения) урожайность увеличилась на 12%. Близкие результаты относительно увеличения содержания белка наблюдаются для наших результатов и для результатов [11].

Таблица 4.

**Улучшение результатов применения препарата на основе полисульфида кальция данной работы и [11] на разных фазах**

Параметры	1 протравливание семян, данная работа	2 протравливание семян, [11]	3 листовая обработка в фазе восковой спелости, данная работа	4 протравливание семян + листовая обработка в фазе выхода в трубку, [11]	5 листовая обработка в фазе молочной спелости, данная работа	6 протравливание семян + листовая обработка в фазе колошения, [11]
Урожайность зерна, %	9,8	3,7	13,7	14	18,1	12,0
Содержание белка, %	3,8	5,3	7,4	7,5	8,8	7,5

### Выводы

На основании полученных данных действия препарата на основе полисульфида кальция для подкормки пшеницы сорта «Экада 70» можем заключить следующее:

1. Испытания в лабораторных и полевых условиях показывают, что обработка мягкой пшеницы препаратом на основе полисульфида кальция оказывает положительное воздействие на все основные характеристики, начиная с всхожести и количества продуктивных стеблей и завершая урожайностью и содержанием белка.
2. Успех препарата на основе полисульфида кальция обеспечивает формирование сферически симметричных наночастиц серы со средним размером 20 нм, которые равномерно распределяются по поверхности растений и усваиваются ими.
3. Предпосевная обработка семян показывает высокую эффективность, увеличение урожайности 9,8% и по содержанию белка 3,8% по сравнению с контрольными результатами.
4. Испытания в лабораторных и полевых условиях показала, что обработка зерен пшеницы при определенных концентрациях (15-20 ppm) препарата оказывает положительное воздействие – ускоряет на 70-100% рост побегов и корешков.

5. Самым эффективным является обработка в фазе молочной спелости, она показала увеличение с 18,8 ц/га до 21,5 ц/га, а содержание белка в зерне с 13,5% до 14,70%. Увеличение также наблюдалось при обработке в фазе восковой спелости с 18,8 ц/га до 20,7 ц/га.
6. Изучение биологических свойств наночастиц серы по отношению к пшенице показало на присутствие у нее свойств, позволяющих ускорять рост растений и увеличивать урожайность и содержание белка в зерне пшеницы. Положительные результаты получены для сортов пшеницы произрастающих в разных климатических зонах (Россия и Турция), этот факт свидетельствует об универсальности препарата и способа листовой обработки.
7. На основе полученных результатов создан препарат «Сульфитек-А-ГРО», который прошел государственную регистрацию и получил свидетельство №3691 от 20 мая 2022 года, информация на сайте: <http://sulfitech.com>

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания «Разработка современных технологий, цифровых методов анализа и моделей, предназначенных для работы с большими объемами разрозненной биохимической, химической и технической информации с учетом и без учета влияния внешних условий» (FZWU-2023-0002), Регистрационный номер: 1022033100240-2-1.7.1».

### *Список литературы*

1. Лебедев С.И. Физиология растений. 3-е изд. М.: Агропромиздат, 1988. 544 с.
2. Массалимов И.А., Гайфулин Р.Р. Удобрение, содержащее высокодисперсную серу и способ обработки ею пшеницы // Евразийский патент №028406, 30.11.2017, бюл. № 5.
3. Массалимов И.А., Хусаинов А.Н., Зайнитдинова Р.М., Мусавирова Л.Р., Зарипова Л.Р., Мустафин А.Г. Химическое осаждение наночастиц серы // Журнал прикладной химии. 2014. № 6(87). С. 705-713.
4. Массалимов И.А., Шайнурова А.Р., Хусаинов А.Н., Мустафин А.Г. Получение наночастиц серы из водного раствора полисульфида калия // Журнал прикладной химии. 2012. № 12(85). С. 1944-1949.



5. Федяев В.В., Фархутдинов Р.Г., Массалимов И.А., Цветков В.О., Ишмухаметов А.А., Ярмухаметова И.А., Латыпов Р.Н., Ямалеева А.А. Влияние полисульфида кальция на морфометрические и физиолого-биохимические процессы растений пшеницы // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 2(25). С. 55-62. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-2-55-62>
6. Шириев В.М., Аминова А.Л., Сахибгареев А.А., Давлетов Ф.А., Акчуринов Р.Л., Гайнуллина К.П., Жемьякин С.В. и др. Рекомендации по проведению весенне-полевых работ в Республике Башкортостан: методические указания. Уфа: Мир печати, 2017. 56 с.
7. Ercoli L., Lulli L., Arduini I., Mariotti M., Masoni A. Durum wheat grain yield and quality as affected by S rate under Mediterranean conditions // European Journal of Agronomy. 2011. Vol. 35. P. 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.03.007>
8. Fageria N., Filho M., Moreira A., Guimarães C. Foliar Fertilization of Crop Plants // Journal of Plant Nutrition., 2009. Vol. 32, no. 6. P. 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
9. Gallejones P., Castellon A., Del Prado A., Unamunzaga O., Aizpurua A. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate // Nutrient Cycling in Agroecosystems. 2012. Vol. 93. P. 337-355. <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9520-2>
10. Hawkesford M.J. Sulfate uptake and assimilation – whole plant regulation // Proceedings of the International Plant Sulfur Workshop. 2012. Vol. 1. P. 11–24. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4450-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4450-9_2)
11. Kaya M., Karaman R., Aykut Ş. Effects of nano sulfur (s) applications on yield and some yield properties of bread wheat // Scientific Papers. Series A. Agronomy. 2018. Vol. LXI, no. 1.
12. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobińska A., Nowak A., Wójcik E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat // Plant Soil and Environment. 2016. Vol. 62, no. 5. P. 230–236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
13. Lakkineni K.C., Ahmad A., Abrol Y.P. Sulphur in Plants January. Springer, 2003. 398 p. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_14)
14. Massalimov I., Medvedev Yu., Urakaev F., Ahmed I.S.A., Burkitbayev M., Uralbekov B. Antifungal activity of inorganic micro- and nanoparticles against pathogenic Fungi compared with some traditional organic drugs // American-Eurasian Journal of Agricultural & Environment Sciences. 2016. Vol. 16, no. 4. P. 652-662. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2016.16.4.12902>

15. Rahman I., Afzal A., Iqbal Z., Manan S. Application of Plant Mineral Nutrients on Wheat: A Review // *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*. 2014. Vol. 3, no. 2. P. 19-22.
16. Randall P., Spencer K., Freney J. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on sulfur ratio in grain, in relation to the yield response // *Australian Journal of Agricultural Research*. 1981. Vol. 32, no. 2. P. 203-212. <https://doi.org/10.1071/AR9810203>
17. Saeed A., Gul H. Physio-chemical Qualities of Wheat Varieties as Influenced by Nitrogen and Sulfur Fertilization // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 10, no. 11. P. 1076-1082.
18. Salih Z., Mohammad, M., Sabir T. Effect of Foliar and soil Application of sulfur on Growth, Yield, and Photosynthetic Pigments of the Wheat plant // *Journal of Raparin University*. 2016. Vol. 3, no. 6. <https://www.researchgate.net/publication/324263263>
19. Salvagiotti F., Castellarín J.M., Miralles D.J., Pedrol H.M. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake // *Field Crops Research*. 2009. Vol. 113. P. 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
20. Salvagiotti F., Miralles D.J. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat // *European Journal of Agronomy*. 2008. Vol. 28. P. 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.08.002>
21. Tea I., Genter T., Nault N., Lummerzheim M., Kleiber D. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007. Vol. 87. P. 2853-2859. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3044>
22. Withers P. J., Tytherleigh A.R.J., O'Donnell F.M. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals // *The Journal of Agricultural Science*. 1995. Vol. 125, no. 3. P. 317–324. <https://doi.org/10.1017/S0021859600084811>
23. Yu Z., She M., Zheng T., Diepeveen D., Islam S., Zhao Yu., Zhang Y., Tang G., Zhang Yu., Zhang J., Blanchard C. L., Ma W. Impact and mechanism of sulphur-deficiency on modern wheat farming nitrogen-related sustainability and gliadin content // *Communications Biology*. 2021. Vol. 4. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02458-7>
24. Zhao F.J., Hawkesford M.J., McGrath S.P. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat // *Journal of Cereal Science*. 1999. Vol. 30, no. 1. P. 19-31. <https://doi.org/10.1006/JCRS.1998.0241>

### References

1. Lebedev S.I. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. Moscow: Agropromizdat, 1988, 544 p.
2. Massalimov I.A., Gayfulin R.R. *Udobrenie, soderzhashchee vysokodispersnyuyu seru i sposob obrabotki eyu pshenitsy* [Fertiliser and method of wheat treatment with this fertiliser]. Eurasian patent №028406, 30.11.2017, bull. 5.
3. Massalimov I.A., Khusainov A.N., Zaynitdinova R.M., Musavirova L.R., Zari-pova L.R., Mustafin A.G. Khimicheskoe osazhdenie nanochastits sery [Chemical precipitation of sulfur nanoparticles from aqueous solutions]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2014, no. 6(87), pp. 705-713.
4. Massalimov I.A., Shaynurova A.R., Khusainov A.N., Mustafin A.G. Poluche-nie nanochastits sery iz vodnogo rastvora polisul'fida kaliya [Production of sulfur nanoparticles from aqueous solution of potassium polysulfide]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2012, no. 12(85), pp. 1944-1949.
5. Fedyaev V.V., Farkhutdinov R.G., Massalimov I.A., Tsvetkov V.O., Ishmukha-metov A.A., Yarmukhametova I.A., Latypov R.N., Yamaleeva A.A. Vliyanie polisul'fida kal'tsiya na morfometricheskie i fiziologo-biokhimicheskie protsessy rasteniy pshenitsy [Effects of calcium polysulphide on morphometric, physiological and biochemical processes in wheat]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2018, vol. 8, no. 2(25), pp. 55-62. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-2-55-62>
6. Shiriev V.M., Aminova A.L., Sakhigareev A.A., Davletov F.A., Akchurin R.L., Gaynullina K.P., Zhemyakin S.V. et al. *Rekomendatsii po provedeniyu vesenne-polevykh rabot v Respublike Bashkortostan* [Recommendations for conducting spring field work in the Republic of Bashkortostan]. Ufa: Mir pechati, 2017, 6 p.
7. Ercoli L., Lulli L., Arduini I., Mariotti M., Masoni A. Durum wheat grain yield and quality as affected by S rate under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 2011, vol. 35, pp. 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.03.007>
8. Fageria N., Filho M., Moreira A., Guimarães C. Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, vol. 32, no. 6, pp. 1044-1064. <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>
9. Gallejones P., Castellon A., Del Prado A., Unamunzaga O., Aizpurua A. Ni-trogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, vol. 93, pp. 337-355. <https://doi.org/10.1007/s10705-012-9520-2>

10. Hawkesford M.J. Sulfate uptake and assimilation – whole plant regulation. *Proceedings of the International Plant Sulfur Workshop*, 2012, vol. 1, pp. 11-24. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4450-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4450-9_2)
11. Kaya M., Karaman R., Aykut Ş. Effects of nano sulfur (s) applications on yield and some yield properties of bread wheat. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 2018. Vol. LXI, no. 1.
12. Klikocka H., Cybulska M., Barczak B., Narolski B., Szostak B., Kobiałka A., Nowak A., Wójcik E. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. *Plant Soil Environ*, 2016, vol. 62, no. 5, pp. 230-236. <https://doi.org/10.17221/18/2016-PSE>
13. Lakkineni K.C., Ahmad A., Abrol Y.P. *Sulphur in Plants January*. Springer. 2003, 398 p. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0289-8_14)
14. Massalimov I., Medvedev Yu., Urakaev F., Ahmed I.S.A., Burkitbayev M., Ur-albekov B. Antifungal activity of inorganic micro-and nanoparticles against pathogenic Fungi compared with some traditional organic drugs. *American-Eur-asion Journal of Agricultural & Environment Sciences*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 652-662. <https://doi.org/10.5829/idosi.ajeaes.2016.16.4.12902>
15. Rahman I., Afzal A., Iqbal Z., Manan S. Application of Plant Miner al Nutrients on Wheat: A Review. *Research and Reviews: Journal of Agriculture and Allied Sciences*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 19-22.
16. Randall P., Spencer K., Freney J. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on sulfur ratio in grain, in relation to the yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1981, vol. 32, no. 2, pp. 203–212. <https://doi.org/10.1071/AR9810203>
17. Saeed A., Gul H. Physio-chemical Qualities of Wheat Varieties as Influenced by Nitrogen and Sulfur Fertilization. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2011, vol. 10, no. 11, pp. 1076-1082.
18. Salih Z., Mohammad M., Sabir, T. Effect of Foliar and soil Application of sulfur on Growth, Yield, and Photosynthetic Pigments of the Wheat plant. *Journal of Raparin University*, 2016, vol. 3, no. 6.
19. Salvagiotti F., Castellarin J.M., Miralles D.J., Pedrol H.M. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 2009, vol. 113, pp. 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.05.003>
20. Salvagiotti F., Miralles D.J. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. *European Journal of Agronomy*, 2008, vol. 28, pp. 282-290. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.08.002>

21. Tea I., Genter T., Naulet N., Lummerzheim M., Kleiber D. Interaction between nitrogen and sulfur by foliar application and its effects on flour bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2007, vol. 87, pp. 2853–2859. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3044>
22. Withers P. J., Tytherleigh A.R.J., O'Donnell F.M. Effect of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *The Journal of Agricultural Science*, 1995, vol. 125, no. 3, pp. 317–324. <https://doi.org/10.1017/S0021859600084811>
23. Yu Z., She M., Zheng T, Diepeveen D., Islam S., Zhao Yu., Zhang Y., Tang G., Zhang Yu., Zhang J., Blanchard C. L., Ma W. Impact and mechanism of sulphur-deficiency on modern wheat farming nitrogen-related sustainability and gliadin content. *Communications Biology*, 2021, vol. 4. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02458-7>
24. Zhao F.J., Hawkesford M.J., McGrath S.P. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *Journal of Cereal Science*, 1999, vol. 30, no. 1, pp. 19–31. <https://doi.org/10.1006/JCRS.1998.0241>

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Массалимов Исмаил Александрович**, профессор, доктор технических наук  
*Уфимский университет науки и технологий*  
ул. Заки Валиди, 32, г. Уфа, 450076, Российская Федерация  
[ismail\\_mass@mail.ru](mailto:ismail_mass@mail.ru)

**Шакирзянов Анвар Хафизович**, доктор сельскохозяйственных наук, директор  
*Бакирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства УФИЦ РАН*  
ул. Рихарда Зорге, 19, г. Уфа, 450059, Российская Федерация

**Массалимов Бурхан Исмаилович**, младший научный сотрудник  
*Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН*  
Ленинский пр-т, 53, г. Москва, 119333, Российская Федерация  
[Burkhan.massalimov@gmail.com](mailto:Burkhan.massalimov@gmail.com)

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Ismail A. Massalimov**, Professor, Doctor of Technical Sciences  
*Ufa University of Science and Technology*

---

*32, Zaki Validi Str., Ufa, 450076, Russian Federation*  
*ismail\_mass@mail.ru*

**Anvar Kh. Shakirzyanov**, Director, doctor of agricultural sciences  
*Bashkir Scientific Research Institute of Agriculture UFRC RAS*  
*19, Rikharda Zorge Str., Ufa, 450059, Russian Federation*

**Burkhan I. Massalimov**, Junior Researcher  
*The Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences*  
*53, Leninskiy Ave., Moscow, 119333, Russian Federation*  
*Burkhan.massalimov@gmail.com*  
*Researcher ID: H-6536-2016*

Поступила 27.06.2023

После рецензирования 19.07.2023

Принята 25.07.2023

Received 27.06.2023

Revised 19.07.2023

Accepted 25.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-702

УДК 634.11:631.53.04



Научная статья | Агролесомелиорация, защитное лесоразведение

## ИНТЕНСИВНЫЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА МЕЛКОСЕМЯННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛУПУСТЫНИ

*С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева*

**Обоснование.** *Вопрос применения гидрофильных полимеров в лесном хозяйстве в засушливых условиях Волгоградской области мало изучен и остается весьма актуальным. Изменяющиеся природно-климатические условия области требуют тщательного подбора ассортимента древесно-кустарниковых видов и препаратов, улучшающих их рост, развитие и устойчивость к факторам среды.*

**Цель.** *Изучение влияния полимерных материалов на виды: береза повислая (*Betula pendula* Roth.), тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima* Ledeb.), тополь черный (*Populus nigra* L.) в засушливых условиях.*

**Материалы и методы.** *Изучалось влияние трех форм полиакриламида Гидросоуса (ГС): гранулированного в дозах 0, 30, 60, 120, 480, 960, 1920 кг/га, порошкообразного в дозе 480 кг/га, насыщенного макро- и микроудобрениями в дозе 480 кг/га на березу и тамарикс с применением мелкокапельного орошения, расстоянием между центрами посевных строк в 40 см. Норма высева семян 1 класса составляла 7 г/1 м посевной бороздки. В опыт были включены также варианты с мульчированием посевов березы опилками слоем 1-2 мм, торфом – 1-2 мм и соломой – 2-3 см. В варианте опыта с тополем черным применяли посев семян в суспензии гидрогеля, посев семян в воде, посев семян сухими гранулами гидрогеля, посев сухих семян (контроль). Свежесобранные семена, периодически перемешивая, в течение 36 часов проращивали в суспензии гидрогеля и водной среде. На приготовление суспензии гидрогеля было израсходовано 5 кг полимера Гидросоуса, 100 кг торфа, 10 м<sup>3</sup> воды и 40 кг семян в расчете на 1 га или на 1 л воды внесено по 0,5 полимера, 10 г перегноя и 4 г семян.*

**Результаты.** По итогам опыта сеянцы березы росли и развивались лучше в варианте с внесением гранулированного полимера 960 кг/га – диаметр корневой шейки составил 4,8 мм, при внесении полимера в дозе 1600 кг/га первые всходы после посева появились через 14 дней. При взятии образцов почвы в посевах тамарикса её влажность составила 25,8 % в варианте опыта с дозировкой полимера в 1600 кг/га, наилучшая плотность наблюдалась в варианте опыта с дозировкой полимера в 3200 кг/га. Размеры и выход 2-летних сеянцев тамарикса при внесении в почву гидрофильных полимеров оказались лучше в варианте опыта с дозой в 1600 кг/га. Тополь черный показал наилучшие результаты по росту в варианте высева в суспензию гидрогелей, линейный рост сеянцев в высоту составил 9,6 см.

**Выводы.** Посев проросших семян тополя черного (*Populus nigra* L.) в жидкой среде в присутствии гидрогелей и удобрений позволяет повысить всхожесть семян, сократить время появления массовых всходов, ускорить темпы роста, улучшить качественные показатели сеянцев. Полиакриламид Гидросоус позволяет увеличить влажность почвы, понизить ее плотность, что является важным для засушливых условий региона исследований. В ходе роста и развития растений под влиянием Гидросоуса увеличился диаметр корневой шейки сеянцев, динамика роста в высоту и сократились даты появления первых всходов.

**Ключевые слова:** деревья; кустарники; выращивание; полимеры; засушливая зона

**Для цитирования.** Крючков С.Н., Солонкин А.В., Соломенцева А.С. Интенсивные приемы выращивания посадочного материала мелкосемянных древесных видов в условиях полупустыни // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 144-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-702

Original article | Agroforestry, Protective Afforestation

## INTENSIVE METHODS OF GROWING PLANTING MATERIAL OF SMALL-SEEDED WOODY SPECIES IN SEMI-DESERT CONDITIONS

**S.N. Kruchkov, A.V. Solonkin, A.S. Solomentseva**

**Background.** The issue of the use of hydrophilic polymers in forestry in the arid conditions of the Volgograd region has been little studied and remains very



relevant. The changing natural and climatic conditions of the region require careful selection of an assortment of tree and shrub species and preparations that improve their growth, development and resistance to environmental factors.

**Purpose.** Study of the influence of polymer materials on the species of hanging birch (*Betula pendula* Roth.), branched tamarix (*Tamarix ramosissima* Ledeb.), black poplar (*Populus nigra* L.) in arid conditions.

**Materials and methods.** The effect of three forms of Hydrosous polyacrylamide (HS) was studied: granular in doses 0, 30, 60, 120, 480, 960, 1920 kg/ha, powdered at a dose of 480 kg/ha, saturated with macro- and micro-fertilizers at a dose of 480 kg/ha on birch and tamarix with the use of fine-drip irrigation, the distance between the centers of the seed rows are 40 cm. The seeding rate of class 1 seeds was 7 g/l m of the seeding groove. The experiment also included options with mulching birch crops with sawdust 1-2 mm thick, peat 1-2 mm and straw 2-3 cm. In the variant of the experiment with black poplar, sowing seeds in a hydrogel suspension, sowing seeds in water, sowing seeds with dry hydrogel granules, sowing dry seeds (control) were used. Freshly harvested seeds, stirring periodically, were germinated for 36 hours in a hydrogel suspension and an aqueous medium. 5 kg of hydrogel polymer, 100 kg of peat, 10 m<sup>3</sup> of water and 40 kg of seeds were used for the preparation of the hydrogel suspension, 0.5 polymer, 10 g of humus and 4 g of seeds were added per 1 ha or 1 liter of water.

**Results.** According to the results of the experiment, birch seedlings grew and developed better in the variant with the introduction of a granular polymer of 960 kg/ha – the diameter of the root neck was 4.8 mm, when the polymer was applied at a dose of 1600 kg/ha, the first shoots after sowing appeared after 14 days. When taking soil samples in tamarix crops, its moisture content was 25.8% in the experiment variant with a polymer dosage of 1600 kg/ha, the best density was observed in the experiment variant with a polymer dosage of 3200 kg/ha. The size and yield of 2-year-old tamarix seedlings when hydrophilic polymers were introduced into the soil turned out to be better in the experiment variant with a dose of 1600 kg/ha. The black poplar showed the best growth results in the variant of sowing in a suspension of hydrogels, the linear growth of seedlings in height was 9.6 cm.

**Conclusions.** Sowing germinated seeds of black poplar (*Populus nigra* L.) in a liquid medium in the presence of hydrogels and fertilizers allows to increase seed germination, reduce the time of emergence of mass seedlings, accelerate growth rates, improve the quality of seedlings. Polyacrylamide Hydrosous allows you to increase soil moisture, lower its density, which is important for the arid conditions of the research region. During the growth and development of plants under the

*influence of Hydrosous, the diameter of the root neck of seedlings increased, the dynamics of growth in height and the dates of the appearance of the first shoots decreased.*

**Keywords:** trees; shrubs; cultivation; polymers; arid zone

**For citation.** Kruchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S. *Intensive Methods of Growing Planting Material of Small-Seeded Woody Species in Semi-Desert Conditions. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 144-163. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-702*

Условия для выращивания посадочного материала в аридных зонах чрезвычайно трудны. Выращивание сеянцев и саженцев осложняется сильно варьирующими природными условиями региона, специфическим ассортиментом выращиваемых видов, пород и форм и их эколого-биологическими особенностями [1, 2, 3, 7]. Применяемая агротехника в питомниках аридных зон часто не обеспечивает не только оптимальных, но даже удовлетворительных условий для обеспечения прорастания семян. На питомниках улучшить условия выращивания семян и сеянцев можно не только путем правильного выбора системы обработки почвы, но и доведением водно-физических и других параметров почвогрунта до оптимальных [4, 8, 9].

Создание оптимальных условий для появления всходов и роста растений осуществляется, прежде всего, путем поддержания в корнеобитаемом слое почвы высокого плодородия за счет внесения органических и минеральных удобрений [11, 12, 19]. Поэтому необходимо разрабатывать рациональные приемы их использования в лесных питомниках. Техника применения минеральных удобрений должна решать не только вопросы питания сеянцев, но и повышать их стойкость против неблагоприятных условий внешней среды.

Наряду с плодородием почвы для повышения грунтовой всхожести семян и усиления роста сеянцев и саженцев необходимо достаточное количество влаги в почве, которое поддерживается осадками или орошением [8, 13, 15, 18]. Количество выпадающих осадков в аридных зонах крайне низко. Для выращивания посадочного материала в таких условиях необходимо орошение. Искусственный полив питомника способствует не только дружному появлению всходов, но и повышает эффективность использования удобрений, усиливает рост растений [10, 16, 17, 20]. Однако многие районы сухой степи и полупустыни постоянно испытывают острый дефицит пресной воды для орошения. Поэтому в этих регионах необо-

димо разрабатывать влагосберегающие технологии, принимать меры по накоплению и сохранению влаги в почве.

Интенсивные приемы выращивания посадочного материала в питомниках тесно связаны с обработкой почвы. Механическая обработка почвы имеет разностороннее значение. Основным агротехническим приемом считается рыхление и борьба с сорняками. Рыхление пахотного горизонта ведет к улучшению водно-воздушного и теплового режимов, активизирует деятельность микроорганизмов, что, в конечном счете, оказывает существенное влияние на плодородие почвы. Истребление сорняков помогает сберечь влагу и элементы питания в почве. Однако интенсивная обработка почвы имеет и существенный недостаток, заключающийся в распылении и разрушении ее структуры, вызывающей опасность развития эрозионных процессов. В связи с развитием этого опасного явления большое значение для лесных питомников имеет химическая борьба с сорняками, которая дает возможность снизить количество механических обработок при уходах за посевами или посадками, и значительно повысить производительность труда, а, следовательно, интенсифицировать процессы выращивания посадочного материала. Вместе с тем применение гербицидов в засушливых условиях ведет к длительному сохранению их токсических свойств, что влияет на всхожесть семян, рост и сохранность сеянцев и саженцев при последующей ротации на питомнике.

Для устранения недостатков существующей технологии выращивания посадочного материала определенный интерес представляют полимерные материалы, способные создавать оптимальные условия для прорастания семян, усилить рост и повысить устойчивость сеянцев и саженцев к неблагоприятным условиям среды [5, 6].

### **Научная новизна**

В современных условиях среди выращиваемого в питомниках посадочного материала абсолютное большинство составляют сеянцы. Совершенствование технологии их выращивания осуществляется за счет разработки и внедрения новых способов и методов производства посадочного материала. Высокая грунтовая всхожесть семян, интенсивный рост и развитие сеянцев, их высокая устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды обеспечивается эффективными агроприемами. В питомниках с открытым грунтом площадь будет продуктивно работать, если создать хороший агрофон с помощью высокомолекулярных соединений – полимеров (структурообразователей и гидрогелей), учитывая их способность

улучшать и сохранять структуру почвы, накапливать влагу при поливах и осадках и постепенно отдавать ее растениям. Эти свойства полимеров прежде всего заслуживают внимания при выращивании семян мелкосеменных и микротрофных древесных пород.

### Материалы и методы

Опыт по определению эффективности использования полимеров при выращивании семян лиственных пород был проведен на питомнике ФНЦ агроэкологии РАН, расположенном в г. Волгограде на зональной светло-каштановой супесчаной почве с содержанием гумуса 1,1-1,7 %. Площадь питомника оборудована оросительной сетью, с помощью которой обеспечивалось необходимое увлажнение почвы и растений.

Для опыта были выбраны наиболее трудно выращиваемые виды – береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и тамарикс ветвистый (*Tamarix ramosissima* Ledeb.). В условиях открытого грунта изучалось влияние гидрофильных полимеров с разными дозировками на всхожесть семян и дальнейший рост семян упомянутых видов.

Семена березы в третьей декаде мая высевали в посевные бороздки шириной 10 см, куда за неделю до посева в 0-10 см слой почвы внесены удобрения (навоз 10 т/га,  $N_{100}P_{100}$ ) и гидрогели. В качестве гидрогеля использовали три формы американского пространственно-сшитого полиакриламида Гидросоуса (ГС):

- 1) Гранулированный в дозах 0, 30, 60, 120, 480, 960, 1920 кг/га
- 2) Порошкообразный в дозе 480 кг/га
- 3) Насыщенный макро- и микроудобрениями в дозе 480 кг/га.

Расстояние между центрами посевных строк принято 40 см. Норма высева семян 1 класса – 7 г на 1 м посевной бороздки. В опыт были включены также варианты с мульчированием посевов березы опилками слоем 1-2 мм, торфом – 1-2 мм и соломой – 2-3 см. Орошение – мелкокапельное. В период прорастания семян поливы проводили ежедневно малыми дозами, а в период укоренения всходов – через 5-7 дней. За лето проведено 4 рыхления и прополки посевов. На втором году выращивания проведена подкормка семян азотным (20 кг/га), и фосфорным (50 кг/га) удобрениями, 3-кратное рыхление и полив (2 раза за летний период из расчета 300 м<sup>3</sup>/га).

Для посева тамарикса ветвистого полимеры равномерно распределяли по всей поверхности и заделывали в 0-10 см слой почвы вместе с навозом (из расчета 10 т/га) и минеральными удобрениями ( $N_{100}P_{100}$  кг/га). В опыт были включены те же формы полиакриламида Гидросоуса: гранулирован-

ный с дозами внесения 200, 400, 800, 1600 и 3200 кг/га; порошкообразный – 400 кг/га и насыщенный макро- и микроудобрениями – 400 кг/га, а также сшитый полиакриламид и полимер акриловой кислоты на крахмале – по 400 кг/га. Семена высевали после их сбора в ленту шириной 80 см по сплошной схеме. Норма посева – 30 г сухих измельченных коробочек с семенами на 1 м<sup>2</sup>. Орошение – мелкодисперсное. В период прорастания семян (7 дней) посевам поливали 2 раза в сутки небольшими нормами (30 м<sup>3</sup>/га), в период формирования и укрепления всходов (20 дней) поливали 1 раз в день по 100 м<sup>3</sup>/га и в период усиленного роста сеянцев до их окончательного формирования (около 70 дней) 3 раза по 300 м<sup>3</sup>/га. За первый вегетационный период проведены 5 прополок сорняков. На втором году выращивания сеянцев проведены подкормка аммофосом (20 кг/га), трехкратная прополка сорняков и два раза за сезон полив по 300 м<sup>3</sup>/га. Рыхление посевов тамарикса не проводили. В процессе исследований проведены фенологические наблюдения за сроками прохождения фенофаз. Изучены водно-физические свойства почвы, определены качественные показатели сеянцев березы повислой и тамарикса ветвистого.

Для получения наибольшей грунтовой всхожести семян и появления более дружных всходов также испытывался посев проросших семян древесных пород в жидкой среде. Эффективность данного агроприема определялась при выращивании сеянцев тополя черного (*Populus nigra* L.). Почва готовилась по системе раннего пара. Плоды-коробочки тополя были собраны в июне месяце и через 5 дней переработаны.

Опыт заложен по следующим вариантам:

- 1) Высев семян в суспензии гидрогеля
- 2) Высев семян в воде
- 3) Высев семян сухими гранулами гидрогеля
- 4) Высев сухих семян (контроль).

Для вариантов 1 и 2 свежесобранные семена в течение 36 часов проращивали в суспензии гидрогеля и водной среде. В течение этого времени семена периодически (через 2-3 часа) перемешивали. На приготовление суспензии гидрогеля расходовали 5 кг полимера Гидросоуса, 100 кг торфа, 10 м<sup>3</sup> воды и 40 кг семян в расчете на 1 га или на 1 л воды внесено по 0,5 полимера, 10 г перегноя и 4 г семян. Посев семян произведен 20 июня в углубленные до 1,5 см бороздки. На 1 п. м. бороздки шириной 10 см по ленточной трехстрочной схеме 40-40-70 равномерно выливали по 0,5 л приготовленной жидкой смеси с проросшими семенами. На варианте 3 сухие семена тополя (с нормой расхода 40 кг/га или 2 г на 1 пог. м) смешива-

ли с сухими гранулами гидрогеля (5 кг/га или 0,25 на 1 пог. м), торфом (100 кг/га или 5 г/пог. м) и равномерно распределяли по посевным бороздкам. На контроле сухие семена тополя смешивали только с торфом и равномерно высевали по бороздкам. Размер деланки 1 м<sup>2</sup> в 3-кратной повторности.

На фазах прорастания и укрепления проростков было применено мелкодисперсное орошение. Через 30 дней, когда всходы окрепли и появились 4 пары листьев, сеянцы поливали 4 раза за оставшийся вегетационный период с нормой расхода 20-30 л/м<sup>2</sup> (200-300 м<sup>3</sup>/га). В период вегетации однолетние сеянцы тополя дважды (в 1 и 3 декаде августа) подкармливали аммофосом из расчета 30 кг/га д. в., проводилась 4-кратная прополка сорняков и рыхление почвы. В процессе исследований проводили фенологические наблюдения за динамикой появления всходов и ростом сеянцев, определяли их качественные показатели.

### **Результаты и обсуждение**

С каждым годом применение биостимуляторов и регуляторов роста занимает все более прочное положение в лесном и сельском хозяйстве. Интегрированность адаптивных реакций растений, которая усиливается в экстремальных условиях окружающей среды, может иметь как положительные, так и отрицательные последствия. В этой связи применение гидрогелей, стимуляторов роста, подкормок, аминокислотных и нетрадиционных видов удобрений следует разрабатывать с учетом их состава, прямого и косвенного влияния на продукционный и средообразующий процессы, уделяя особое внимание сохранению механизмов и структур саморегуляции с целью поддержания экологического равновесия в лесных системах. Поскольку лесные питомники длительное время функционируют на одном и том же месте, с постоянным расходом питательных веществ при выкопке растений, что приводит к ухудшению почвенных условий – необходимо применение видов удобрений, которые незначительно влияют на почвы, улучшая выход посадочного материала, его качество, ускоряя рост и развитие, морфометрические показатели. С учетом проводимых ранее исследований по выращиванию древесно-кустарниковых видов с применением гидрогелей и полимеров, данные проводимых авторами опытов дополняют существующую систему питомниководства, путем совершенствования системы ведения лесного хозяйства, выявляя главные факторы, ускоряющие или тормозящие рост и развитие растений, повышая их функциональность и поддерживая экологизацию земледелия путем использования универсальных,

поддерживающих оптимальное состояние сеянцев и саженцев средств. Наблюдения за динамикой появления всходов и ростом сеянцев березы повислой показали, что внесение гидрогеля в посевные строчки в виде гранул в дозах от 120 кг/га и выше способствовало более раннему появлению всходов и увеличению грунтовой всхожести семян (Таблица 1). Особенно высокая грунтовая всхожесть семян березы повислой отмечена на варианте с дозировкой гранулированного полимера 960 кг/га. При использовании полиакриламида, нагруженного удобрениями и порошкообразного в дозе 480 кг/га отмечено повышение грунтовой всхожести семян и усиление роста сеянцев березы.

Таблица 1.

**Динамика роста и развития однолетних сеянцев березы повислой в зависимости от доз внесения полиакриламида Гидросоуса и мульчирующего материала**

Формы и дозы внесения полимера, кг/га	Вид мульчи	Время появления после посева (дни)		Количество всходов на 1 пог. м, шт.	Высота сеянцев (см) через		
		первых всходов	первого листочка		1 месяц	2 месяца	3 месяца
<b>Гранулированный</b>							
30		7	22	510	1,7	3,5	4,5
60		7	22	530	2,2	3,8	5,0
120		7	21	560	2,4	5,4	6,9
480		6	20	670	2,7	6,3	7,3
960		5	19	1260	3,5	11,0	13,0
1920		5	19	1280	3,3	9,2	12,0
<b>Насыщенный удобрениями</b>							
480		5	19	1120	3,1	10,7	12,3
<b>Порошкообразный</b>							
480		6	20	710	3,3	8,5	11,5
<b>Гранулированный</b>							
480	Опилки	5	20	780	3,0	8,3	10,0
480	Торф	4	19	930	3,6	10,3	11,6
480	Солома	4	19	1470	3,4	11,8	13,3
Контроль без полимера		7	22	500	1,7	3,0	4,0

Мульчирование посевов березы торфом слоем 1-2 мм и рыхлым слоем соломы 2 см усиливает действие полимеров. Внесение в почву 960 кг/га полиакриламида обеспечивает получение 2,8 млн. стандартных сеянцев березы, что в 2 раза выше, чем на контроле (Таблица 2).

Таблица 2.

**Влияние гидрогеля Гидросоуса на всхожесть, рост и выход стандартных семян березы**

Формы и дозы внесения полимера, кг/га	Размеры 2-летних сеянцев		Сырая масса одного семянца, г	Количество стандартных сеянцев	
	Высота, см	Диаметр корневой шейки, мм		На 1 пог. м, шт.	На 1 га, млн. шт.
Гранулированный					
30	32	3,8	5,9	63	1,3
60	36	3,8	6,4	65	1,3
120	37	4,0	7,6	107	2,1
480	43	4,8	8,8	110	2,2
960	48	5,5	11,9	139	2,8
1920	46	5,2	10,5	134	2,7
Порошкообразный					
480	48	5,0	9,7	121	2,4
Насыщенный удобрениями					
480	46	5,0	10,1	138	2,8
Гранулированный					
ГС + мульчирование					
480 + опилки	48	4,8	8,8	130	2,6
480+ торф	51	5,2	9,9	140	2,8
480+солома	53	5,6	12,5	150	3,0
Контроль	28	3,7	5,1	63	1,3

Такой же эффект от действия полимеров был получен при выращивании сеянцев тамарикса ветвистого.

При сплошном внесении в 0-10 см слой почвы гранул и порошка гидрогеля Гидросоуса (ГС) производства США, а также при использовании сшитого полиакриламида и привитого полимера акриловой кислоты на крахмале отечественного производства в дозах от 400 до 3200 кг/кг на 30 % увеличивается количество всходов на 1 м<sup>2</sup> и в 1,2-2 раза возрастают биометрические показатели однолетних сеянцев тамарикса по сравнению с посевами без полимеров (Таблица 3).

В посевных лентах тамарикса, где внесены гидрогели, в середине весны (23 апреля месяц) были определены показатели, характеризующие физические свойства почвы: плотность и влажность. Через 20 дней (18 мая)



проведены повторные наблюдения за влажностью и плотностью почвы. Последний показатель в посевных лентах определяли плотномером Ревякина. Как показали наблюдения, влажность почвы в 0-10 см слое почвы на 23 апреля слабо отличалась на вариантах с внесением гранул гидрогеля ГС в дозах от 0 до 400 кг/га (Таблица 4).

Таблица 3.

**Влияние гидрогеля Гидросоуса на всхожесть, рост и выход стандартных семян березы**

Формы и дозы внесения полимера, кг/га	Вид мульчи	Время появления после посева (дни)		Высота семян (см) через		
		первых всходов	первого листочка	1 месяц	2 месяца	3 месяца
Гранулированный ГС						
200	900	9,0	1,7	13,6	7,7	21,3
400	950	9,8	1,8	21,8	11,5	33,3
800	1200	14,2	2,2	27,2	17,0	44,2
1600	1267	14,4	2,2	33,6	17,9	51,5
3200	1700	14,2	2,1	29,1	15,4	44,5
ГС, насыщенный удобрениями						
400	1233	13,5	2,3	25,9	14,8	40,7
Порошкообразный ГС						
400	1267	13,9	2,1	30,1	14,8	44,9
Сшитый полиакриламид						
400	1257	13,4	2,0	27,5	13,4	40,9
Полимер акриловой кислоты на крахмале						
400	1200	13,2	2,0	23,7	12,2	35,9
Контроль без полимера	900	7,7	1,4	13,0	6,6	19,6

Только на вариантах с дозами от 800 до 3200 кг/га гидрогеля ГС она была значительно выше контроля. Через 20 дней влажность почвы снизилась, особенно на контрольных площадках. На вариантах, где внесены полимеры, влажность почвы в 0-5 см слое в 2-4 раза превышала контроль.

Сравнивая плотность почвы на вариантах с дозой внесения гидрогеля 200-400 кг/га обнаружено, что ее показатели в 0-10 см слое с весны довольно близки с контролем (Таблица 5).

Таблица 4.

**Влажность почвы на посевах тамарикса в зависимости от доз внесения гранулированного ГС, %**

Дозы внесения полимера, кг/га	23 апреля			18 мая			
	слой почвы, см						
	0-5	5-10	0-10	0-5	5-10	10-15	0-15
200	11,5	12,5	12,0	4,0	7,9	8,2	6,7
400	12,2	12,9	12,6	7,0	8,6	8,8	8,1
800	13,1	14,0	13,6	8,1	9,6	9,5	9,0
1600	15,1	14,2	14,7	8,4	8,8	8,7	8,6
3200	29,4	22,2	25,8	14,5	9,2	9,6	11,1
Контроль	11,0	12,3	11,7	3,4	7,8	8,7	6,6

Таблица 5.

**Плотность почвы на посевах тамарикса в зависимости от доз внесения гранулированного ГС, %**

Дозы внесения полимера, кг/га	23 апреля			18 мая			
	слой почвы, см						
	0-5	5-10	0-10	0-5	5-10	10-15	0-15
200	5,5	5,3	5,4	21,0	19,0	16,7	18,9
400	5,0	4,7	4,9	19,5	13,5	10,5	14,5
800	3,3	3,5	3,4	6,3	8,0	7,5	7,3
1600	2,5	3,0	2,8	3,0	5,5	5,2	4,6
3200	1,8	2,0	1,9	2,3	2,5	2,5	2,4
Контроль	6,0	5,7	5,9	21,9	19,5	17,5	19,5

Без полива на контрольных участках почва через 20 дней довольно быстро уплотнилась, тогда как на участках с полимером от 800 до 3200 кг/га она оставалась рыхлой.

Учеты и обмеры сеянцев, проведенные в конце второго года вегетации показали, что высококачественный посадочный материал тамарикса получен на вариантах с внесением в почву от 800 до 1600 кг/га гидрогеля (Таблица 6).

Выход стандартных сеянцев при таких дозах использования препаратов составил более 1,5 млн. шт. на 1 га, что на 30 % более, чем на контроле.

Наблюдения за динамикой появления всходов и ростом сеянцев тополя показали, что посев проросших семян в жидкой среде способствовал более раннему появлению всходов и увеличению грунтовой всхожести семян (Таблица 7).

Таблица 6.

**Размеры и выход 2-летних сеянцев тамарикса при внесении в почву гидрофильных полимеров**

Формы и дозы внесения полимера, кг/га	Высота, см	Диаметр корневой шейки, мм	Сырая биомасса 1 сеянца, г			Количество стандартных сеянцев	
			надземная часть	корни	итого	На 1 м <sup>2</sup> , шт.	На 1 га, млн. шт.
Гранулированный ГС							
200	41,0	4,0	2,9	1,8	4,7	330	1,32
400	47,0	4,1	3,2	2,0	5,2	335	1,34
800	49,4	4,4	4,3	3,2	7,5	385	1,54
1600	51,0	4,4	4,7	3,3	8,0	380	1,52
3200	48,3	4,2	4,1	2,3	6,4	390	1,56
ГС, насыщенный удобрениями							
400	47,5	4,0	3,6	2,1	5,7	365	1,46
Порошкообразный ГС							
400	48,0	4,1	3,8	2,6	6,4	370	1,48
Сшитый полиакриламид							
400	48,5	4,0	3,7	2,0	5,7	370	1,48
Полимер акриловой кислоты на крахмале							
400	48,0	3,8	3,4	1,8	5,2	350	1,40
Контроль без полимера	36,0	3,2	1,8	1,2	3,0	300	1,20

Особенно высокая грунтовая всхожесть отмечена на варианте с высевом проросших семян тополя в суспензии гидрогеля. Здесь были зарегистрированы самые высокие темпы линейного роста сеянцев (Таблица 8).

Таблица 7.

**Влияние высева семян в жидкой среде на рост и выход стандартных сеянцев тополя черного**

Вариант опыта	Кол-во всходов на 1 пог. м., шт.	Размеры 1-летних сеянцев			Сырая биомасса 1 сеянца, г				Выход стандартных сеянцев, тыс. шт. /га
		высота, см	Диаметр корневой шейки, мм	Длина главных корней, см	листья	стебли	корни	итого	
1	247	35,1	3,5	32,8	4,18	1,36	1,46	7,00	2280
2	224	29,9	2,9	29,6	3,63	1,07	1,21	5,91	1920
3	238	28,0	2,7	26,4	2,99	0,81	0,88	4,68	2080
4	166	22,0	3,3	22,3	1,86	0,59	0,68	3,13	1200

Таблица 8.

**Динамика роста в высоту однолетних сеянцев тополя черного при высеве проросших семян в жидкой среде, см (посев в июне)**

Вариант опыта	Дата измерения							
	10.07	20.07	30.07	10.08	20.08	30.08	10.09	20.09
1	3,8	5,1	9,6	14,3	21,7	29,7	35,1	35,1
2	3,1	4,3	8,2	13,0	20,0	26,0	29,9	29,9
3	3,0	4,0	7,7	11,9	18,4	24,2	28,0	28,0
4	2,1	3,0	5,7	8,4	14,9	19,3	22,0	22,0

К концу вегетации биометрические показатели сеянцев, выросшие на варианте с применением суспензии гидрогеля в 1,5-2 раза превышали контроль, на 60-90 % возрос выход стандартных сеянцев.

Таким образом, высев проросших семян тополя и других пород в жидкой среде в присутствии гидрогелей и удобрений позволяет повысить всхожесть семян, сократить время появления массовых всходов, ускорить темпы роста, улучшить качественные показатели сеянцев.

**Финансирование.** 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. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Иозус А. П. [и др.] Эффективность полимерных и мульчирующих материалов при создании селекционных плантаций дуба в сухой степи // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4(119). С. 72-80. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.011.72-80>
2. Крючков С. Н., Солонкин А. В., Соломенцева А. С. [и др.]. Применение современных биостимуляторов и регуляторов роста для питомниководства в условиях деградации и опустынивания // Лесной вестник. 2022. Т. 26, № 4. С. 29-38. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-29-38>
3. Крючков С. Н., Беляев А. И., Пугачева А. М. [и др.]. Научно-методические указания по сортовому семеноводству деревьев и кустарников для лесомелиорации аридных территорий (научно-методические рекомендации). Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2022. 52 с.

4. Лапушкин В. М. Система удобрения в лесном хозяйстве: учебное пособие. Москва: Проспект, 2021. 144 с.
5. Околелова А. А., Егорова Г. С., Воскобойникова Т. Г. Применение гидрогеля в светло-каштановой почве // Естественно-гуманитарные исследования. 2015. №10 (4). С. 4-10.
6. Ревенко В. Ю., Агафонов О. М.. Использование гидрогелей в растениеводстве // International Journal of Humanities and Natural Science. 2018. Vol. 11-2. С. 59-65.
7. Романенко А. К., Солонкин А. В., Соломенцева А. С., Егоров С. А. Использование гуминовых препаратов для выращивания посадочного материала древесных растений в аридном регионе // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6(221). С. 2-15. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15>
8. Besharati J., Shirmardi M., Meftahizade H., Ardakani M. et al. Changes in growth and quality performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress // South African Journal of Botany. 2021. Vol. 145. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.018>
9. Jnanesha C. J., Kumar A., Lal R. Hydrogel application improved growth and yield in Senna (*Cassia angustifolia* Vahl.) // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 174, 114175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114175>
10. Hu Z., Chen G., Yi S. et al. Multifunctional porous hydrogel with nutrient controlled-release and excellent biodegradation // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2021. Vol. 9. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106146>
11. Guo Yu., Guo R., Shi X. et al. Synthesis of cellulose-based superabsorbent hydrogel with high salt tolerance for soil conditioning // International Journal of Biological Macromolecules. 2022. Vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.039>
12. Kundu R., Mahada P., Chhirang B., Das B. Cellulose hydrogels: Green and sustainable soft biomaterials // Current Research in Green and Sustainable Chemistry. 2022. Vol. 5, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100252>
13. Maksimova Yu. Polymer hydrogels in agriculture (review) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Vol. 58. P. 23-42. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.1.23rus>
14. Meng Yi., Liu X., Chengxiang L. et al. Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste // International Journal of Biological Macromolecules. 2019. Vol. 135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195>

15. Panova I., Ilyasov L., Khaidapova D. et al. Soil conditioners based on anionic polymer and anionic micro-sized hydrogel: A comparative study // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020. Vol. 610, 125635. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125635>
16. Rizwan M., Gilani S., Durrani A., et al. Kinetic model studies of controlled nutrient release and swelling behavior of combo hydrogel using *Acer platanoides* cellulose // *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2021. Vol. 131. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.11.004>
17. Sennakesavan G., Mostakhdemin M., Dkhar L. et al. Acrylic acid/acrylamide based hydrogels and its properties - A review // *Polymer Degradation and Stability*. 2020. Vol. 180, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109308>
18. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J., Napier R., O'Reilly R. K. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications // *ACS Applied Polymer Materials*. 2021. Vol. 3(3). P. 1203-1217. <https://doi.org/10.1021/acscpm.0c00982>
19. Zhang Y., Tian X., Zhang Q., et al. Hydrochar-embedded Carboxymethyl Cellulose-g-poly(acrylic acid) Hydrogel as Stable Soil Water Retention and Nutrient Release Agent for Plant Growth // *Journal of Bioresources and Bioproducts*. 2022. Vol. 7. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.03.003>
20. Zhang S., Yang Y., Gao B., Wan Y., Li Y.C., Zhao C. Bio-based Interpenetrating network polymer composites from locust sawdust as coating material for environmentally friendly controlled-release urea fertilizers // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. Vol. 64(28). P. 5692-5700. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01688>

### References

1. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Iozus A.P. et al. Efficiency of polymeric and mulching materials in the creation of selective oak plantations in the dry steppe. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal], 2022, no. 4(119), pp. 72-80. <https://doi.org/10.34736/FNC.2022.119.4.011.72-80>
2. Kryuchkov S.N., Solonkin A.V., Solomentseva A.S. et al. Application of modern biostimulants and growth regulators for nursery production in conditions of degradation and desertification. *Lesnoy vestnik* [Forest Bulletin], 2022, vol. 26, no. 4, pp. 29-38. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-4-29-38>
3. Kryuchkov S.N., Belyaev A.I., Pugacheva A.M. et al. *Scientific and methodical guidelines on varietal seed production of trees and shrubs for forest reclamation of arid territories (scientific and methodical recommendations)*. Volgograd: FSC Agroecology RAS, 2022, 52 p.

4. Lapushkin V. M. *System of fertilization in forestry*. Moscow: Prospect, 2021. 144 c.
5. Okolelova A. A., Egorova G. S., Voskoboynikova T. G. Application of hydrogel in light-chestnut soil. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya* [Natural-humanitarian research], 2015, no. 10 (4), pp. 4-10.
6. Revenko V. Y., Agafonov O. M.. The use of hydrogels in crop production. *International Journal of Humanities and Natural Science*, 2018, vol. 11-2, pp. 59-65.
7. Romanenko A. K., Solonkin A. V. V., Solomentseva A. S., Egorov S. S. A. Use of humic preparations for growing planting material of woody plants in the arid region. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2022, no. 6(221), pp. 2-15. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2022-221-06-2-15>
8. Besharati J., Shirmardi M., Meftahizade H., Ardakani M. et al. Changes in growth and quality performance of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) in response to soil amendments with hydrogel and compost under drought stress. *South African Journal of Botany*, 2021, vol. 145. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.03.018>
9. Jnanasha C. J., Kumar A., Lal R. Hydrogel application improved growth and yield in Senna (*Cassia angustifolia* Vahl.). *Industrial Crops and Products*, 2021, vol. 174, 114175. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114175>
10. Hu Z., Chen G., Yi S. et al. Multifunctional porous hydrogel with nutrient controlled-release and excellent biodegradation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9. <https://doi.org/106146.10.1016/j.jece.2021.106146>
11. Guo Yu., Guo R., Shi X. et al. Synthesis of cellulose-based superabsorbent hydrogel with high salt tolerance for soil conditioning. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, vol. 209. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.039>
12. Kundu R., Mahada P., Chhirang B., Das B. Cellulose hydrogels: Green and sustainable soft biomaterials. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 2022, vol. 5, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100252>
13. Maksimova Yu. Polymer hydrogels in agriculture (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2023, vol. 58, pp. 23-42. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.23rus>
14. Meng Yi., Liu X., Chengxiang L. et al. Super-swelling lignin-based biopolymer hydrogels for soil water retention from paper industry waste. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, vol. 135. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.195>
15. Panova I., Ilyasov L., Khaidapova D. et al. Soil conditioners based on anionic polymer and anionic micro-sized hydrogel: A comparative study. *Colloids and*

- Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2020, vol. 610, 125635. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125635>
16. Rizwan M., Gilani S., Durrani A., et al. Kinetic model studies of controlled nutrient release and swelling behavior of combo hydrogel using Acer platanoides cellulose. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2021, vol. 131. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.11.004>
  17. Sennakesavan G., Mostakhdemin M., Dkhar L. et al. Acrylic acid/acrylamide based hydrogels and its properties - A review. *Polymer Degradation and Stability*, 2020, vol. 180, 109308. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109308>
  18. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J., Napier R., O'Reilly R. K. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications. *ACS Applied Polymer Materials*, 2021, vol. 3(3), pp. 1203-1217. <https://doi.org/10.1021/acscpm.0c00982>
  19. Zhang Y., Tian X., Zhang Q., et al. Hydrochar-embedded Carboxymethyl Cellulose-g-poly(acrylic acid) Hydrogel as Stable Soil Water Retention and Nutrient Release Agent for Plant Growth. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 2022, vol. 7. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.03.003>
  20. Zhang S., Yang Y., Gao B., Wan Y., Li Y.C., Zhao C. Bio-based Interpenetrating network polymer composites from locust sawdust as coating material for environmentally friendly controlled-release urea fertilizers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, vol. 64(28), pp. 5692-5700. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b01688>

#### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Крючков Сергей Николаевич**, д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
[kryuchkovs@yfac.ru](mailto:kryuchkovs@yfac.ru)

**Солонкин Андрей Валерьевич**, д-р с.-х. наук, заведующий селекционно-семеноводческим центром  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»*



*пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
*mishamax73@mail.ru*

**Соломенцева Александра Сергеевна**, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук»*  
*пр-т. Университетский, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
*alexis2425@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Sergey N. Kryuchkov**, Doct. Sc. (Agriculture), Chief Researcher of the Laboratory of breeding, seed and nursery production

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS*

*97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation*

*Kryuchkovs@yfac.ru*

*SPIN-code: 5356-4194*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-6460>*

*Researcher ID: IAM-5063-2023*

**Andrey V. Solonkin**, Doct. Sc. (Agriculture), Head of the Breeding and Seed-growing Center

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation RAS*

*97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation*

*Mishamax73@mail.ru*

*SPIN-code: 8724-5383*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>*

*Scopus Author ID: 57219094230*

**Alexandra S. Solomentseva**, Cand. Sc. (Agriculture), Senior Researcher of the Laboratory of breeding, seed and nursery production

*Federal Scientific Center of Agroecology, Complex Melioration, and*

*Protective Afforestation RAS*

*97, Universitetsky pr., Volgograd, 400062, Russian Federation*

*Alexis2425@mail.ru*

*SPIN-code: 6832-7471*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5857-1004>*

*Researcher ID: W-4142-2018*

*Scopus Author ID: 57220036834*

Поступила 17.05.2023

После рецензирования 26.06.2023

Принята 03.07.2023

Received 17.05.2023

Revised 26.06.2023

Accepted 03.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-772

УДК 633.18:581



Научные обзоры | Система селекции и семеноводства

## КРАСНОЗЕРНЫЕ И ЧЕРНОЗЕРНЫЕ СОРТА РИСА КАК ИСТОЧНИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ПРИЗНАКА В ЗЕРНОВКАХ РИСА

*Ю.К. Гончарова, С.В. Гончаров*

**Цель:** обзор отечественных и зарубежных исследований в области генетики содержания микро- и макроэлементов у риса.

**Материалы и методы.** Представлен обзор литературы и проанализированы научные исследования о содержании микроэлементов в крупе риса различных образцов, в том числе с окрашенным перикарпом, а также генетике этого признака.

**Результаты.** Недостаточное потребление микроэлементов приводит к нарушению обмена веществ и появлению целого спектра заболеваний. Чернозерный и краснозерный рис - один из самых перспективных источников антиоксидантов и микроэлементов, их в нем в 5-8 раз больше чем в белозерных сортах риса. Изучение генетических механизмов, контролирующих содержание микроэлементов, актуально в связи с их антиоксидантными и антимикробными свойствами. Установлено, что наблюдаемое на фенотипическом уровне внутривидовое разнообразие связано как с регуляторными, так и структурными генами. Изучение механизма генетической регуляции накопления микроэлементов у отечественных сортов риса на молекулярном уровне не проводилось.

**Заключение.** Данные о генетической регуляции синтеза веществ, повышающих питательную ценность зерна (микро и макроэлементов и т.д.), позволят интенсифицировать селекцию риса с целью создания сортов для производства функциональных продуктов питания.

**Ключевые слова:** рис; окрашенный перикарп; микроэлементы; регуляторные и структурные гены; маркер-ориентированная селекция; удвоенные гаплоиды; SSR маркеры

*Для цитирования.* Гончарова Ю.К., Гончаров С.В. Краснозерные и чернозерные сорта риса как источники микроэлементов и генетическая регуляция признака в зерновках риса // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 164-188. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-772

Scientific Reviews | Plant Breeding and Seed Production

## RED GRAIN AND BLACK GRAIN RICE VARIETIES AS SOURCES OF MICROELEMENTS AND GENETIC REGULATION OF THE TRAIT IN RICE GRAIN

*Yu.K. Goncharova, S.V. Goncharov*

**Purpose:** review of domestic and foreign studies in the field of genetics of contents of micro- and macro elements in the rice grain

**Materials and methods.** A review of the literature is presented and scientific studies on the content of trace elements in rice grain of various samples, including those with colored pericarp, as well as the genetics of this trait, are analyzed.] Review of the literature is presented and scientific studies on

**Results.** Insufficient consumption of microelements leads to metabolic disorders and the emergence of a range of diseases. Rice with black and red pericarp is one of the most promising sources of antioxidants and microelements; its content is 5-8 times higher than in the grain of usual rice varieties. The study of genetic mechanisms controlling the content of microelements is relevant in connection with their antioxidant and antimicrobial properties. It is established that the intra-species diversity observed at the phenotypic level is associated with both regulatory and structural genes. The study of the mechanism of genetic regulation of the accumulation of microelements in domestic rice varieties at the molecular level has not previously been conducted.

**Conclusion.** Data on the genetic regulation of the synthesis of substances that increase the nutritional value of grain (micro and macro elements, etc.), will allow to intensify the rice breeding for varieties development suitable for the functional food production.

**Keywords:** rice; colored pericarp; microelements; regulatory and structural genes; marker-oriented selection; doubled haploids; SSR markers

**For citation.** Goncharova Yu.K, Gontcharov S.V. Red Grain and Black Grain Rice Varieties as Sources of Microelements and Genetic Regulation of the Trait in Rice Grain. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 164-188. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-772

### **Проблемы, вызываемые недостатком микроэлементов в питании**

Более трех миллиардов человек во всем мире – или половина населения планеты – страдают от дефицита важнейших витаминов и минералов (микро и макроэлементов), таких как витамин А, цинк и железо и т.д. Причем отмечено, что их число с каждым годом увеличивается. Это состояние называется «скрытый голод», так как люди, страдающие от такого вида недоедания, зачастую кажутся здоровыми, однако на самом деле они более уязвимы перед болезнями и инфекциями [12, 20]. В особо тяжелых случаях скрытый голод может стать причиной слепоты, замедления роста и развития интеллекта у детей, снижению зрения, а также повышения риска смерти матери при родах, повышению детской смертности. Основная функция микроэлементов – нормализация обмена веществ, недостаточное их потребление вызывает целый спектр заболеваний [8].

Недостаточное потребление микроэлементов приводит к нарушению обмена веществ и появлению целого спектра заболеваний. В Российской Федерации за последнее десятилетие только заболеваемость злокачественными новообразованиями выросла на 20,4 % [18]. В ассоциации онкологов подсчитали, что для обеспечения лечения всех раковых больных России необходимо 435 млрд. рублей в год. Предотвратить заболевания значительно легче, чем их лечить. По оценкам Американского общества по борьбе с раком, от 30 % до 40 % онкологических заболеваний и смертности при них напрямую связаны с рационом питания, прежде всего, с содержанием антиоксидантов и микроэлементов [25]. Установлено, что каждый второй россиянин нуждается в изменении своего питания, но при этом не имеет для этого достаточно денежных средств. Чернозерный и краснозерный рис – один из самых перспективных источников антиоксидантов и микроэлементов их в нем в 5-8 раз больше чем в белозерных сортах риса. За счет этих свойств черный рис признан «Супер-пищей XXI века». Изучение генетических механизмов, контролирующих содержание микроэлементов, актуально в связи с их антиоксидантными и антимикробными свойствами [11, 41]. Потребление этих элементов и их соединений будет способствовать профилактике онкологических заболеваний, снизит риск сердечнососудистых заболеваний, атеросклероза, диабета второго типа, повысит иммунитет, улучшит синтез зрительных пигментов, активизирует процессы обмена веществ и т.д. [13, 14]. Установлено, что наблюдаемое на фенотипическом уровне внутривидовое разнообразие связано как с регуляторными, так и структурными генами [22]. Изучение механизма генетической регуляции накопления микроэлементов у отечественных сортов

риса на молекулярном уровне не проводилось [2]. Данные о генетической регуляции синтеза веществ, повышающих питательную ценность зерна (микро и макроэлементов и т.д.), позволят интенсифицировать селекцию риса с целью создания сортов для производства функциональных продуктов питания.

Для организма человека жизненно важны все микроэлементы без исключения, так как каждый из них оказывает влияние на ту или иную сферу его функционирования. В первую очередь микроэлементы отвечают за развитие центральной нервной системы, формирование сердечно-сосудистой системы, влияют на работу защитных сил человеческого организма, а также играют существенную роль в снижении количества наиболее часто встречающихся внутриутробных отклонений [25].

Показано, что каких-либо нарушений минерального обмена не отмечено лишь у 4% людей, причем для многих известных заболеваний эти нарушения являются первопричиной или индикатором [11, 37]. В России из-за низкого экономического статуса подавляющего большинства населения среднее потребление свежих фруктов и ягод не превышает 15% от рекомендуемого количества, вследствие чего организм недополучает необходимых витаминов и эссенциальных (жизненно необходимых) микроэлементов. Недостаточность железа, цинка и меди, селена, магния зафиксирована в многочисленных эпидемиологических исследованиях обеспеченности эссенциальными микроэлементами, проведенных и в детских коллективах, в том числе [16]. Численность лиц с неадекватной обеспеченностью жизненно необходимыми микроэлементами во многих случаях достигает или даже превосходит 50% всего обследованного населения, что особенно характерно для малообеспеченных слоев [10]. Факт, что 50% и более этих микроэлементов в питании жителей нашей страны присутствуют в составе растительных продуктов, где их биодоступность низка, только усугубляет ситуацию. Анализ содержания селена в сыворотке крови свидетельствует о риске недостатка этого микроэлемента для значительного числа групп риска жителей Российской Федерации (проживающие в селенодефицитных регионах, беременные женщины и дети раннего возраста, больные гастроэнтерологическими заболеваниями) [9]. В частности, показано, что уровень селена в сыворотке крови более чем у 50% рожениц, обследованных в роддомах г. Рязани, был ниже 50 мкг/л. Общая антиоксидантная активность в сыворотке крови у детей, родившихся от женщин с дефицитом микроэлементов, достоверно снижена по сравнению с младенцами, матери которых были ими адекватно обеспечены.

Эти данные свидетельствуют об актуальности проблемы недостаточной обеспеченности населения РФ рядом жизненно необходимых микроэлементов, что делает необходимым поиск их новых пищевых форм. Возможность синтеза этих веществ в условиях лаборатории проблемы не решает, так как попадание эссенциальных микроэлементов в организм человека вместе с растительной либо животной пищей принесет значительно больше пользы, чем прием полученных в результате химического синтеза препаратов, что связано с возможностью передозировки [5, 19, 20].

Применение микроэлементов в клинической медицине пока носит ограниченный характер. Так, препараты железа, кобальта, меди, марганца эффективно используются в лечении некоторых видов анемий [6, 15]. Нейропротективные препараты, в состав которых входят эссенциальные микроэлементы применяют для лечения заболеваний нервной системы. Показано, что они способствуют восстановлению нарушенных функций и более эффективному действию лекарственных препаратов [15].

Минеральные вещества обладают доказанной антиканцерогенной активностью. Важная роль отводится магнию, кальцию и селену. Наиболее известным противоопухолевым элементом из них является селен. Кроме селена и йода противоопухолевой активностью обладают другие макро- и микроэлементы, содержащиеся в пищевых продуктах. Среди них – германий, калий, кальций, магний, марганец, молибден, медь, цинк [19]. Повышенный риск нарушений обмена микроэлементов отмечен у лиц опасных и вредных профессий. В результате наблюдается целый каскад патологических изменений, ведущий к повышению заболеваемости и снижению профессионального долголетия. Поэтому актуальной задачей профилактической медицины является своевременное выявление лиц с отклонениями в обеспеченности макро- и микроэлементами и проведение коррекционных мероприятий [15].

Еще одна проблема, во многих странах мира отмечен рост числа лиц с избыточной массой. Так, количество жителей с избыточным индексом массы тела за последние 30 лет в США выросло вдвое, причем это особенно актуально для молодых людей [25]. Избыточная масса тела существенно повышает риски возникновения сахарного диабета 2 типа, гипертонической болезни, заболеваний печени и некоторых типов онкологических заболеваний. Связь содержания химических элементов и метаболических нарушений, приводящих к набору массы тела показана в многочисленных работах. Так, отрицательные корреляционные взаимосвязи свидетельствует о связи уровня содержания цинка в организме с повышением индекса массы тела, уровня лептина, глюкозы крови, инсу-

лина плазмы, что подтверждается [27, 28]. Кроме того, снижение концентрации цинка в волосах женщин отмечено с возрастом [31]. Установлена положительная корреляция уровня лептина не только с возрастом, индексом массы тела, но и с уровнем сывороточной меди [55, 56]. Отмечено, что повышение уровня меди в сыворотке крови сопровождалось снижением содержания цинка и магния. В условиях мегаполиса потребность в поступлении магния увеличивается при различных видах стресса [40]. Современная западная диета при этом в большинстве случаев обеднена магнием. Многоэлементный анализ волос здоровых женщин возрастом от 20 до 50 лет показал, что женщины с индексом массы тела менее 18 продемонстрировали повышенное значение в волосах коэффициента Ca/Mg, Fe/Cu, Zn/Cu и снижение коэффициента K/Na по сравнению с контрольной группой (индекс массы тела от 18 до 25). Повышение коэффициента K/Na и снижение коэффициентов Fe/Cu и Zn/Cu в волосах наблюдалось, когда этот индекс превышал 35 [57]. Взаимосвязь между обменом витамина А, йода и цинка также отмечена рядом исследователей. Витамин А оказывает влияние на обменные процессы в щитовидной железе и является одним из факторов, которые способствуют развитию йоддефицитных состояний [46, 58]. Синергетический эффект обнаружен по действию цинка и витамина А на статус данного витамина в организме. Дефицит витамина А в организме можно устранить только при совместном введении с цинком, так как последний играет существенную роль во внутри- и в межклеточном транспорте витамина А [24, 51]. Цинк также принимает участие в поглощении витамина А в кишечнике [23]. Умеренная йодная недостаточность была обнаружена, в частности, у населения Республики Адыгея [17]. Контроль за достаточным поступлением в организм человека витамина А и цинка в регионах с недостаточным содержанием йода в окружающей среде, как отмечается, должен стать одним из обязательных этапов в профилактике йоддефицитных состояний и уменьшении числа групп риска [21]. Функциональные продукты питания, обогащенные витаминами и микронутриентами, таким образом, становятся важным дополнительным источником незаменимых микронутриентов в сложившейся ситуации.

### **Доноры и источники повышенного содержания микроэлементов среди образцов риса**

Недостаток микроэлементов в питании широко распространен в различных странах, особенно среди бедных групп населения, суточное



потребление калорий, которых в основном ограничивается зерновыми культурами [35]. Развитие биофортификации крупы (особенно богатой минералами рисовой) остается эффективным средством борьбе с неполноценным питанием в развивающихся странах и во всем мире, тем более что выявлено значительное снижение содержания микроэлементов в сортах овощей и фруктов в последние годы [4]. Зерновки риса являются важными источниками микроэлементов, таких как железо (Fe), цинк (Zn), марганец (Mn), медь (Cu) и селен (Se), а также токсичных тяжелых металлов, особенно кадмия (Cd). В то же время, в качестве побочного эффекта модернизации, повсеместно становится все более серьезным загрязнение пахотных земель тяжелыми металлами. Концентрация токсичных минералов, особенно кадмия (Cd), увеличивается в зерновых культурах, что угрожает здоровью людей. В настоящее время, в связи с быстрым распространением культивирования риса на Северо-восточном Китае, концентрация микро и макро-элементов в зерне риса подвида  *japonica*  становится все более важной [34]. Повышенное внимание исследователей к культуре риса определяется относительно небольшим геномом, что значительно облегчает работу и позволяет экстраполировать результаты на другие культуры [26, 42, 47, 54]. Кроме того, рис остается самой популярной в мире основной продовольственной культурой. Накопление микроэлементов в зерновке (НМВ) и загрязнение тяжелыми металлами относятся к сложным признакам, контролируемым множественными количественными локусами (QTL). Диапазон вариаций признаков НМВ в измельченных зернах 700 образцов риса: Fe от 0,9 до 9,1 ppm (среднее значение 2,4); Zn от 5,8 до 29,6 ppm (16,4); Cd от 0,002 до 0,054 ppm (0,009); Mn от 3,6 до 22,0 промилле (со средним значением 9,7), Cu от 0,8 до 7,5 ч / млн. (со средним значением 3,2 ч / млн.), Se от 0,01 до 0,11 ч / млн. (со средним значением 0,04 ч / млн.). Большая часть образцов подвида  *japonica*  имеет более высокое содержание Zn и Cu, но более низкие концентрации Cd. Для остальных трех признаков распределение фенотипических значений между двумя подвидами заметно перекрывалось, особенно по концентрации Se. Установлено влияние на значения признаков НМВ множества факторов, включая различные условия окружающей среды, почвы. 38 аллелей (47,5 %) из 80 локусов увеличивали признаки НМВ, 42 (52,5 %) уменьшали [53]. Статистические значения эффектов QTL для НМВ в белом (шлифованном) зерне намного ниже по сравнению с QTL, обнаруженными для признака в зернах бурого риса (табл. 1).

Таблица 1.

**Доноры и источники повышенного содержания микроэлементов  
у образцов риса**

Генотипы риса	Микроэлемент	Источник
SL-32, Annada, ASD16, CH-45, Nagina 22, Swarna, IR-29, Pusa Sugandha-1, IRGC-106187, IR68144-3B-2-2-3, IRGC-105320, IRGC-105320, IRGC-86476, CH-45, Jyoti, HKR-126, Varsha, MSE-9, Jalmagna, Zuchem, Kalabath, Pusa Basmati, Noothipattu, Pitchavari, Thanu, TKM-9, NDR-6279, Aghonibora	Fe (>20 ppm)	35, 36, 52
Nagina 22, Honduras, RG-187, SL-32, Aghoni bora, Annada, ASD-16, Jalmagna, CH-45, BPT-5204, Lalat, Sasyasri, Swarna, IR-29, Pusa Sugandha-1, IRGC-106187, IRGC-105320, IRGC-86476, Benibhog, CH-45, Jyoti, HKR-126, Pant Sugandh-17, Ratna, Chitiimutyalu, Ranbir basmati, IRRI-38, Jeerigesanna, Kalabath, Pusa Basmati, Noothipattu, Madhukar, Swarna, AM-141, Thanu, TKM-9, NDR-6279, Aghonibora and Pitchavari	Zn (>20 ppm)	38, 52

**Генетический механизм, лежащий в основе накопления  
минеральных веществ в зерновке (НМВ)**

На сегодняшний день генетический механизм, лежащий в основе накопления минеральных веществ в зерновке (НМВ) остается в значительной степени неизвестным. Исследования QTL были проведены с различными популяциями риса: рекомбинантные инбредные и дигаллоидные линии, группы сортов контрастные по признаку [49]. Использование для этих целей популяций контрастных по признаку образцов, позволяет значительно сократить трудоемкость исследования, но позволяет выделить только локусы со значительными вкладами в фенотипическое проявление признака [1, 7]. QTL, определяющие изучаемый признак, сгруппированы в зонах на хромосомах 2, 3, 4, 6, 7, и 11. В частности, есть три QTL региона, контролирующие концентрацию Cd в зернах риса на хромосомах 4, 7 и 11, среди которых один на хромосоме 7 найден, как отвечающий за формирование признака в четырех различных работах. Ген был идентифицирован как *OsNramp1*, он отвечает за их накопление в алейроновом слое, а не в эндосперме, который составляет большую часть размолотого зерна [32, 43]. Клонированы и другие гены, идентифицированные как локусы, связанные с накоплением микроэлементов, такие как: *OsVIT* и *OsNAS* для Fe, *OsLCT1*, и *OsHMA3* для Cd, *OsNramp5* и *OsHMA4* для Mn [39]. В настоящее время несколькими молекулярными биологами предпринимаются попытки

с использования эндоспермоспецифичных промоторов, чтобы улучшить НМВ в измельченных зернах [45]. В Китае изучали 698 коллекционных образцов, двух подвидов *indica* и *japonica* для выявления локусов количественных признаков (QTL), связанных с накоплением Fe, Zn, Cu, Mn, Mg и Se. Всего в геноме обнаружено 47 регионов QTL, в том числе 18 локусов и 29 кластеров (охватывающих 62 локуса), ответственных за формирование признака в зерне риса. Было обнаружено, что 10 хромосомных областей, связанных с формированием признака (при изучении контрастных групп сортов) расположенных в регионах, где ранее обнаружены QTL по признаку при картировании популяций [44]. В восьми из этих областей на хромосомах 1, 4, 6, 7 были идентифицированы гены-кандидаты. В общей сложности 192 гена-кандидата были выделены для дальнейшего анализа с использованием полиморфизма миллиона локусов одиночных нуклеотидов (SNP). 37 генов (19,3%) показали достоверную связь ассоциации между QTL и вариацией признака у гаплотипов, путем парного сравнения. Установлены фенотипические значения признаков гаплотипов каждого гена кандидата. Выявлены как гены кандидаты QTL (*qFe6-2* и *qZn7*), так и гены, определяющие основной вклад в формирование признаков НМВ (Fe, Zn и Cd).

В работах, где для картирования QTL этих локусов использовали специализированные популяции, например, беккроссные инбредные линии (backcrossed inbred lines (BILs), полученные от скрещивания донора и элитных сортов был оценен генетический фон и взаимодействие генотип-среда [29, 48, 58]. Идентифицированы 12 локусов, определяющих содержание железа в образцах риса (табл. 2): три локуса расположены на первой хромосоме *qFe.1* - фланкирующие маркеры RM259-RM243, *qFe1.1* (RM243-RM488), *qFe1.2* (RM488-RM490) [30, 49].

Таблица 2.

**Локусы количественных признаков, определяющие содержание микроэлементов в зерновке риса [53]**

Признаки качества	Chr	QTLs	Фланкирующие маркеры	Тип популяции	Популяции	Источник
1	2	3	4	5	6	7
MAC-P	1	<i>qP.1</i>	RM3411	LT/TL-RILs	TeQing/Lemont	43
MAC-K	1	<i>qK.1</i>	RM5501	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-P	1	<i>qP.1</i>	RM495	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Cd	1	<i>qCd.1</i>	RM6840	LT-RILs		
Zn	1	<i>qZn.1</i>	RM34-RM237	DHs	IR64/Azucena	50

Mn	1	<i>qMn.1</i>	RM243-RM312	DHs		
MAC-Co	1	<i>qCo.1</i>	RM490	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Ca	1	<i>qCa1-1</i>	RM6480	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
MAC-P	1	<i>qP1-1</i>	RM212	ILs		
Fe	1	<i>qFe1.1</i>	RM243-RM488	RILs	Madhukar/ Swarna	44
Fe	1	<i>qFe1.2</i>	RM488-RM490	RILs		
Fe	1	<i>qFe.1</i>	RM259-RM243	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
MIC-Fe	2	<i>qFe2-1</i>	RM6641	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
MIC-Cu	2	<i>qCu.2</i>	RM6378	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Sr	2	<i>qSr.2</i>	RM3688	LT-RILs		
Fe	2	<i>qFe.2</i>	RM53-RM300	DHs	IR64/Azucena	50
MIC-Cu	2	<i>qCu.2</i>	RM6378	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Sr	2	<i>qSr.2</i>	RM3688	LT-RILs		
Fe	2	<i>qFe.2</i>	RM53-RM300	DHs	IR64/Azucena	50
MIC-Fe	2	<i>qFe.2</i>	RM452	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MIC-Mn	2	<i>qMn2-1</i>	RM6367	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
MAC-S	2	<i>qS.2</i>	RM266	LT-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Ca	3	<i>qCa.3</i>	RM5626-RM16	LT/TL-RILs		
MAC-Rb	3	<i>qRb.3</i>	RM489	LT-RILs		
MAC-Mg	3	<i>qMg3-1</i>	RM5488	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
Ca	3	<i>qCa.3</i>	RM200-RM227	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
Zn	3	<i>qZn3.1</i>	RM7-RM517	RILs	Madhukar × Swarna	44
PC	3	<i>qPC-3</i>	RM251-RM282	RILs	Xieqingzao B/Milyang	33
Mn	3	<i>qMn.3</i>	RM227-R1925	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
Cu	3	<i>qCu.1</i>	R1925-RM148	RILs		
Cu	5	<i>qCu.5</i>	C1447-RM31	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
PA	5	<i>qPA.5</i>	RM305-RM178	DHs	IR64/Azucena	50
FC	5	<i>qFC-5</i>	RG480-RM274	RILs	Xieqingzao B/Milyang	33
Fe	5	<i>qFe5.1</i>	RM574-RM122	RILs	Madhukar/Swarna	44
MAC-Ca	5	<i>qCa5-1</i>	RM598	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
MIC-Zn	5		RM421	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MIC-Cu	6	<i>qCu6-1</i>	RM204	ILs	<i>O. rufpogon</i> /Teqing	32
Zn	6	<i>qZn.6</i>	RZ398-RM204	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
PC	6	<i>qPC-6</i>	RM190-RZ516	RILs	Xieqingzao B/Milyang	33
MAC-Mg	6	<i>qMg.6</i>	OSR 21	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MIC-Mn	7	<i>qMn.7</i>	RM214	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
Zn	7	<i>qZn7.3</i>	RM501-OsZip2	RILs	Madhukar/Swarna	44
Fe	7	<i>qFe7.1</i>	RM234-RM248	RILs		
MAC-P	7	<i>qP.7</i>	RM70-RM172	DHs	IR64/Azucena	50

MIC-Zn	8	<i>qZn8-1</i>	RM152	ILs	O. rufpogon/Teqing	32
MAC-K	8	<i>qK8-1</i>	RM3572	ILs	O. rufpogon/Teqing	32
Zn	8	<i>qZn.8</i>	RM25-R1629	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
Cu	8	<i>qCu.8</i>	RM201-C472	RILs		
Fe	8	<i>qFe.8</i>	RM137-RM325A	DHs	IR64/Azucena	50
MAC-P	9	<i>qP9-1</i>	RM201	ILs	O. rufpogon/Teqing	32
MAC-Mg	10	<i>qMg.10</i>	RM467	LT-RILs	Lemont/TeQing	43
MAC-Mg	11	<i>qMg.11</i>	RM332	LT/TL-RILs	Lemont/TeQing	43
MIC-Cu	11	<i>qCu.11</i>	RM167	LT-RILs		
Fe	11	<i>qFe.11</i>	RZ536-TEL3	RILs	Zhenshan 97/Minghui	49
Fe	12	<i>qFe.12</i>	RM270-RM17	DHs		
Zn	12	<i>qZn.12</i>	RM235-RM17	DHs		
Fe	12	<i>qFe12.2</i>	RM260-RM7102	RILs	Madhukar/Swarna	44
Fe	12	<i>qFe12.1</i>	RM17-RM260	RILs		
Zn	12	<i>qZn12.2</i>	RM260-RM7102	RILs		

MIC – микроэлементы; MAC – макроэлементы; \* Выделены пиковые маркеры

О генах, связанных с содержанием железа на второй хромосоме *qFe2-1*, *qFe.2* сообщается в нескольких работах, они расположены в районах локализации маркеров *RM6641*, *RM53-RM300* и *RM 452* [32, 43, 50]. На двенадцатой хромосоме также расположено 3 локуса, определяющие признак *qFe.12*, *qFe12.1*, *qFe12.2*, они фланкируются маркерами RM270-RM17, RM17-RM260, RM260-RM7102 соответственно [44]. Также есть сообщения о QTL, определяющих признак на 5 (RM574-RM122), 8 (RM137-RM325A) и 11 хромосомах (RZ536-TEL3) (James et al., 2007). Содержание цинка в образцах риса определяется шестью локусами на хромосомах 1 (RM34-RM237), 3 (RM7-RM517), 5 (RM421), 6 (RZ398-RM204) и 12 (2 локуса) (RM235-RM17, RM260-RM7102) [43, 44, 49, 50]. За содержание магния отвечают 4 хромосомных региона: на 3 (в районе расположения SSR-маркера RM5488), 6 (OSR 21), 10 (RM467), 11 (RM332) хромосомах [32, 43]. Содержание марганца в образцах риса определяется четырьмя локусами: на 1 (RM243-RM312), 2 (RM6367), 3 (RM227-R1925), 7 RM214 хромосомах [32, 43, 49].

Содержание фосфора зависело от полиморфизма двух регионов на первой и девятой хромосоме в районах расположения маркеров RM 212 и RM 201 [3, 32]. Полиморфизм содержания меди связан с шестью хромосомными регионами: на 2 (RM6378), 3 (R1925-RM148), 5 (C1447-RM31), 6 (RM204), 8 (RM201-C472), 11 (RM167) хромосомах [32, 43, 49]. Четыре локуса определяют содержание кальция на 1 (RM6480), 3 (2 локуса) (RM200-RM227, RM5626-RM16) и 5 хромосомах (RM598) [32, 49].

Локусы, определяющие содержание аминокислот, изучала группа китайских ученых [57]. Они выявили девять регионов ответственных за их формирование: 1, 2 (2 локуса), 3, 4, 7, 8 (2 локуса), 9, 10 хромосомах (рис. 1).

Таким образом, на сегодняшний день при создании сортов функционального назначения с использованием маркеров контролируют 12 локусов, определяющих содержание железа в образцах риса: хромосома 1 *qFe.1* (фланкирующие маркеры RM259-RM243), *qFe1.1* (RM243-RM488), *qFe1.2* (RM488-RM490); хромосома 2: *qFe2-1*, *qFe.2* (RM6641, RM53-RM300 и RM452). Хромосома 12: *qFe.12*, *qFe12.1*, *qFe12.2* (RM270-RM17, RM17-RM260, RM260-RM7102); хромосомы 5 (RM574-RM122), 8 (RM137-RM325A), 11 (RZ536-TEL3). Шесть локусов, определяющих содержание цинка: *qZn.1* (RM34-RM237), *qZn.3* (RM7-RM517), *qZn.5* (RM421), *qZn.6* (RZ398-RM204) и *qZn.12* (2 локуса, фланкируются RM235-RM17, RM260-RM7102). Полиморфизм 4 генов связан с содержанием магния: *qMg3-1* в районе расположения SSR маркера RM5488; *qMg6* (OSR 21); *qMg10* (RM467); *qMg11* (RM332). Содержание марганца определяется четырьмя локусами: *qMn.1* (RM243-RM312), *qMn.3* (RM227-R1925), *qMn.2* (RM6367), *qMn.7* (RM214). Содержание меди контролируют, определяя полиморфизмом шести хромосомных регионов: *qCu.2* (RM6378); *qCu.3* (R1925-RM148); *qCu.5* (C1447-RM31); *qCu.6* (RM204); *qCu.8* (RM201-C472); *qCu.11* (RM167).

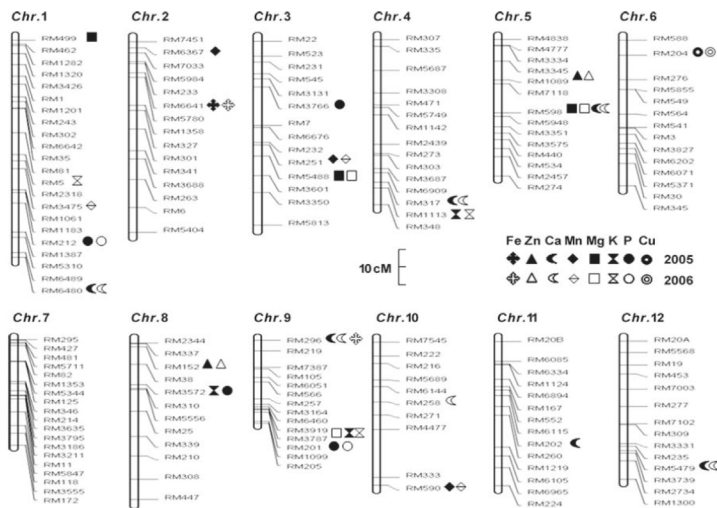


Рис. 1. Положения молекулярных маркеров, сцепленных с локусами, определяющими содержание микроэлементов в зерновках образцов риса [32]

Для маркирования использована популяция интрогрессивных линий полученная при гибридизации сорта Tегing и дикого вида риса *Oryza rufipogon* [32].

Данные о генетической регуляции синтеза веществ, повышающих питательную ценность зерна (микро- и макроэлементов и т.д.), позволят интенсифицировать селекцию риса с целью создания сортов для производства функциональных продуктов питания.

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

**Информация о спонсорстве.** Работа поддержана грантом Фонда содействия инновациям № 4654ГС2/48601.

#### *Список литературы*

1. Гончарова, Ю. К. Молекулярное маркирование в селекции растений на примере риса: монография / Ю. К. Гончарова. М.: Русайнс, 2018. 201 с. URL: <https://book.ru/book/931176> (дата обращения: 24.07.2023).
2. Гончарова Ю.К., Харитонов Е.М. Генетический контроль признаков, связанных с усвоением фосфора у сортов риса (*Oryza sativa* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 2. С. 47-54.
3. Гончарова Ю.К., Харитонов Е.М., Шелег В.А. Молекулярные маркеры генов, определяющих эффективность минерального питания у риса (*Oryza sativa* L.): мини-обзор. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 515-525.
4. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания / Фотев Ю.В., Пивоваров В.Ф., Артемьева А.М., Куликов И.М., Гончарова Ю.К., Сысо А.И., Гончаров Н.П. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 7. С. 776-783.
5. Маймулов В.Г., Нагорный С.В., Шабров А.В. Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях. СПб: СПбГМА им. И.И. Мечникова, 2000. 342 с.
6. Микроэлементный статус вегетарианцев – жителей крупного промышленного центра Западной Сибири / Турчанинов Д.В., Ерофеев Ю.В., Вильямс Е.А., Баранова Т.А. // Микроэлементы в медицине. 2007. Т. 8. № 1. С. 41-42.
7. Молекулярное маркирование признаков, определяющих качество зерна у российских сортов риса / Гончарова Ю.К., Харитонов Е.М., Малюченко Е.А., Бушман Н.Ю. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22. № 1. С. 79-87.

8. Назаров А.А. Долголетие без болезней. Минеральные воды на страже здоровья. М.: ИИЦ «Открытое Решение», 2008. 152 с.
9. Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектromетрии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектротметрии с индуктивно связанной плазмой: Методические указания. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. 56 с.
10. Оценка элементного статуса работников металлургического производства: методологический аспект / Фомин И.Н., Соколов С.П., Грабеклис А.Р., Надоров С.А., Скальный А.В. // Микроэлементы в медицине. 2007. Т. 8. № 1. С. 25–29.
11. Получение, оценка качества и безопасности новых пищевых источников эссенциальных микроэлементов / Гмошинский И.В., Зорин С.Н., Баяржаргал М., Сафронова А.М., Мартынова Е.А., Шилина Н.М., Гмошинская М.В., Мазо В.К. // Микроэлементы в медицине. 2007. Т. 8. № 1. С. 21-23.
12. Распространенность поведенческих факторов риска сердечнососудистых заболеваний в российской популяции по результатам исследования ЭС-СЭ-РФ / Баланова Ю.А., Концевая А.В., Шальнова С.А., Деев А.Д., Артамонова Г.В., Гагагонова Т.М., Дупляков Д.В., Ефанов А.Ю., Жернакова Ю.В., Ильин В.А., Конради А.О., Либис Р.А., Минаков А.В., Недогода С.В., Оганов Р.Г., Ощепкова Е.В., Романчук С.В., Ротарь О.П., Трубачева И.А., Шляхто Е.В. // Профилактическая медицина. 2014. Т. 17. № 5. С. 42-51.
13. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе / Тутельян В.А., Княжев В.А., Хотимченко С.А., Голубкина Н.А., Кушлинский Н.Е., Соколов Я.А. М.: Издательство РАМН, 2002. 224 с.
14. Скальный А.В. Распространенность микроэлементозов у детей в различных регионах России // Материалы Всероссийской школы «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы». М., 2000. С. 209-211.
15. Скальный А.В., Быков Б.В. Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003. 198 с.
16. Содержание селена и антиоксидантная активность молозива, грудного молока, сыворотки крови рожениц и их новорожденных детей в Москве и Рязани / Гмошинский И.В., Шилина Н.М., Дмитриев А.В., Алешина М.В.Г.И.В., Фатеева Е.М., Мазо В.К., Конь И.Я. // Вопросы детской диетологии. 2004. Т. 2. № 5. С. 16-21.
17. Состояние здоровья сельских жителей республики АДЫГЕЯ по результатам первого этапа диспансеризации / Самородская И.В., Болотова Е.В., Тимофеева Ю.К., Ххитлянов Э.А. // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. 2016. Т. 15. № 2. С. 112-120.



18. Состояние онкологической помощи населению России в 2016 году / ред. Каприн А.Д., Старинский В.В., Петрова Г.В. М.: МНИОИ им. П.А. Герцен, филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2017. 236 с.
19. Тутельян В.А. Коррекция микронутриентного дефицита важнейший аспект концепции здорового питания населения России // Вопросы питания. 1999. №. 1. С. 3-11.
20. Цикуниб А.Д., Агиров А.Х., Цику Р.Х. Традиции и адаптационные свойства пищи. Майкоп, 1998. 68 с.
21. Цинк в питании человека физиологические потребности и биодоступность / Мазо В.К., Гмошинский И.В., Скальный А.В., Сысоев Ю.А. // Вопросы питания. 2002. Т. 71. № 3. С. 46-51.
22. Хлесткина Е.К., Шоева О.Ю., Гордеева Е.И. Гены биосинтеза флавоноидов пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 4/1. С. 784-796.
23. Ahn J, Koo S.I. Effects of zinc and essential fatty acid deficiencies on the lymphatic absorption of vitamin A and secretion of phospholipids // Journal of Nutritional Biochemistry. 1995. Vol. 12. № 6. P. 595–603.
24. Alterations in plasma essential trace elements selenium, manganese, zinc, copper, and iron concentrations and the possible role of these elements on oxidative status in patients with childhood asthma / Kocyigit A., Armutcu F., Gurel A., Ermis B. // Biological Trace Element Research. 2004. Vol. 97. № 1. P. 31-41.
25. Changes in cardiovascular health in the United States, 2003-2011 / Pilkerton C.S., Singh S.S., Bias T.K., Frisbee S.J. // American Heart Association. 2015. Vol. 4. P. 38-42.
26. Changes in mineral elements and starch quality of grains during the improvement of japonica rice cultivars / Hao Z., Chao Y., Danping H., Hailang L., Huiting Z., Rongrong T., Han C., Junfei G., Lijun L., Zujian Z., Zhiqin W., Jianchang Y. // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2018. Vol. 98. № 1. P. 122-133.
27. Chen M.D., Lin P.Y., Sheu W.H.H. Zinc status in plasma of obese individuals during glucose administration // Biological Trace Element Research. 1997. Vol. 60. № 1-2. P. 123-129.
28. Chen M.D., Song Y.M., Lin P.Y. Zinc may be a mediator of leptin production in humans // Life Science. 2000. Vol. 66. № 22. P. 2143-2149.
29. Comparative mapping of chalkiness components in rice using five populations across two environments / Peng B., Wang L., Fan C., Jiang G., Luo L., Li Y., He Y. // BMC Genetics. 2014. Vol. 15. № 49. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-49>
30. Concentration of calcium, copper, iron, magnesium, potassium, sodium and zinc in adult female hair with different body mass indexes in Taiwan / Wang C.T.,

- Chang W.T., Zeng W.F., Lin C.H. // *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2005. Vol. 43. № 4. P. 389-393.
31. Determination of serum copper, zinc and selenium in healthy subjects / Gha-you-Mobarham M., Taylor A., New S.A., Lamb D.J., Ferns G.A. // *Annals of Clinical Biochemistry*. 2005. Vol. 42. № 5. P. 365-375.
  32. Genetic identification of quantitative trait loci for contents of mineral nutrients in rice grain / Garcia-Oliveira A.L., Tan L., Fu Y., Sun C. // *Journal of Integrative Plant Biology*. 2009. Vol. 51. P. 84-92.
  33. Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice / Yu Y.H., Li G., Fan Y.Y., Zhang K.Q., Min J., Zhu Z.W., Zhuang J.Y // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 50. № 1. P. 121-125.
  34. Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces / Huang X., Wei X., Sang T., Zhao Q., Feng Q., Zhao Y., Li C., Zhu C., Lu T., Zhang Z., Li M., Fan D., Guo Y., Wang A., Wang L., Deng L., Li W., Lu Y., Weng Q., Liu K., Huang T., Zhou T., Jing Y., Li W., Lin Z., Buckler E.S., Qian Q., Zhang Q.F., Li J., Han B. // *Nature Genetics*. 2010. Vol. 42. № 11. P. 961-967.
  35. Gregorio G.B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops // *Journal of Nutritional*. 2002. Vol. 132. P. 500-50.
  36. Gregorio, G.B., Senadhira, D. Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) // *Theoretical and Applied Genetics*. 1993. Vol. 86. P. 333–338.
  37. Hansen M., Sandstrom B., Lonnerdal B. The effect of casein phosphopeptides on zinc and calcium absorption from high phytate infant diets assessed in rat pups and Caco-2 cells // *Pediatric Research*. 1996. Vol. 40. № 4. P. 547-552.
  38. Identification of putative candidate gene markers for grain zinc content using recombinant inbred lines (RIL) population of IRRI38 X Jeerigesanna / Gande N.K., Kundur pp.J., Soman R., Ambati R., Ashwathanarayana R., Bekele B.D., Shashidhar H.E. // *African Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 13. № 5. P. 657-663.
  39. Iron fortification of rice seeds through activation of the nicotianamine synthase gene / Lee S., Jeon U.S., Lee S.J., Kim Y.K., Persson D.pp., Husted S., Schjorring J.K., Kakei Y., Masuda H., Nishizawa N.K., Ana G. // *Proceedings of the National Academy of Science*. 2009. Vol. 106. № 51. P. 22014-22019.
  40. Kumeda Y., Inaba M. Metabolic syndrome and magnesium // *Clinical Calcium*. 2005. Vol. 15. № 11. P. 1859-1866.
  41. Kushwaha, U.K. *Black Rice*. Springer International Publishing Switzerland. 2016. 192 p.

42. Lee G.H., Yun B.W., Kim K.M. Analysis of QTLs associated with the rice quality related gene by double haploid populations // *International Journal of Genomics*. 2014. Vol. 2014, Article ID 781832, 6 p.
43. Mapping and validation of quantitative trait loci associated with concentrations of 16 elements in unmilled rice grain / Zhang M., Pinson S.R., Tarpley L., Huang X., Lahner B., Yakubova E., Baxter I.R., Guerinot M., Salt D.E. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2014. Vol. 127. № 1. P. 137-165.
44. Mapping QTLs and candidate genes for iron and zinc concentrations in unpolished rice of Madhukar. Swarna RILs / Anuradha K., Agarwal S., Rao Y.vol., Rao K., Viraktamath B., Sarla N. // *Gene*. 2012. Vol. 508. № 2. P. 233–240.
45. Nicotianamine, a novel enhancer of rice iron bioavailability to humans / Zheng L., Cheng Z., Ai C., Jiang X., Bei X., Zheng Y., Glahn R.pp., Welch R.M., Miller D.D., Lei X.G., Shou H. // *Plos One*. 2010. Vol. 5. № 4. 10190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010190>
46. Oba K., Kimura S Effect of vitamin A deficiency on thyroid function and serum thyroxine levels in the rat // *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 1980. Vol. 26. P. 327-334.
47. QTL mapping and Q X E interactions of grain cooking and nutrient qualities in rice under upland and lowland environments / Yongmei G., Ping M., Jiafu L., Yixuan L., Zichao L. // *Acta Genetica Sinica*. 2007. Vol. 34. P. 420–428.
48. QTL mapping of grain quality traits in rice / Lou J., Chen L., Yue G., Lou Q., Mei H., Xiong L., Luo L. // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 50. P. 145–151.
49. Quantitative trait loci controlling Cu, Ca, Zn, Mn and Fe content in rice grains / Kaiyang L., Lanzhi L., Xingfei Z., Zhihong Z., Tongmin M., Hu Z. // *Journal of Genetics*. 2008. Vol. 87. № 3. P. 305-310.
50. Quantitative trait loci for phytate in rice grain and their relationship with grain micronutrient content / James C.R., Huynh B.L., Welch R.M., Choi E.Y., Graham R.D. // *Euphytica*. 2007. Vol. 154. № 3. P. 289-294.
51. Rahman A.S., Macnee W. Role of oxidant/antioxidant in smoking-induced lung diseases // *Free Radical Biology and Medicine*. 1996. Vol. 21. P. 669-682.
52. Babu Ravindra V. Importance and advantages of rice biofortification with iron and zinc // *An Open Access Journal published by ICRISAT. SAT*. 2013. Vol. 11. P. 1-6.
53. Rice grain nutritional traits and their enhancement using relevant genes and QTLs through advanced approaches / Mahender A., Anandan A., Kumar S., Pandit pp., Pandit E. // *SpringerPlus*. 2016. Vol. 5, 2086. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3744-6>
54. Scanning QTLs for grain shape using a whole genome SNP array in rice / Hu W., Wen M., Han Z., Tan C., Xing Y. // *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*. 2013. Vol. 104. № 1. P. 2-5.

55. Serum copper, zinc, ceruloplasmin and superoxide dismutase in Thai overweight and obese / Tungtrongchitr R., Pongpaew pp. Phonrat B., Tungtrongchitr A., Vudhivai N., Schepl F.pp. // Journal of the Medical Association of Thailand. 2003. Vol. 86. № 6. P. 543-551.
56. Serum Cu levels and not Zn are positively associated with serum leptin concentrations in the healthy adult population / Olusi S., Al-Awardhi A., Abiaka C., Abraham M., George S. // Biological Trace Element Research. 2004. Vol. 100. № 1. P. 95-96.
57. The QTL controlling amino acid content in grains of rice (*Oryza sativa* L.) are co-localized with the regions involved in the amino acid metabolism pathway / Wang L., Zhong M., Li X., Yuan D., Xu Y., Liu H., He Y., Luo L., Zhang Q. // Molecular Breeding. 2008. Vol. 21. P. 127-137.
58. Xu X., Bai G. Whole-genome resequencing: changing the paradigms of SNP detection, molecular mapping and gene discovery // Molecular Breeding. 2015. Vol. 35. № 33. <https://doi.org/10.1007/s11032-015-0240-6>
59. Zimmermann M.B. Iodine Deficiency // Endocrine Reviews. 2009. Vol. 30. № 4. P. 376-408.

### References

1. Goncharova Yu.K. *Molekulyarnoe markirovanie v selektsii rasteniy na primere risa : monografiya* [Molecular labeling in plant breeding on the example of rice]. M.: RU Science, 2018. 201 p. URL: <https://book.ru/book/931176> (accessed July 24, 2023).
2. Goncharova Yu.K., Kharitonov E.M. Geneticheskii kontrol' priznakov, svyazannykh s usvoeniem fosfora u sortov risa (*Oryza sativa* L.). [Genetic control of traits associated with the absorption of phosphorus in rice varieties (*Oryza sativa* L.)]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov's journal of genetics and plant breeding], 2015. vol. 19, no. 2, pp. 47-54.
3. Goncharova Yu.K., Kharitonov E.M., Sheleg V.A. Molekulyarnye markery genov, opredelyayushchikh effektivnost' mineral'nogo pitaniya u risa (*Oryza sativa* L.): mini-obzor. [Molecular markers of genes that determine the effectiveness of mineral nutrition in rice (*Oryza sativa* L.): a mini-review]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural biology], 2017, vol. 52, no. 3, pp. 515-525.
4. Fotev Yu.V., Pivovarov V.F., Artem'eva A.M., Kulikov I.M., Goncharova Yu.K., Syso A.I., Goncharov N.P. Kontseptsiya sozdaniya Rossiyskoy natsional'noy sistemy funktsional'nykh produktov pitaniya [The concept of creating the Russian National System of Functional Foods] *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov's journal of genetics and plant breeding], 2018, vol. 22, no. 7, pp. 776-783.

5. Maymulov V.G., Nagornyy C.B., Shabrov A.B. *Osnovy sistemnogo analiza v ekologo-gigienicheskikh issledovaniyakh* [Fundamentals of system analysis in ecological and hygienic research]. SPb: SPbGMA im. I.I. Mechnikova, 2000, 342 p.
6. Turchaninov D.V., Erofeev Yu.V., Vi-l'yams E.A., Baranova T.A. Mikroelementnyy status vegetariantsev – zHITELEY krupnogo promyshlennogo tsentra Zapadnoy Sibiri [Microelement status of vegetarians - residents of a large industrial center of Western Siberia]. *Mikroelementy v meditsine* [Microelements in the medicine], 2007, vol. 8, no. 1, pp. 41–42.
7. Goncharova Yu.K., Kharitonov E.M., Malyuchenko E.A., Bushman N.Yu. Molekulyarnoe markirovanie priznakov, opredelyayushchikh kachestvo zerna u rossiyskikh sortov risa [Molecular marking of traits that determine grain quality in Russian rice varieties]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* [Vavilov's journal of genetics and plant breeding], 2018, vol. 22, no. 1, pp. 79-87.
8. Nazarov A.A. *Dolgoletie bez bolezney. Mineral'nye vody na strazhe zdorov'ya* [Longevity without disease. Mineral waters on guard of health]. M.: Otkrytoe Reshenie, 2008, 152 p.
9. *Opreделение khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i prepara-takh metodami atomno-emissionnoy spektrometrii s induktivno svyazan-noy plazmoy i mass-spektrometrii s induktivno svyazannoy plazmoy: Metodicheskie ukazaniya* [Determination of chemical elements in biological media and preparations by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry: Guidelines]. M.: Federal'nyy tsentr gos-sanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2003, 56 p.
10. Fomin I.N., Sokolov S.P., Grabeklis A.R., Nadorov S.A., Skal'nyy A.V. Otsenka elementnogo statusa rabotnikov metallurgicheskogo proizvodstva: metodologicheskiy aspekt [Assessment of the elemental status of workers in metallurgical production: methodological aspect], *Mikroelementy v meditsine* [Microelements in the medicine], 2007, vol. 8, no. 1, pp. 25–29.
11. Gmoshinskiy I.V., Zorin S.N., Bayarzhargal M., Safronova A.M., Martynova E.A., Shilina N.M., Gmoshinskaya M.V., Mazo V.K. Poluchenie, otsenka kachestva i bezopasnosti novykh pishchevykh istochnikov essential'nykh mikroelementov [Obtaining, assessing the quality and safety of new food sources of essential trace elements]. *Mikroelementy v meditsine* [Microelements in the medicine], 2007, vol. 8, no. 1, pp. 21-23.
12. Balanova Yu.A., Kontsevaya A.V., Shal'nova S.A., Deev A.D., Artamonova G.V., Gatagonova T.M., Duplyakov D.V., Efanov A.Yu., Zhernakova Yu.V., Il'in V.A., Konradi A.O., Libis R.A., Minakov A.V., Nedogoda S.V., Oganov R.G., Oshchepkova E.V., Romanchuk S.V., Rotar' O.P., Trubacheva I.A., Shlyakhto E.V. Rasprostranennost' povedencheskikh faktorov riska serdechnosudil'nykh

- zabolevaniy v rossiyskoy populyatsii po rezul'tatam issledovaniya ESSE-RF [The prevalence of behavioral risk factors for cardiovascular diseases in the Russian population according to the results of the ESSE-RF study], *Profilakticheskaya meditsina* [Preventive medicine], 2014, vol. 17, no. 5, pp. 42-51.
13. Tutel'yan V.A., Knyazhev V.A., Khotimchenko S.A., Golubkina N.A., Kushlinskiy N.E., Sokolov Ya.A. *Selen v organizme cheloveka: metabolizm, antioksidantnye svoystva, rol' v kantserogeneze* [Selenium in the human body: metabolism, antioxidant properties, role in carcinogenesis]. M.: RAMN, 2002, 224 p.
  14. Skal'nyy A.V. Rasprostranennost' mikroelementozov u detey v razlichnykh regionakh Rossii [The prevalence of microelementoses in children in various regions of Russia], *Materialy Vserossiyskoy shkoly «Geokhimicheskaya ekologiya i biogeokhimicheskoe rayonirovanie biosfery»* [Materials of the All-Russian school «Geochemical ecology and biogeochemical zoning of the biosphere»]. M., 2000, pp. 209-211.
  15. Skal'nyy A.V., Bykov B.V. *Ekologo-fiziologicheskie aspekty primeneniya makro- i mikroelementov v vosstanovitel'noy meditsine* [Ecological and physiological aspects of the use of macro- and microelements in restorative medicine]. Orenburg, 2003, 198 p.
  16. Gmoshinskiy I.V., Shilina N.M., Dmitriev A.V., Aleshina M.V.G.I.V., Fateeva E.M., Mazo V.K., Kon' I.Ya. Soderzhanie selena i antioksidantnaya aktivnost' moloziya, grudnogo moloka, syvorotki krovi rozhenits i ikh novorozhdennykh detey v Moskve i Ryazani [Selenium content and antioxidant activity of colostrum, breast milk, blood serum of women in labor and their newborns in Moscow and Ryazan], *Voprosy detskoy dietologii* [Questions of children's dietology], 2004, vol. 2, no. 5, pp. 16-21.
  17. Samorodskaya I.V., Bolotova E.V., Timofeeva Yu.K., Tkhitlyanov E.A. Sostoyanie zdorov'ya sel'skikh zhitel'ey respubliki Adygeya po rezul'tatam pervogo etapa dispanserizatsii [The state of health of rural residents of the Republic of Adygea according to the results of the first stage of clinical examination], *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Smolensk State Medical Academy], 2016, vol. 15, no. 2, pp. 112-120.
  18. *Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2016 godu* [The state of oncological care for the population of Russia in 2016], Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Petrova G.V., editors. M.: MNIOI im. P.A. Gertsen, 2017, 236 p.
  19. Tutel'yan V.A. Korrektsiya mikronutrientnogo defitsita vazhneyshiy aspekt kontseptsii zdorovogo pitaniya naseleniya Rossii [Correction of micronutrient deficiency is the most important aspect of the concept of healthy nutrition of the population of Russia]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 1999, no. 1, pp. 3-11.

20. Tsikunib A.D., Agirov A.Kh., Tsiku R.Kh. *Traditsii i adaptatsionnye svoystva pishchi* [Traditions and adaptive properties of food], Maykop, 1998, 68 p.
21. Mazo V.K., Gmoshinskiy I.V., Skal'nyy A.V., Sysoev Yu.A. Tsink v pitanii cheloveka fiziologicheskie potrebnosti i biodostupnost' [Zinc in human nutrition physiological requirements and bioavailability]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 2002, vol. 71, no. 3, pp. 46-51.
22. Khlestkina E.K., Shoeva O.Yu., Gordeeva E.I. Geny biosinteza flavonoidov pshenitsy [Genes for the biosynthesis of wheat flavonoids]. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* [Vavilov's journal of genetics and plant breeding], 2014, vol. 18, no. 4/1, pp. 784-796.
23. Ahn J, Koo S.I. Effects of zinc and essential fatty acid deficiencies on the lymphatic absorption of vitamin A and secretion of phospholipids. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 1995, vol. 12, no. 6. pp. 595–603.
24. Kocyigit A., Armutcu F., Gurel A., Ermis B., Alterations in plasma essential trace elements selenium, manganese, zinc, copper, and iron concentrations and the possible role of these elements on oxidative status in patients with childhood asthma. *Biological Trace Element Research*, 2004, vol. 97, no. 1, pp. 31–41.
25. Pilkerton C.S., Singh S.S., Bias T.K., Frisbee S.J., Changes in cardiovascular health in the United States, 2003-2011. *American Heart Association*, 2015, vol. 4, pp. 38-42.
26. Hao Z., Chao Y., Danping H., Hailang L., Huiting Z., Rongrong T., Han C., Junfei G., Lijun L., Zujian Z., Zhiqin W., Jianchang Y., Changes in mineral elements and starch quality of grains during the improvement of japonica rice cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, vol. 98, no. 1, pp. 122-133.
27. Chen M.D., Lin P.Y., Sheu W.H.H. Zinc status in plasma of obese individuals during glucose administration. *Biological Trace Element Research*, 1997, vol. 60, no. 1-2, pp. 123-129.
28. Chen M.D., Song Y.M., Lin P.Y. Zinc may be a mediator of leptin production in humans, *Life Science*, 2000, vol. 66, no. 22, pp. 2143-2149.
29. Peng B., Wang L., Fan C., Jiang G., Luo L., Li Y., He Y. Comparative mapping of chalkiness components in rice using five populations across two environments. *BMC Genetics*, 2014, vol. 15, no. 49. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-15-49>
30. Wang C.T., Chang W.T., Zeng W.F., Lin C.H. Concentration of calcium, copper, iron, magnesium, potassium, sodium and zinc in adult female hair with different body mass indexes in Taiwan. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 2005, vol. 43, no. 4, pp. 389-393.
31. Ghayour-Mobarham M., Taylor A., New S.A., Lamb D.J., Ferns G.A. Determination of serum copper, zinc and selenium in healthy subjects. *Annals of Clinical Biochemistry*, 2005, vol.42, no. 5, pp. 365-375.



32. Garcia-Oliveira A.L., Tan L., Fu Y., Sun C. Genetic identification of quantitative trait loci for contents of mineral nutrients in rice grain. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, vol. 51, pp. 84-92.
33. Yu Y.H., Li G., Fan Y.Y., Zhang K.Q., Min J., Zhu Z.W., Zhuang J.Y Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice. *Journal of Cereal Science*, 2009, vol. 50, no. 1, pp. 121-125.
34. Huang X., Wei X., Sang T., Zhao Q., Feng Q., Zhao Y., Li C., Zhu C., Lu T., Zhang Z., Li M., Fan D., Guo Y., Wang A., Wang L., Deng L., Li W., Lu Y., Weng Q., Liu K., Huang T., Zhou T., Jing Y., Li W., Lin Z., Buckler E.S., Qian Q., Zhang Q.F., Li J., Han B. Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces. *Nature Genetics*, 2010, vol. 42, no. 11, pp. 961-967.
35. Gregorio G.B. Progress in breeding for trace minerals in staple crops. *Journal of Nutritional*, 2002, vol. 132, pp. 500-550.
36. Gregorio, G.B., Senadhira, D. Genetic analysis of salinity tolerance in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 1993, vol. 86, pp. 333-338.
37. Hansen M., Sandstrom B., Lonnerdal B. The effect of casein phosphopeptides on zinc and calcium absorption from high phytate infant diets assessed in rat pups and Caco-2 cells. *Pediatric Research*, 1996, vol. 40, no. 4, pp. 547-552.
38. Gande N.K., Kundur pp.J., Soman R., Ambati R., Ashwathanarayana R., Bekele B.D., Shashidhar H.E. Identification of putative candidate gene markers for grain zinc content using recombinant inbred lines (RIL) population of IRRI38 X Jeerigesanna. *African Journal of Biotechnology*, 2014, vol. 13, no. 5, pp. 657-663.
39. Lee S., Jeon U.S., Lee S.J., Kim Y.K., Persson D.pp., Husted S., Schjorring J.K., Kakei Y., Masuda H., Nishizawa N.K., Ana G. Iron fortification of rice seeds through activation of the nicotianamine synthase gene. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2009, vol. 106, no. 51, pp. 22014-22019.
40. Kumeda Y., Inaba M. Metabolic syndrome and magnesium. *Clinical Calcium*, 2005, vol. 15, no. 11, pp. 1859-1866.
41. Kushwaha, U.K. *Black Rice*. Springer International Publishing Switzerland, 2016, 192 p.
42. Lee G.H., Yun B.W., Kim K.M. Analysis of QTLs associated with the rice quality related gene by double haploid populations. *International Journal of Genomics*, 2014, vol. 2014, Article ID 781832.
43. Zhang M., Pinson S.R., Tarpley L., Huang X., Lahner B., Yakubova E., Baxter I.R., Guerinot M., Salt D.E. Mapping and validation of quantitative trait loci associated with concentrations of 16 elements in unmilled rice grain. *Theoretical and Applied Genetics*, 2014, vol. 127, no. 1, pp. 137-165.



44. Anuradha K., Agarwal S., Rao Y.vol., Rao K., Viraktamath B., Sarla N. Mapping QTLs and candidate genes for iron and zinc concentrations in unpolished rice of Madhukar. Swarna RILs. *Gene*, 2012, vol. 508, no. 2, pp. 233–240.
45. Zheng L., Cheng Z., Ai C., Jiang X., Bei X., Zheng Y., Glahn R.pp., Welch R.M., Miller D.D., Lei X.G., Shou H. Nicotianamine, a novel enhancer of rice iron bioavailability to humans. *Plos One*, 2010, vol. 5, no. 4, 10190. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010190>
46. Oba K., Kimura S Effect of vitamin A deficiency on thyroid function and serum thyroxine levels in the rat. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 1980, vol. 26, pp. 327-334.
47. Yongmei G., Ping M., Jiafu L., Yixuan L., Zichao L. QTL mapping and Q X E interactions of grain cooking and nutrient qualities in rice under upland and lowland environments. *Acta Genetica Sinica*, 2007, vol. 34, pp. 420–428.
48. Lou J., Chen L., Yue G., Lou Q., Mei H., Xiong L., Luo L., QTL mapping of grain quality traits in rice. *Journal of Cereal Science*, 2009, vol. 50, pp. 145-151.
49. Kaiyang L., Lanzhi L., Xingfei Z., Zhihong Z., Tongmin M., Hu Z. Quantitative trait loci controlling Cu, Ca, Zn, Mn and Fe content in rice grains. *Journal of Genetics*, 2008, vol. 87, no. 3, pp. 305–310.
50. James C.R., Huynh B.L., Welch R.M., Choi E.Y., Graham R.D. Quantitative trait loci for phytate in rice grain and their relationship with grain micronutrient content. *Euphytica*, 2007, vol. 154, no. 3, pp. 289-294.
51. Rahman A.S., Macnee W. Role of oxidant/antioxidant in smoking-induced lung diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, 1996, vol. 21, pp. 669–682.
52. Ravindra Babu V. Importance and advantages of rice biofortification with iron and zinc. *An Open Access Journal published by ICRISAT. SAT*. 2013, vol. 11, pp. 1-6.
53. Mahender A., Anandan A., Kumar S., Pandit P., Pandit E. Rice grain nutritional traits and their enhancement using relevant genes and QTLs through advanced approaches. *SpringerPlus*, 2016, vol. 5, 2086. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3744-6>
54. Hu W., Wen M., Han Z., Tan C., Xing Y. Scanning QTLs for grain shape using a whole genome SNP array in rice. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*, 2013, vol. 104, no. 1, pp. 2-5.
55. Tungtrongchitr R., Pongpaew P. Phonrat B., Tungtrongchitr A., Vudhivai N., Schepf F.P. Serum copper, zinc, ceruloplasmin and superoxide dismutase in Thai overweight and obese. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 2003, vol. 86, no. 6, pp. 543-551.
56. Olusi S., Al-Awardhi A., Abiaka C., Abraham M., George S. Serum Cu levels and not Zn are positively associated with serum leptin concentrations in the

- healthy adult population. *Biological Trace Element Research*, 2004, vol. 100, no. 1, pp. 95-96.
57. Wang L., Zhong M., Li X., Yuan D., Xu Y., Liu H., He Y., Luo L., Zhang Q. The QTL controlling amino acid content in grains of rice (*Oryza sativa* L.) are co-localized with the regions involved in the amino acid metabolism pathway, *Molecular Breeding*, 2008. vol. 21, pp. 127-137.
58. Xu X., Bai G. Whole-genome resequencing: changing the paradigms of SNP detection, molecular mapping and gene discovery. *Molecular Breeding*, 2015, vol. 35, no. 33, <https://doi.org/10.1007/s11032-015-0240-6>
59. Zimmermann M.B. Iodine Deficiency. *Endocrine Reviews*, 2009, vol. 30, no. 4, pp. 376-308.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Гончарова Юлия Константиновна**, доктор биологических наук, заведующая лабораторией генетики и гетерозисной селекции  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный Научный Центр РИСА»; ООО «Аратай» посёлок Белозерный, 3, г. Краснодар, 50921, Российская Федерация*  
*yuliya\_goncharova\_20@mail.ru*

**Гончаров Сергей Владимирович**, доктор биологических наук, заведующий кафедрой генетики, селекции и семеноводства  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация*  
*serggontchar@hotmail.com*

### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Yulia K. Goncharova**, Dr. Sc. (Biology), Head of the Laboratory of Genetics and heterosis Breeding

*Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Rice Centre»; LLC «Aratay»*

*3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russian Federation*

*yuliya\_goncharova\_20@mail.ru*

*SPIN-code: 2127-9490*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2643-7342>*

*ResearcherID:*

*Scopus Author ID: 55330951600*

**Sergey V. Gontcharov**, Dr. Sc. (Biology), Head of the Genetics, Plant Breeding and Seed Production Department

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin»*

*13, Kalinina Str., Krasnodar, 35044, Russian Federation*

*serggontchar@hotmail.com*

*SPIN-code: 5882-8021*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6317-7175>*

*ResearcherID: V-8501-2017*

*Scopus Author ID: 36442282400*

Поступила 05.08.2023

После рецензирования 30.08.2023

Принята 10.09.2023

Received 05.08.2023

Revised 30.08.2023

Accepted 10.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

УДК 632.4.01/08:632.952:632.95.025.8



Научная статья | Защита растений

## ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИСХОДНОЙ И САДОВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ VENTURIA INAEQUALIS К ФУНГИЦИДАМ КЛАССА ИНГИБИТОРОВ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ (SDHI)

*А.И. Насонов, Г.В. Якуба, И.Л. Астанчук, Н.А. Марченко*

**Обоснование.** Среди пятнистостей яблони ведущую роль по значимости и вредоносности играет парша. Использование фунгицидов с узкоспецифичным механизмом действия против возбудителя болезни может приводить к развитию устойчивости у патогена.

**Цель.** Оценить чувствительность моноспоровых изолятов *Venturia inaequalis* из популяций, различающихся историей взаимодействия с фунгицидами к действующим веществам (д.в.) из химического класса SDHI боскалиду и флуксапироксаду в экспериментах *in vitro*.

**Материалы и методы исследования.** Чувствительность изолятов *in vitro* оценивали по росту мицелия при различных концентрациях боскалида и флуксапироксада и выражали как эффективную 50%-ю концентрацию ( $ЭК_{50}$ ).

**Результаты.** Значения  $ЭК_{50}$  боскалида для всех популяций варьировали в диапазоне значений от 0,04 до <300 мг д. в. /л, а среднее значение составило 16,27 мг д. в. /л. Фактор резистентности (ФР) для боскалида для различных садовых популяций варьировал от 2 до 8, а доля резистентных изолятов была невысока. Среднее значение  $ЭК_{50}$  флуксапироксада для популяций составило 0,259 мг д. в. /л. ФР по флуксапироксаду не превышал 4, а для двух садовых популяций составил всего 2, что показывает незначительное смещение чувствительности в этих популяциях относительно «исходной».

**Заключение.** Впервые в мире были получены значение  $ЭК_{50}$  боскалида для исходной популяции. Активность флуксапироксада против патогена оказалась выше, чем у боскалида. Для всех садовых популяций было показано снижение чувствительности к исследуемым фунгицидам в сравнении с исходной популяцией. Предполагается, что относительно невысокое сме-

ценение чувствительности к карбоксиаидам для исследованных популяций обуславливается использованием в регионе этих д.в. в виде смесевых препаратов в составе с действующими веществами, имеющими другой механизм действия.

**Ключевые слова:** чувствительность; *Venturia inaequalis*; исходная популяция; ЭК<sub>50</sub>; фактор резистентности

**Для цитирования.** Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л., Марченко Н.А. Чувствительность исходной и садовых популяций *Venturia inaequalis* к фунгицидам класса ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 189-210. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

Original article | Plant Protection

## SENSITIVITY BASELINE AND ORCHARD POPULATIONS OF *VENTURIA INAEQUALIS* TO THE SUCCINATE DEHYDROGENASE INHIBITOR FUNGICIDES (SDHI)

*A.I. Nasonov, G.V. Yakuba, I.L. Astapchuk, N.A. Marchenko*

**Background.** Scab plays the leading role in terms of significance and harmfulness among apple-spotted spots. The use of fungicides with a highly specific mechanism of action against the pathogen can lead to the development of resistance in the pathogen.

**Purpose.** To assess the sensitivity of monospore isolates of *Venturia inaequalis* from a population with different histories of interaction with fungicides to the active substances of the SDHI chemical class boscalid and fluxapiroxad in vitro.

**Materials and methods.** The in vitro sensitivity of isolates was assessed by mycelial growth at various concentrations of boscalid and fluxapiroxad and expressed as an effective 50% concentration (EC<sub>50</sub>).

**Results.** Boscalid EC<sub>50</sub> values for all populations ranged from 0.04 to <300 mg a.i./l, and the average value was 16.27 mg a.i./l. The resistance factor (RF) for boscalid in various garden populations varied from 2 to 8, and the proportion of resistant isolates was not high. The population mean EC<sub>50</sub> of fluxapiroxade was 0.259 mg a.i./l. The RF for fluxapiroxad did not exceed 4, and for two garden populations it was only 2, which indicates a slight shift in sensitivity in these populations relative to the "initial".

**Conclusion.** For the first time in the world, the EC<sub>50</sub> value of the boscalid was obtained for the initial population. The activity of fluxapiraxad against the pathogen was higher than that of boscalid. For all orchards populations, a decrease in sensitivity to the investigated fungicides was shown in comparison with the original population. It is assumed that a relatively low shift in sensitivity to carboxamides for the studied populations is due to the use of these DIs in the region in the form of mixed preparations with fungicides that have a different mechanism of action.

**Keywords:** sensitivity; *Venturia inaequalis*; baseline population; EC<sub>50</sub>; resistance factor

**For citation.** Nasonov A.I., Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Marchenko N.A. Sensitivity Baseline and Orchard Populations of *Venturia inaequalis* to the Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicides (SDHI). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 189-210. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-707

## Введение

Среди пятнистостей яблони ведущую роль, как по значимости, так и по вредоносности играет парша. Причиной заболевания, выступает облигатный паразит *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter, характеризующийся высокой генетической изменчивостью и пластичностью. Традиционное управление его численностью основано на многократном применении фунгицидов в течение вегетационного периода и обусловлено малым количеством коммерчески востребованных сортов растения-хозяина с устойчивостью к патогену [3]. Широкое использование фунгицидов с узкоспецифичным механизмом действия привело к дальнейшей селекции устойчивых к токсическому действию изолятов и, как следствие, к снижению эффективности фунгицидов, о чем свидетельствует широко распространенная устойчивость к стробилуринам [17, 23]. В России была зафиксирована долговременная устойчивость к бензимидазолам, а также существенное снижение чувствительности популяции патогена к одному из фунгицидов из химической группы ингибиторов деметилирования (DMI) – дифеноконазолу [4, 6]. Кроме этого, в РФ отмечалось снижение чувствительности садовой популяции возбудителя парши яблони к ципродинулу, фактор резистентности которой составил 7 [5]. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенов вызывает необходимость в постоянном поиске и создании новых средств и подходов защиты против них [1, 25].

Относительно недавно были зарегистрированы новые химические вещества в классе ингибиторов сукцинатдегидрогеназы (SDHI) для борьбы с болезнями яблони, и с этими продуктами появляются новые возможности для эффективного контроля парши. Хотя фунгициды этой группы впервые вышли на рынок препаратов в 1960-х годах, эти оригинальные химические вещества не нашли широкого применения в защите яблони из-за узкого диапазона действия [24]. Новое поколение фунгицидов этого класса обладает высокой эффективностью в отношении широкого спектра аскомицетов, включая *V. inaequalis*, воздействуя на комплекс II митохондрий и нарушая клеточное дыхание [22].

Фунгициды SDHI характеризуются высокой внутренней активностью и специфичностью их мишени, что предопределяет высокий риск развития устойчивости [8]. FRAC определяет этот риск на уровне среднего или высокого [16]. Популярность более новых фунгицидов SDHI будет расти в связи с уходом условно «старых» препаратов, к которым развивается устойчивость, что ограничивает возможности для их химической ротации. Сейчас на территории Российской Федерации для использования против парши яблони зарегистрирован достаточно большой перечень коммерческих препаратов, содержащих действующие вещества из химического класса SDHI: Аффет, КС и Фонтелис, КС (д.в. пентиопирад); Серкадис Плюс, КС (д. в. флуксапироксад + дифеноконазол); Миравис, СК (д.в. пидифлуметофен); Беллис, ВДГ (д. в. боскалид + пиракlostробин); и Луна Транквилити, КС (д. в. флуопирам + пириметанил) [7]. Это подчеркивает необходимость мониторинга устойчивости патогена к фунгицидам SDHI для обеспечения долговечности этого класса фунгицидов. Хотя в настоящее время нет известных популяций *V. inaequalis* с устойчивостью к фунгицидам SDHI, устойчивость к ним найдена у других видов грибов, таких, например, как *Stagonosporopsis citrulli*, *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata*, и др. [20, 13, 9]. Таким образом, высокий риск развития резистентности, а также факты её развития у других грибов указывают на необходимость тщательного мониторинга чувствительности *V. inaequalis* к этим фунгицидам.

### **Материалы и методы исследования**

Изучали моноспоровые изоляты *V. inaequalis*, выделенные из разных садов яблони, возделываемых по интенсивной технологии, и естественных экотопов яблони восточной Западного Предкавказья, а также действующие вещества из химической группы ингибиторов сукцинатдегидрогеназы

(SDHI, карбоксамиды): боскалид и флуксапироксад. Предметом исследования являлась чувствительность чистых культур микроорганизма к различным концентрациям д.в. фунгицидов.

Оценена чувствительность 192 изолятов, представленных 5 популяциями, различающимися видо- или сортопринадлежностью растения-хозяина, местом отбора, размером выборки, историей обработок фунгицидами и другими показателями (табл. 1).

Таблица 1.

**Описание использованных в работе популяций *Venturia inaequalis***

№	Название популяции	Кол-во изолятов	Возраст сада, лет	Место отбора	Вид или сорт яблони
1	Исходная	47	-	ст. Калужская	<i>Malus orientalis</i>
2	Гагр19к	50	8	п. Агроном	Гала
3	РСнм22	24	8	ст. Новомышастовская	Ренет Симиренко
4	ДЖагр20	44	3	п. Агроном	Жеромин
5	РСопх	27	10	г. Краснодар	Ренет Симиренко

Отбор поражённого патогеном материала проводили с апреля по сентябрь, при этом отбирали листовой опад с первичной инфекцией или вегетирующие листья с пятнами спороношения вторичной инфекции. Популяция изолятов «Исходная» отличалась от остальных тем, что она никогда не контактировала с фунгицидами и была выделена на лесных опушках с произрастаниями *Malus orientalis* Uglitzk. Другие популяции выделены из различных садов яблони домашней, в которых применялись фунгициды, содержавшие в качестве одного из действующих веществ SDHI-фунгицид. Популяции «РСнм22» и «РСопх» отобрали с сорта Ренет Симиренко, а популяции «Гагр19к» и «ДЖагр20» – с сортов Гала и Жеромин, соответственно. При этом две последние популяции были из п. Агроном, тогда как «РСнм22» – ст. Новомышастовская, а «РСопх» – г. Краснодара. Наибольшими по объёму были популяции «Исходная», «Гагр19к» и «ДЖагр20», примерно в два раза меньше – популяции «РСнм22» и «РСопх».

Патоген получали двумя способами: из псевдотециев на листовом опаде или из поражений на вегетирующих листьях яблони. В первом случае использовали методику Насонова [2]. Метод предполагал предварительную дезинфекцию опада с дальнейшим помещением его в крышку перевернутой вверх дном чашки Петри, содержащей водный агар, и инку-



бированием ночью при 18-20°C. Единичные проросшие споры находили под микроскопом при 40х увеличении и переносили на картофельно-глюкозный агар (КГА), включавший в себя также антибиотики тетрациклина гидрохлорид и хлорамфеникол в конечной концентрации 50 мг/л. Состав КГА: картофельный отвар, 20 г глюкозы и 20 г микробиологического агара на литр дистиллированной воды. Питательную среду стерилизовали при 121°C 20 мин. Антибиотики добавляли после стерилизации и остывании среды до температуры около 55°C.

Изоляты патогена из вегетирующих листьев получали по общепринятой методике [18].

Посевы инкубировали в термостате при 20°C не менее 30-ти суток для получения изолятов размером от 10 до 30 мм.

Оценку чувствительности проводили в полимерных чашках Петри диаметром 90 мм на КГА с добавлением фунгицида и без него.

В качестве действующих веществ фунгицидов использовали однокомпонентные коммерческие препараты Серкадис, КС, содержащий 300 мг/л флуксапироксада и Кантус, ВДГ – 500 г/кг боскалида (производитель ООО «БАСФ», Германия). Для анализа чувствительности патогена к флуксапироксаду готовили среды с 6-ю вариантами его концентрации: 0,001; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5 и 1,0 мг д. в./л. Для анализа чувствительности к боскалиду для исходной популяции использовали среды с концентрациями: 0,005; 0,01; 0,1; 0,5; 1,0 и 5,0 мг д. в./л., а для садовой популяции – 0,01; 0,1; 1,0; 5,0; 10,0 и 50,0 мг д. в./л. Для боскалида была оценена чувствительность 5-ти популяций, для флуксапироксада – 4-х. В контрольные чашки Петри фунгициды не вносили.

Фунгициды добавляли в стерилизованную при 121°C 20 мин среду и остывшую до температуры около 55°C, предварительно приготовив водные стоковые растворы. Различные варианты сред засеивали кусочком агара с мицелием изолята диаметром около 5-ти мм, полученным пробковым буром из краевой зоны чистой культуры патогена. Каждый вариант посева повторяли дважды. Инокулированные чашки помещали в термостат ТС-200 СПУ при 20°C и инкубировали в течении месяца. В дальнейшем измеряли диаметр изолята штангенциркулем с точностью до 1 мм. Полученные данные выражали в значения относительного роста мицелия как отношение опытного варианта к контрольному варианту, помноженное на 100 % [18].

Концентрацию действующего вещества, которая вызывала 50 %-е снижение роста мицелия в опытном варианте относительно контрольного – ЭК<sub>50</sub>, определяли с применением пробит анализа [15]. Степень развития устойчивости популяции к фунгициду выражали в виде фактора рези-

стентности (ФР, resistance factor), представлявшего собой разность между  $ЭК_{50}$  «фунгицидной» популяции и  $ЭК_{50}$  «исходной» популяции.

*Статистическая обработка данных.* Для оценки различий между изученными популяциями на основе средних значений  $ЭК_{50}$  использовали критерий Манна–Уитни. Корреляционные связи между различными препаратами оценивали с использованием линейного регрессионного анализа. Расчёты производили с использованием статистических онлайн-калькуляторов Statistics Kingdom [19]. Гистограммы распределения создавали с использованием статистических инструментов Excel Microsoft.

### Результаты и обсуждение

Проанализированные субпопуляции характеризовались различной чувствительностью в отношении разных фунгицидов.

*Боскалид.* Значения  $ЭК_{50}$  для всех 5-ти популяций варьировали в широком диапазоне значений – от 0,04 до значений, превышающих 300 мг д. в. /л, а среднее значение составило 16,27 мг д. в. /л. Частотное распределение этих значений достоверно отличалось ( $p < 0,001$ ) от нормального и имело вид логонормальной кривой с максимумом в левой части распределения (рисунок 1).

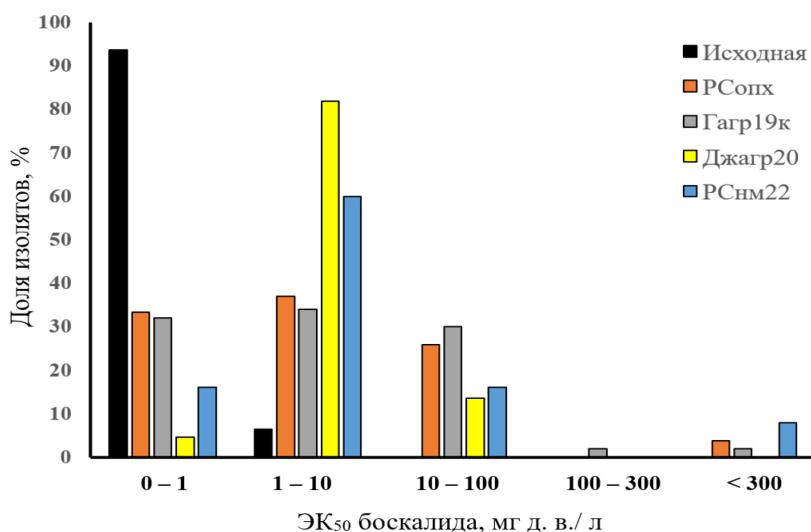


Рис. 1. Встречаемость различных значений  $ЭК_{50}$  боскалида в популяциях *Venturia inaequalis*

Большинство изолятов «исходной» популяции имели значения  $ЭК_{50}$  в диапазоне 0-1 мг д.в. /л, тогда как для садовых популяций этот диапазон соответствовал значениям 1-10 мг д. в./л. Наибольшие значения, превышающие 300 мг д.в. /л, были характерны только для садовых популяций (рисунок 1).

Варьировали также и средние значения  $ЭК_{50}$  для различных популяций (таблица 2). Для «Исходной» популяции оно было наименьшим, а для «РСопх» наибольшим, составив 3,70 и 33,35 мг д.в. /л соответственно, что указывает на высокую чувствительность первой. Среди садовых популяций самой чувствительной была популяция «ДЖагр20», с  $ЭК_{50}$  – 7,38 мг д. в. /л. По средним значениям  $ЭК_{50}$  на основе критерия Манна – Уитни достоверно различались между собой популяция «Исходная» и 3 садовых популяций: «Гагр19к», «ДЖагр20» и «РСопх», но не популяция «РСнм22». При этом «РСнм22» имела достаточно высокое среднее значение  $ЭК_{50}$  близкое к таковому у популяции «РСопх» и соответствующее значение фактора резистентности (ФР), равное 8.

Однако, если проанализировать частотное распределение значений  $ЭК_{50}$  у изолятов (рисунок 1), то можно заметить, что высокое среднее значение  $ЭК_{50}$  этой популяции обусловлено несколькими максимальными значениями  $ЭК_{50}$  в то время как основная часть изолятов была представлена в диапазоне со значениями 1-10 мг д. в. /л.

В целом, подавляющее число изолятов садовых популяций имели значения  $ЭК_{50}$  от 0,5 до 50 мг д. в. /л, а выше последней концентрации встречались единичные «резистентные» изоляты со значениями, достигавшими от 80 до 600 мг д. в. /л и выше. Таких изолятов было 3 в популяции «Гагр19к», по 2 – в популяциях «РСнм22» и «РСопх» и 1 – в «ДЖагр20» (таблица 2). Таким образом, доля таких «резистентных» изолятов была невелика.

Полученные нами данные частично совпадают с литературными. Необходимо сказать, что исследований по оценке чувствительности *V. inaequalis* к боскалиду проведено очень мало. При этом в них отсутствовала исходная популяция, как таковая, потому что исследования проводились только на популяциях, испытавших воздействие фунгицидов. Поэтому средние значения  $ЭК_{50}$  боскалида для возбудителя парши яблони получены нами впервые в мире.

В работе итальянских исследователей в качестве исходных использовали только три изолята, отобранные в садах, в которых не проводились обработки фунгицидами [21]. Однако конкретные значения  $ЭК_{50}$  для исходных изолятов они не сообщают, более того, выборка из 3-х изолятов

является недостаточной для получения достоверного с популяционной точки зрения результата.

Таблица 2.

**Значения ЭК<sub>50</sub> и фактора резистентности (ФР) боскалида для различных популяций *Venturia inaequalis*, мг д. в./л**

Название популяции	Среднее	Min	Max	Размах	ФР*	ЭК <sub>50</sub> >50 мг/л, шт.***
Исходная	3,70a**	0,04	35,86	797	-	-
Гагр19к	19,91б	0,07	361,40	5129	5	3
РСНМ22	29,05аб	0,76	551,00	729	8	2
ДЖагр20	7,38б	0,56	80,58	144	2	1
РСопх	33,35б	0,15	671,00	4336	9	2

\*ФР – фактор резистентности; \*\*различные буквы показывают наличие значимых различий между популяциями по значениям ЭК<sub>50</sub>; \*\*\* – количество изолятов со значениями ЭК<sub>50</sub>, превышающими 50 мг д. в. /л

Большинство штаммов ими были условно определены как чувствительные к боскалиду со значениями ЭК<sub>50</sub> 0,85 ± 0,3 мг д. в. /л и ФР < 10. Четыре штамма были охарактеризованы как устойчивые штаммы, один из которых имел ФР 12, тогда как другие имели ФР > 90, со значениями ЭК<sub>50</sub>, близкими или превышающими полевые нормы для боскалида (138,6 мг/л). В нашем исследовании исходная популяция была отобрана на лесных опушках естественных экотопов дикой яблони восточной и составила 47 изолятов, что достаточно для корректного определения среднего значения «исходного» ЭК<sub>50</sub>. Если оперировать средними значениями ЭК<sub>50</sub> для оценённых популяций, то в нашем исследовании значения ФР не превышали 9 для самой устойчивой популяции. Однако если брать в расчёт отдельные изоляты из садовых популяций, то было 8 изолятов со значениями ФР выше 80 (таблица 2). Таким образом, доля «резистентных» изолятов в нашем исследовании была такой же небольшой, как и в работе итальянских коллег.

Наши данные отчасти согласуются и с исследованиями чувствительности греческой садовой популяции *V. inaequalis* к боскалиду [12]. В их исследовании также не была отобрана исходная популяция. Вся выборка изученных популяций, отобранных в 12 коммерческих садах, была в результате исследований разделена по значениям ЭК<sub>50</sub> условно на две группы: чувствительные и умеренно резистентные. Средние значения ЭК<sub>50</sub> для чувствительной группы составили 1,98 мг д. в. /л, что немного ниже полу-

ченных нами средних значений  $ЭК_{50}$  для исходной популяции (таблица 2). В группе умеренно резистентных изолятов средние значения показателя составили 23,86 мг д. в. /л, что также соответствует среднему значению показателя для всех 4-х изученных нами садовых популяций и составляющему 22,42 мг д. в. /л. Однако, если брать диапазоны значений  $ЭК_{50}$ , которые для греческой популяции составляли от 12,94 до 37,21 мг д. в. /л, то диапазоны для садовых популяций в наших исследованиях были значительно шире: от 0,07 до 671,00 мг д. в. /л.

Общим, как нам кажется, в исследованиях европейских популяций патогена и нашем исследовании, является выявление сравнительно небольшого количества резистентных к боскалиду изолятов в садовых популяциях. Так, в садах Севера Италии было найдено всего 4 таких изолята, в Греции – всего 5 из 100 изолятов были охарактеризованы как умеренно устойчивые, в нашей популяции 8 изолятов из 190 имели значения  $ЭК_{50}$  выше 50,00 мг д. в. /л. В целом, можно сказать, что чувствительность популяции *V. inaequalis* сохраняется примерно на одном уровне, и значительного накопления резистентных изолятов не происходит. Это может быть объяснено использованием боскалида в основном в виде двухкомпонентного препарата Беллис, ВДГ, который содержит 252 г/кг этого д. в., относящегося к SDHI, и 128 г/кг пираклостробина. Именно такой состав препарата, включающий компоненты с различными механизмами действия, препятствует направленному отбору устойчивых изолятов к действующим веществам и является одной из антирезистентных стратегий. Исходя из разрешённой для применения против парши яблони нормы расхода препарата в России [7] – 0,8 кг/1000 л, концентрация боскалида составляет 201,6 мг д. в. /л, что в десять раз превышает полученные нами средние значения  $ЭК_{50}$  для садовой популяции патогена Краснодарского края.

*Флуксапироксад.* Изучение чувствительности изолятов *V. inaequalis* к флуксапироксаду, показал его большую активность в отношении патогена в сравнении с боскалидом в среднем почти в 10 раз. В сравнении с боскалидом, у флуксапироксада был меньше разброс значений – от 0,01 до 1,4 мг д. в. /л и выше, а также более равномерное распределение изолятов в различных диапазонах значений (рисунок 2).

Среднее значение  $ЭК_{50}$  флуксапироксада для всех проанализированных популяций составило 0,259 мг д. в. /л. Ожидаемо самым низким значением среди популяций было значение у «Исходной» – 0,144 мг д. в. /л (таблица 3). Это значение было немного ниже, чем полученное американскими учёными для исходной популяции и показавшее 0,228 мг д. в. /л [10], од-

нако оно было в 8 раз выше, чем  $ЭК_{50}$  итальянской исходной популяции – 0,018 мг д. в. /л [14].

Значимых различий между средними значениями  $ЭК_{50}$  «Исходной» популяции и садовых популяций не было найдено, за исключением популяции «РСнм22». Средние значения садовых популяций были достаточно близки и для популяций «Гагр19к» и «ДЖагр20», они составили 0,266 и 0,255 мг д.в. /л соответственно, а для «РСнм22» – 0,513 мг д. в. /л, которое было наибольшим (таблица 3). При этом ФР не превышал 4, а для двух садовых популяций составил всего 2, что показывает незначительное смещение чувствительности в этих популяциях относительно «Исходной».

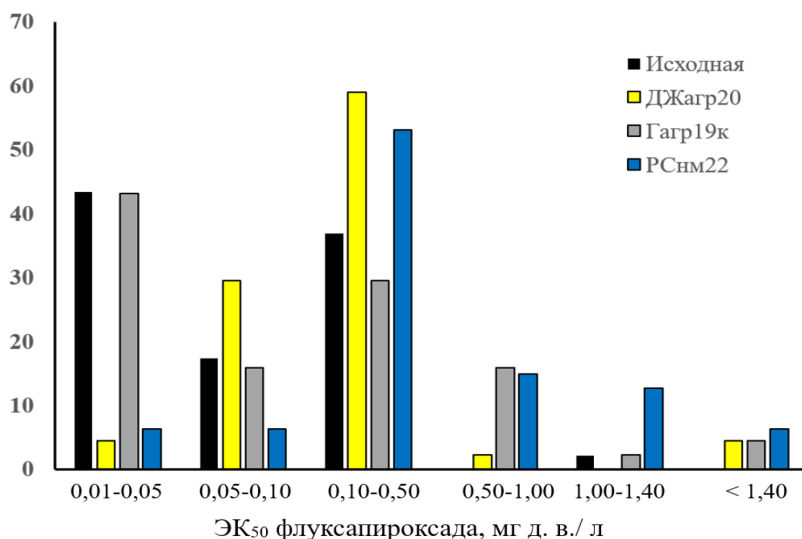


Рис. 2. Встречаемость различных значений  $ЭК_{50}$  флуксапироксада в популяциях *Venturia inaequalis*

В мировой научной литературе имеется только одно исследование чувствительности садовых популяций *V. inaequalis* к флуксапироксаду [14]. В этой работе были показаны более низкие средние значения  $ЭК_{50}$ , в сравнении с нашими данными. Исследователями также было показано наличие различий в чувствительности патогена к этому фунгициду по годам; со временем происходило возрастание значения  $ЭК_{50}$ . Так, в течение трех лет исследований – 2014, 2015 и 2016 – значения  $ЭК_{50}$  составляли 0,118, 0,120 и 0,160 мг д. в. /л соответственно. Также происходил рост ФР: с 6,5 в 2014

году до 8,8 в 2016 году. Значения ФР в нашем исследовании были в 1,5-2 раза меньше, что обусловлено более высоким уровнем ЭК<sub>50</sub> для исходной популяции патогена в регионе.

Таблица 3.

**Значения ЭК<sub>50</sub> и фактора резистентности (ФР) флуксапироксада для различных популяций *Venturia inaequalis*, мг д. в./л**

Популяции	Среднее	Min	Max	Размах	ФР
Исходная	0,144а	0,010	1,433	137	-
Гагр19к	0,266аб	0,016	1,599	101	2
РСнм22	0,513б	0,020	1,715	86	4
ДЖагр20	0,255аб	0,03	3,711	124	2

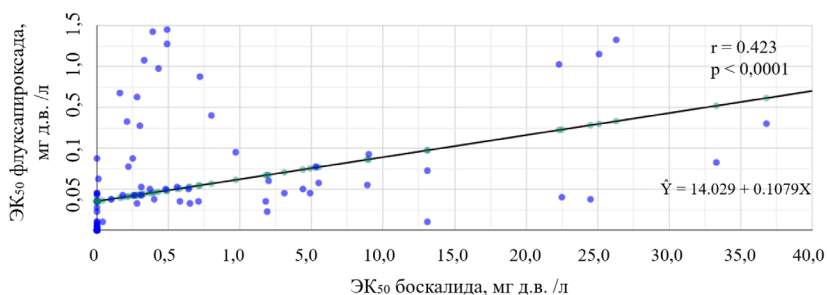
\*ФР – фактор резистентности; \*\*различные буквы показывают наличие значимых различий между популяциями по значениям ЭК<sub>50</sub>

Полученные данные показывают незначительное смещение чувствительности у патогена к флуксапироксаду, что непонятно, так как, учитывая высокую активность действующего вещества и узкоспецифический механизм действия, можно было предположить развитие резистентности, как это было показано в научной литературе для стробилуринов. На этот факт указывают также исследователи из Италии [14]. Ими было отмечено, что, несмотря на обнадеживающие результаты в лабораторных условиях в экспериментах *in vivo*, активность SDHI в полевых популяциях с проблемами в контроле парши была очень низкой и заметно уступала исходным популяциям. Однако такая ситуация выявлялась коллегами только при лечебном применении (52-54 часа), тогда как при профилактическом (70 - 72 часа) редукция была очень незначительной или отсутствовала.

Относительное небольшое смещение чувствительности к флуксапироксаду, показанное нами в экспериментах *in vitro* для местной садовой популяции, может быть обусловлено, также как и для боскалида, разрешением на использование против парши яблони в России только смешанного препарата Серкадис Плюс, КС, содержащего кроме 75 г/л флуксапироксада ещё и 50 г/л дифеноконазола. Таким образом, наличие действующих веществ из разных химических классов с отличающимся механизмом действия – SDHI и триазолов – обеспечивает антирезистентный эффект препарата. Ауер с соавторами показали в течении нескольких лет эксперимента, что популяция, против которой применяли флуксапироксад в смеси с пираклостробиноном, была более чувствительной, по сравнению с популяцией, которая контролировалась только флуксапироксадом [11].

*Перекрестная резистентность.* Флуксапироксад относится к химической группе пиразол-4-карбоксимидов, а боскалид – к группе пиримидин-карбоксамидов [16]. Несмотря на множество химических групп, представленных в классе фунгицидов SDHI, все они имеют один и тот же целевой сайт воздействия, что может быть причиной перекрестной устойчивости. В настоящее время устойчивость к фунгицидам SDHI еще не зарегистрирована у *V. inaequalis*, и, следовательно, перекрестная устойчивость остается неизвестной. Однако из-за разной чувствительности к различному химическому составу фунгицидов SDHI мы определили перекрестную чувствительность для исходных изолятов для этих двух действующих веществ.

Наблюдалась значимая ( $P < 0,0001$ ) средняя положительная корреляция, составившая  $r = 0,423$ , между боскалидом и флуксапироксадом (рисунок 3).



**Рис. 3.** Линейная корреляция между значениями ЭК<sub>50</sub> изолятов исходной популяции патогена к флуксапироксаду и боскалиду

Возникновение перекрестной чувствительности неудивительно из-за сходного механизма действия всех SDHI.

На американской популяции патогена была показана разной степени силы положительная корреляция между различными фунгицидами из класса SDHI: бензовиндифлупира, пентиопирада, флуксапироксада и инпирфлуксама [10].

### Заключение

На выборке из 192 моноспоровых изолята из различных популяций *Venturia inaequalis* была определена чувствительность к двум действующим веществам фунгицидов из химического класса SDHI – боскалиду и флуксапироксаду. Впервые в мире были получены значение ЭК<sub>50</sub> боскалида для исходной популяции патогена, которое составило 3,70 мг д. в. /л. Активность



флуксапироксада против патогена оказалась выше, чем у боскалида. В целом, для всех садовых популяций, которые испытывали воздействие SDHI фунгицидов, было показано снижение чувствительности к исследуемым фунгицидам в сравнении с исходной популяцией. Для боскалида это снижение было несколько выше, чем для флуксапироксада, но значения фактора резистентности (ФР) не превышали 9. Предполагается, что относительно невысокое смещение чувствительности к карбоксамидам для большей части исследованных садовых популяций обусловливается использованием в регионе этих д.в. в виде смесевых препаратов в составе с действующими веществами, имеющими другой механизм действия.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/109.

#### *Список литературы*

1. Иванова Е.В., Никишина М.Б., Третьякова А.В., Мухторов Л.Г., Переломов Л.В., Атрощенко Ю.М. Изучение фунгицидной активности новых производных 7-R-1,5-динитро-3,7-диазабицикло [3.3.1] нонан-2-она // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 5. С. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
2. Насонов А.И. Новый способ получения культуры *Venturia inaequalis* из аскоспор // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53(1). С. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
3. Насонов А.И., Супрун И.И. Парша яблони: особенности возбудителя и патогенеза // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 5. С. 275-285.
4. Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л. Чувствительность краснодарской популяции *Venturia inaequalis* к дифеноконазолу, ингибитору деметилирования стерина // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 4. С. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
5. Насонов А.И., Якуба Г.В., Астапчук И.Л., Степанов И.В. Чувствительность к ципродинилу популяций возбудителя парши яблони из краснодарских садов *in vitro* // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. № 79 (1). С. 186-202. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-186-202>
6. Насонов А.И., Якуба Г.В., Лободина Е.В. Длительное сохранение резистентности к карбендазиму у *Venturia inaequalis* в Краснодарском крае

- (Россия) // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 5. С. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
7. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории Российской Федерации. Вып. 8. Ч.1 Пестициды. М.: ИП Луцаева Н.Я. Полиграфические услуги». 2023. 846 с. Информация приведена по состоянию на 3 октября 2022 г. <https://direct.farm/post/spravochnik-pestitsidov-i-agrokhimikatov-2023-g-12940>
  8. Avenot H. F., Michailides T. J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi // Crop Prot. 2010. Vol. 29. P. 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>
  9. Avenot H., Sellam A., Michailides T. 2009. Characterization of mutations in the membrane-anchored subunits AaSDHC and AaSDHD of succinate dehydrogenase from *Alternaria alternata* isolates conferring field resistance to the fungicide boscalid // Plant Pathol. 2009. Vol. 58. P. 1134-1143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02154.x>
  10. Ayer K., Villani S. M., Choi M. W., Cox K. Characterization of the VisdhC and VisdhD genes in *Venturia inaequalis* and sensitivity to fluxapyroxad, pydiflumetofen, inpyrflumax and benzovindiflupyr // Plant Dis. 2019. Vol. 103. P. 1092-1100. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1225-RE>
  11. Ayer K. M., Choi M. W., Smart S. T., Moffett A. E., Cox K. D. The Effects of Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicide Dose and Mixture on Development of Resistance in *Venturia inaequalis* // Applied and Environmental Microbiology. 2020. Vol. 86(17). P. e01196-20. <https://aem.asm.org/content/aem/86/17/e01196-20.full.pdf>
  12. Chatzidimopoulos M., Zambounis A., Lioliopoulou F., Vellios E. Detection of *Venturia inaequalis* Isolates with Multiple Resistance in Greece // Microorganisms. 2022. Vol. 10. №. 12. P. 2354. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122354>
  13. Fernández-Ortuño D., Pérez-García A., Chamorro M., de la Peña E., de Vicente A., Torés J. A. Resistance to the SDHI Fungicides Boscalid, Fluopyram, Fluxapyroxad and Penthiopyrad in Botrytis cinerea from Commercial Strawberry Fields in Spain // Plant Dis. 2017. Vol. 101. P. 1306-1313. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0067-RE>
  14. Fiaccadori R., Battistini G. Biological Methodologies on SDHI Fungicides to Assess Reductions of Sensitivity and Activity on *Venturia inaequalis* and Cross-Resistance Tests // American Journal of Plant Sciences. 2021. Vol. 12. №. 7. С. 1124-1134. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127078>

15. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: UK, 1971. 383 p.
16. FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Accessed March 2022. [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2)
17. Frederick Z. A., Villani S. M., Cooley D. R., Biggs A. R., Raes J. J., Cox K. D. Prevalence and stability of qualitative QoI resistance in populations of *Venturia inaequalis* in the Northeastern United States // Plant Dis. 2014. Vol. 98. P. 1122-1130. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-13-1042-RE>
18. Köller W., Wilcox W. F., Barnard J., Jones A. L., Braun P. G. Detection and Quantification of Resistance of *Venturia inaequalis* Populations to Sterol Demethylation Inhibitors // Phytopathology. 1997. Vol. 87. P. 184-190. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.184>
19. Statistics Kingdom - statistics online calculators. <https://www.statskingdom.com/index.html>
20. Thomas A., Langston D. B., Stevenson K. L. Baseline sensitivity and cross-resistance to succinate-dehydrogenase-inhibiting and demethylation-inhibiting fungicides in *Didymella bryoniae* // Plant Dis. 2012. Vol. 96. P. 979-984. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0744-RE>
21. Toffolatti S. L., Venturini G., Bianco P. A. First report of SDHI resistant strains of *Venturia inaequalis* from commercial orchards in Northern Italy // Plant Disease. 2016. Vol. 100. №. 11. P. 2324. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0361-PDN>
22. Villani S. M., Ayer K., Cox K. D. Molecular characterization of the *sdhB* gene and baseline sensitivity to penthiopyrad, fluopyram, and benzovindiflupyr in *Venturia inaequalis* // Plant Disease. 2016. Vol. 100(8). P. 1709-1716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1512-RE>
23. Villani S. M., Cox K. D. Heteroplasmy of the cytochrome b gene in *Venturia inaequalis* and its involvement in quantitative and practical resistance to Trifloxystrobin // Phytopathology. 2014. Vol. 104. P. 945-953. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-13-0158-R>
24. Xiong L., Shen Y.-Q., Jiang L.-N., Zhu X.-L., Yang W.-C., Huang W., Yang G.-F. Succinate Dehydrogenase: An ideal target for fungicide discovery // Discovery and Synthesis of Crop Protection Products. American Chemical Society. 2015. P. 175-194
25. Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Mazyrin E.S., Nasonov A.I., Milovanov A.V. The first report on the mycoparasite *Trichothecium roseum* (Pers. 1809) on *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter in Russia // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Vol. 14. № 3. P. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-11-23>

### References

1. Ivanova E.V., Nikishina M.B., Mukhtorov L.G., Perelomov L.V., Atrosh-chenko Yu.M. Izuchenie fungicidnoj aktivnosti novyh proizvodnyh 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabiciklo [3.3.1] nonan-2-ona [Investigation of the fungicidal activity of new derivatives of 7-R-1,5-dinitro-3,7-diazabicyclo[3.3.1]nonan-2-one]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 5, pp. 307-320. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-5-307-320>
2. Nasonov A.I. Novyj sposob poluchenija kul'tury *Venturia inaequalis* iz askospor [Obtaining of *Venturia inaequalis* ascospore culture under laboratory conditions]. *Mikologija i fitopatologija*, 2019, vol. 53(1), pp. 46-48. <https://doi.org/10.1134/S0026364819010094>
3. Nasonov A.I., Suprun I.I. Parsha jabloni: osobennosti vozбудitelja i patogeneza [Apple scab: peculiarities of the causal agent and the pathogenesis]. *Mikologija i fitopatologija*, 2015, vol. 49(5), pp. 275-285.
4. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Astapchuk I.L. Chuvstvitel'nost' krasnodarskoj populjacii *Venturia inaequalis* k difenokonazolu, inhibitoru demetilirovani-ja sterinov [Sensitivity of the krasnodar population of *Venturia inaequalis* to difenoconazole, an inhibitor of sterol demethylation]. *Mikologija i fitopatologija*, 2021, vol. 55(4), pp. 297-308. <https://doi.org/10.31857/S0026364821040103>
5. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Astapchuk I.L., Stepanov I.V. Chuvstvitel'nost' k ciprodinilu populjacij vozбудitelja parshi jabloni iz krasnodarskih sadov in vitro [Cyprodinil sensitivity of apple scab populations from Krasnodar orchards in vitro]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii*, 2023, vol. 79 (1), pp. 186-202. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2023-1-79-186-202>
6. Nasonov A.I., Jakuba G.V., Lobodina E.V. Dlitel'noe sohranenie rezistentnosti k karbendazimu u *Venturia inaequalis* v Krasnodarskom krae (Rossija) [The long-term resistance to carbendazim in *Venturia inaequalis* in the Krasnodar region (Russia)]. *Mikologija i fitopatologija*, 2022, vol. 56(5), pp. 374-378. <https://doi.org/10.31857/S0026364822050087>
7. Spravochnik pesticidov i agrohimikatov, razreshjonnyh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii [State Catalogue of pesticides and agrochemicals, permitted for use on the territory of the Russian Federation]. <https://direct.farm/post/spravochnik-pestitsidov-i-agrokhimikatov-2023-g-12940>
8. Avenot H. F., Michailides T. J. Progress in understanding molecular mechanisms and evolution of resistance to succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides in phytopathogenic fungi. *Crop Prot.*, 2010, vol. 29, pp. 643-651. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.019>

9. Avenot H., Sellam A., Michailides T. 2009. Characterization of mutations in the membrane-anchored subunits AaSDHC and AaSDHD of succinate dehydrogenase from *Alternaria alternata* isolates conferring field resistance to the fungicide boscalid. *Plant Pathol.*, 2009, vol. 58, pp. 1134-1143. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02154.x>
10. Ayer K., Villani S. M., Choi M. W., Cox K. Characterization of the VisdhC and VisdhD genes in *Venturia inaequalis* and sensitivity to fluxapyroxad, pydiflumetofen, inpyrfluxam and benzovindiflupyr. *Plant Dis.*, 2019, vol. 103, pp. 1092-1100. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-18-1225-RE>
11. Ayer K. M., Choi M. W., Smart S. T., Moffett A. E., Cox K. D. The Effects of Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicide Dose and Mixture on Development of Resistance in *Venturia inaequalis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 2020, vol. 86(17), p. e01196-20. <https://aem.asm.org/content/aem/86/17/e01196-20.full.pdf>
12. Chatzidimopoulos M., Zambounis A., Lioliopoulou F., Vellios E. Detection of *Venturia inaequalis* Isolates with Multiple Resistance in Greece. *Microorganisms*, 2022, vol. 10, no. 12, 2354. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122354>
13. Fernández-Ortuño D., Pérez-García A., Chamorro M., de la Peña E., de Vicente A., Torés J. A. Resistance to the SDHI Fungicides Boscalid, Fluopyram, Fluxapyroxad and Penthiopyrad in *Botrytis cinerea* from Commercial Strawberry Fields in Spain. *Plant Dis.*, 2017, vol. 101, pp. 1306-1313. <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-17-0067-RE>
14. Fiaccadori R., Battistini G. Biological Methodologies on SDHI Fungicides to Assess Reductions of Sensitivity and Activity on *Venturia inaequalis* and Cross-Resistance Tests. *American Journal of Plant Sciences*, 2021, vol. 12, no. 7, pp. 1124-1134. <https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127078>
15. Finney D.J. Probit analysis. Cambridge: UK, 1971, 383 p.
16. FRAC. 2022. FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Accessed March 2022. [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf?sfvrsn=b6024e9a_2)
17. Frederick Z. A., Villani S. M., Cooley D. R., Biggs A. R., Raes J. J., Cox K. D. Prevalence and stability of qualitative QoI resistance in populations of *Venturia inaequalis* in the Northeastern United States. *Plant Dis.*, 2014, vol. 98, pp. 1122-1130. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-13-1042-RE>
18. Köller W., Wilcox W. F., Barnard J., Jones A. L., Braun P. G. Detection and Quantification of Resistance of *Venturia inaequalis* Populations to Sterol De-

- methylation Inhibitors. *Phytopathology*, 1997, vol. 87, pp. 184-190. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.1997.87.2.184>
19. Statistics Kingdom - statistics online calculators. <https://www.statskingdom.com/index.html>
  20. Thomas A., Langston D. B., Stevenson K. L. Baseline sensitivity and cross-resistance to succinate-dehydrogenase-inhibiting and demethylation-inhibiting fungicides in *Didymella bryoniae*. *Plant Dis.*, 2012, vol. 96, pp. 979-984. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-11-0744-RE>
  21. Toffolatti S. L., Venturini G., Bianco P. A. First report of SDHI resistant strains of *Venturia inaequalis* from commercial orchards in Northern Italy. *Plant Disease*, 2016, vol. 100, no. 11, 2324. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-16-0361-PDN>
  22. Villani S. M., Ayer K., Cox K. D. Molecular characterization of the *sdhB* gene and baseline sensitivity to penthiopyrad, fluopyram, and benzovindiflupyr in *Venturia inaequalis*. *Plant Disease*, 2016, vol. 100(8), pp. 1709-1716. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-15-1512-RE>
  23. Villani S. M., Cox K. D. Heteroplasmy of the cytochrome b gene in *Venturia inaequalis* and its involvement in quantitative and practical resistance to Trifloxystrobin. *Phytopathology*, 2014, vol. 104, pp. 945-953. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-13-0158-R>
  24. Xiong L., Shen Y.-Q., Jiang L.-N., Zhu X.-L., Yang W.-C., Huang W., Yang G.-F. Succinate Dehydrogenase: An ideal target for fungicide discovery. *Discovery and Synthesis of Crop Protection Products*. American Chemical Society. 2015, pp. 175-194
  25. Yakuba G.V., Astapchuk I.L., Mazyrin E.S., Nasonov A.I., Milovanov A.V. The first report on the mycoparasite *Trichothecium roseum* (Pers. 1809) on *Venturia inaequalis* (Cooke) G. Winter in Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 11-23. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-11-23>

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Насонов А.И.:** планирование, получение моноспоровых изолятов, поддержание коллекции *Venturia inaequalis*, обсуждение и анализ результатов, написание рукописи.

**Якуба Г.В.:** сбор образцов, обсуждение и анализ результатов, написание рукописи.

**Астапчук И.Л.:** in vitro оценка чувствительности моноспоровых изолятов *Venturia inaequalis*, подготовка и анализ первичных данных, подготовка таблиц.

**Марченко Н.А.:** оценка роста мицелия на средах с различной концентрацией фунгицидов, подготовка первичных данных, подготовка таблиц.

Все авторы прочитали и приняли участие в улучшении текста рукописи.

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

**Andrei I. Nasonov:** planning, obtaining monospore isolates, maintaining the collection of *Venturia inaequalis*, discussion and analysis of the results, writing the manuscript.

**Galina V. Yakuba:** collection of samples, discussion and analysis of the results, writing the manuscript.

**Irina L. Astapchuk:** in vitro sensitivity assessment of *Venturia inaequalis* monospore isolates, preparation and analysis of primary data, preparation of tables.

**Nikita A. Marchenko:** assessment of mycelium growth on media with different concentrations of fungicides, preparation of primary data, preparation of tables.

All authors read and took part in improving the text of the manuscript.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Насонов Андрей Иванович**, канд. биол. наук, заведующий лабораторией биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*nasoan@mail.ru*

**Якуба Галина Валентиновна**, канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*galyayaku@gmail.com*

**Астапчук Ирина Леонидовна**, канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,  
виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*irina\_astapchuk@mail.ru*

**Марченко Никита Александрович**, младший научный сотрудник лаборатории биотехнологического контроля фитопатогенов и фитофагов  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства,  
виноградарства и виноделия»*  
ул. им. 40-летия Победы, 39, г. Краснодар, 350901, Российская Федерация  
*irina\_astapchuk@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Andrei I. Nasonov**, Cand. Biol. Sci., Head of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory  
*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*  
39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation  
*nasoan@mail.ru*  
SPIN-code: 5636-6106  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4927-2192>  
ResearcherID: K-9142-2017  
Scopus Author ID: 56989221000

**Galina V. Yakuba**, Cand. Biol. Sci., Senior Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory  
*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*  
39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation  
*galyayaku@gmail.com*  
SPIN-code: 3835-6760



*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-960X>*

*ResearcherID: ABA-4739-2021*

*Scopus Author ID: 57191370976*

**Irina L. Astapchuk**, Cand. Biol. Sci., Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory

*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*

*39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation*

*irina\_astapchuk@mail.ru*

*SPIN-code: 8684-6159*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-00029713-0383>*

*ResearcherID: K-8646-2018*

*Scopus Author ID: 57558038700*

**Nikita A. Marchenko**, Junior Research Associate of Biotechnological Control of Phytopathogens and Phytophages Laboratory

*Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making»*

*39, im. 40-letiya Pobedy Str., Krasnodar, 350901, Russian Federation*

*irina\_astapchuk@mail.ru*

*SPIN-code: 8080-3469*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1325-4881>*

*ResearcherID: ABA-3983-2021*

*Scopus Author ID: 57558038700*

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 25.06.2023

Принята 01.07.2023

Received 14.06.2023

Revised 25.06.2023

Accepted 01.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-729

УДК 633.11.631.89



Научная статья | Земледелие и защита растений

## ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ РФ

*А.В. Солонкин, А.Ю. Гузенко, А.В. Гузенко, Е.В. Семинченко*

**Обоснование.** *Озимая пшеница является ключевой культурой в большинстве хозяйств Волгоградской области и юга России. Однако, не смотря на высокий ежегодный валовой сбор зерна пшеницы в регионе (4 млн. тонн и более), его стабилизация и увеличение производства усложнены глобальными и локальными изменениями климата, истощением почвенного плодородия, загрязнением окружающей среды, сужением биоразнообразия культур, используемых в севообороте, и другими негативными факторами. Воздействии внешних факторов среды на производство зерна чрезвычайно сложно и требует системного подхода при изучении. Среди основных тенденций в изменении климата ученые ФНЦ агроэкологии РАН отмечают устойчивый рост средних температур воздуха осенне-зимнего периода, повышение внутри сезонной изменчивости.*

**Цель работы** заключается в совершенствовании технологии возделывания озимой пшеницы, изучении влияния минеральных удобрений и новых биопрепаратов на урожайность и качественные характеристики зерна в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области.

**Материалы и методы.** Проведено исследование влияние микроэлементов на урожайность озимой пшеницы сорт Камышанка 4, а также анализ качественных показателей в засушливых условиях Волгоградской области на основе методики Б. А. Доспехова и госсортоиспытания.

**Результаты.** Согласно проведенным исследованиям, наибольшим эффектом на урожайность и качество озимой пшеницы было сформировано на обработке препаратами серии «Биостим» влияющие на баланс питательных веществ в период вегетации, защиты от воздействия абиотических процессов, восстановление продуктивности культур после действия стрессов

**Заключение.** При выборе питания растений микроэлементами, нужно исходить из почвенно климатических условий. Вследствие этого в засушливых условиях Волгоградской области были получены результаты, показывающие важную роль аминокислот и микроэлементов в поддержании баланса питательных веществ на всем протяжении вегетации растений.

**Ключевые слова:** аминокислоты; микроэлементы; засушливые условия; питание растений

**Для цитирования:** Солонкин А.В., Гузенко А.Ю., Гузенко А.В., Семинченко Е.В. Проведение научных исследований по изучению влияния микроэлементов на жизнедеятельность озимой пшеницы в засушливых условиях РФ // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 211-228. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-729

Original article | Soil Fertility and Plant Protection

## CONDUCTING SCIENTIFIC RESEARCH ON THE INFLUENCE OF TRACE ELEMENTS ON THE VITAL ACTIVITY OF WINTER WHEAT IN ARID CONDITIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

*A. V. Solonkin, A. Yu. Guzenko, A. V. Guzenko, E. V. Semenchenko*

**Background.** Winter wheat is a key crop in most farms of the Volgograd region and the south of Russia. However, despite the high annual gross harvest of wheat grain in the region (4 million tons or more), its stabilization and increase in production are complicated by global and local climate changes, depletion of soil fertility, environmental pollution, narrowing of biodiversity of crops used in crop rotation, and other negative factors. The impact of external environmental factors on grain production is extremely difficult and requires a systematic approach in the study. Among the main trends in climate change, scientists of the Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences note a steady increase in average air temperatures of the autumn-winter period, an increase in intra-seasonal variability.

**Purpose.** Improving the technology of winter wheat cultivation, studying the effect of mineral fertilizers and new biological products on the yield and quality characteristics of grain in the conditions of light chestnut soils of the Volgograd region

**Materials and methods.** *The study of the effect of trace elements on the yield of winter wheat of the Kamyshanka 4 variety, as well as the analysis of qualitative indicators in the arid conditions of the Volgograd region based on the methodology of B. A. Dospekhov and gossorto-testing.*

**Results.** *According to the conducted studies, the greatest effect on the yield and quality of winter wheat was formed on the treatment with preparations of the Biostim series that affect the balance of nutrients during the growing season, protection from the effects of abiotic processes, restoration of crop productivity after stress.*

**Conclusion.** *When choosing plant nutrition with trace elements, it is necessary to proceed from soil and climatic conditions. As a result, in the arid conditions of the Volgograd region, results were obtained showing the important role of amino acids and trace elements in maintaining the balance of nutrients throughout the vegetation of plants.*

**Keywords:** *amino acids; trace elements; arid conditions; plant nutrition*

**For citation:** *Solonkin A.V., Guzenko A.Yu., Guzenko A.V., Semenchenko E.V. Conducting Scientific Research on the Influence of Trace Elements on the Vital Activity of Winter Wheat in Arid Conditions of the Russian Federation. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 211-228. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-729*

## **Введение**

Большинство регионов РФ находятся в зонах рискованного земледелия. На этот немаловажный фактор накладываются ежегодные климатические аномалии, которые в разных регионах значительно различаются: от ранневесенних засух с пожарами до заморозков в июне, от 3-4-летних засух до 2-3-месячных норм осадков, выпадающих за 1-2 дня [15, 16, 18]. Современные реалии диктуют и новые подходы к агротехническим и технологическим мероприятиям, их трансформацию, направленную на стабилизацию ростовых процессов в неблагоприятных условиях [1, 5, 10]. Влияние аминокислот в составе удобрений на повышение мобильности и эффективности микроэлементов. Одним из актуальных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур становятся некорневые листовые подкормки. Их эффективность была многократно доказана в ходе экспериментов как в РФ, так и за рубежом. Основная особенность и уникальность обработок вегетирующих растений состоит в том, что в критические периоды развития, когда потребность растений в мезо- микроэлементах возрастает, повышается и их эффективность [2, 6, 9].

Как показали исследования последних лет, всеми этими свойствами обладают аминокселаты – новейшее происхождение удобрений с целью внекорневой подкормки, водянистые биостимулирующие витамины (земли в основании аминокселатов [4, 8, 11]. Они отличаются согласно начальному сырью: зоологического либо постного возникновения; методу извлечения аминокселатов и формуле макро-, мезо- и микроэлементов. И, что немаловажно, доказано, что аминокселаты обладают высокой мобильностью проникновения и диффузией внутри листа. Многие исследователи подтверждают высокую степень совместимости аминокселатов в баковых смесях с пестицидами и другими формами макро- и мезоудобрений. Это повышает их привлекательность как коммерческих препаратов, которые обеспечивают снижение количества обработок растений [3, 12, 19].

Большое значение имеет правильный подбор сортов для конкретных почвенно-климатических условий, обладающих высокой устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам, и благодаря которым прибавка урожая может составлять 15% и более [7, 13, 17].

Исследование сведений, приобретенных из-за года выполнения местного прогноза, обнаружил увеличение нахождения мобильных конфигураций меди, малозначительное перемена сосредоточения цинка и негативную динамику мобильных конфигураций кобальта и марганца в грунте. Сущность мобильных сочетаний цинка в основах реперных зон пребывает в весьма невысоком степени: в 1995 году – 0,60 мг/кг, в 2016 году – 0,64 мг/кг. Увеличение величины данного признака вплоть до 1,5 мг/кг замечали в 2005–2007 гг., уже после чего же некто возвратился к степени близнему к начальному согласно абсолютно всем реперным участкам. В таком случае ведь период все без исключения года земли возможно дать характеристику равно как низкообеспеченные кобальтом. Сущность мобильного марганца в 1995 году в обычном достигало 27,8 мг/кг, то что отвечает значительной состоятельности. К 2016 году оно уменьшилось вплоть до 16,2 мг/кг (посредственная снабженность). При этом снижение сосредоточения мобильного марганца стабильно совершалось в протяжении в целом этапа выполнения освидетельствования, то что указывает касательно значительной вероятности появления недостатка данного компонента в основах реперных зон и, следовательно, согласно целой области сервиса ФГБУ «ЦАС «Волгоградский». Присутствие данным, к примеру, пахотные земли в области работы станции агрохимической работы «Таловская» в 01.01.2017 году в большей степени характеризовались невысокой обеспе-

ченностью мобильными сочетаниями меди, цинка, кобальта и марганца. Средневзвешенные величины их нахождения собирали в соответствии с этим 0,11, 0,2, 0,09 и 6,0 мг/кг [13, 14].

### **Материалы и методы**

Исследования проводились в период 2019-2021 год, на экспериментальном участке ФГУП УОХ «Горная поляна» ГОУ ВГСХА в зоне светло-каштановых почв Волго - Донского междуречья Южного Федерального округа Российской Федерации.

Координаты участка X -8615,07 Y-6549,97; X-8603, 61 Y-6655,43; X-8483, 91 Y-6641, 27; X-8495, 92 Y-65636, 63; X 8611, 23 Y-6671, 98; X-8590, 35 Y-6858, 91; X-8468, 44 Y-6842, 52; X-8487, 33 Y-6655, 55.

Изучали озимую пшеницу сорта Камышанка 4.

Предшественник в 2020 и в 2021 годах – черный пар. Предпосевная обработка семян – двухкомпонентный протравитель Альфа-протравитель – 0,5л/т + водорастворимое NPK удобрение (13:40:13 + МЭ) – 1 кг/т + Моноаммонийфосфат (12:60) – 1 кг/т. Сев проводился 28.09.2019; 26.09.2020 и 23.09.2021 года. Норма - 3,5 – 4,0 млн. всхожих семян на 1 га. Глубина заделки семян – 10-11 см. Сеялка СКП-2.1 (Омичка) с анкерными сошниками 20 мм.

Земли квалифицированного места светло-каштановые, вместе с вхождением дерна 1,7-2,3%, рН земли с 7,2 вплоть до 7,8, единого азота 0,12-0,19%, сплошного фосфора 0,12-0,15%, единого калия 1,26-2,06%. В пахотном покрове земли находится легко доступного фосфора 90-100 килограмм, калия 1080-1296 килограмм, азота (NO<sub>3</sub>) - 72-90 килограмм. Сущность тяжелых металлов и пестицидов никак не превосходит допустимой концентрации. Агрохимические показатели были низкими для посева озимой пшеницы на данном участке, поэтому для лучшего развития семян нужно было провести мероприятия по внесению минеральных удобрений или поиска других решений, так как в формировании урожая и его химического состава принадлежит сбалансированному питанию растений макро- и микроэлементами.

Для данного исследования нами были отобраны препараты АО «Щелково-Агротех», содержащие определенное количество действующего вещества макро и микроэлементов. Выбор был обусловлен ранними исследованиями по использованию удобрений на зерновых культурах в Российской Федерации, а также изучив материалы иностранных научных опытов проведенных ранее (таблица 1).

Таблица 1.

## Препараты, использованные в исследованиях

№	Универсальный препарат	Действующие вещество	Норма расхода препарата	Назначение и применение препарата
1	Ультрамаг Комби	N – 15,0; MgO – 2,0; SO <sub>3</sub> – 4,5; Cu – 0,9; Fe – 0,8; Mg – 1,1; Zn – 1,0; Mo – 0,005; Ti – 0,02		Полное проникновение и усвоение питательных элементов Высокое содержание основных микроэлементов Содержит титан Ti – активатор роста растений, позволяющий качественно повысить усвоение из листьев и почвы питательных элементов
2	Ультрамаг Молибден	N – 4,5; Mo – 3,0		Принимает участие в синтезе аминокислот и белков, регулирует процесс трансформации азота в растении, активизирует окислительно-восстановительные процессы в растениях, принимает участие в углеводном обмене и обмене фосфорных соединений, синтезе витаминов и хлорофилла. Способствует усвоению азота и фосфора, улучшает питание растений кальцием, усвояемость железа. Повышает содержание белка в продукции. В особенности эффективно применение молибдена на кислых почвах.
3	Биостим Универсал	Аминокислоты растительного происхождения – 10; N – 6,0; K <sub>2</sub> O – 1,3; SO <sub>3</sub> – 5,0		Предназначен для некорневых (листовых) всех культур в течении всего периода вегетации для стимулирования вегетативного роста, защиты от абиотических, химических стрессов и повышения устойчивости к болезням. Воздействует на регенерацию (восстановления) листового аппарата растений и активации ростовых процессов при механических (действие града, вымокание и др.) температурных повреждениях (подмерзание)
4	Биостим Зерновой	Аминокислоты растительного происхождения – 7,0; N – 5,5; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 4,0; MgO – 2,0; SO <sub>3</sub> – 2,5; Fe – 0,3 Mg – 0,7; Zn – 0,6; Cu – 0,4; B – 0,2; Mo – 0,002; Co – 0,01		Поддержание баланса питательных веществ в период вегетации, защиты от воздействия абиотических процессов, восстановление продуктивности культур после действия стрессов Повышение устойчивости к болезням, улучшения количественных и качественных параметров .
5	Биостим рост	Аминокислоты растительного происхождения – 4,0; N – 4,0; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 1,0; MgO – 2,0; SO <sub>3</sub> – 1,0; Fe – 0,4; Zn – 0,2; B – 0,1		Предназначен для всех сельскохозяйственных культур в начале весенней вегетации, особенно в условиях неблагоприятных погодных условий (затяжная весна, после возвратных заморозков и др.), а также на ослабленных, поврежденных посевах после перезимовки

В засушливой почвенно-климатической зоне Южного Федерального округа Волгоградской области погодные условия являются главным фактором влияния на кушение, продуктивный стеблестой, качество и урожайность озимой пшеницы.

Ростки у зерновых культур учитывали присутствие появления 1-ый раскрутившихся листочков при 75% растений. Принятие сноповых стандартов и их исследование сноповых стандартов изготовлялся в период в ходе 2-ух месяцев уже после пред уборкой. В дополнение устанавливали последующие характеристики: посредственную длину колоса; среднее количество колосков в колосе; посредственную изобилие семена 1-го колоса (метелки); среднее количество семян в 1 колосе; высоту растений устанавливают пред уборкой, меря дистанция с плоскости земли вплоть до элиты главного стебля, никак не полагая остей колосьев. Нагнувшиеся растения поднимают замера велись в 5 эквидистантных участках делянок 2-ух несмежных повторений и выводились обычные значимость характеристики.

*Уборка и учет урожая.* До начала уборки измеряют площадь выключек и определяют фактическую площадь каждой делянки. Уборку озимой пшеницы проводили выборочно в фазе восковой спелости. После уборки малогабаритным комбайном зерно с каждой делянки взвешивалось с точностью до 0,1 кг и отбирался средний образец для определения влажности и качества зерна. При уборке комбайном перед взвешиванием и учетом урожая зерно подвергалась очистке.

*Оценка качества урожая зерна.* Определяли: влажность, массу 1000 зерен, всхожесть, натуру. Массу 1000 семян устанавливают согласно 2 навескам по 500 семян, какие завешивают с верностью вплоть до 0,01 грамм, перемещают в массу 1000 семян и исчисляют посредственную изобилие вместе с верностью вплоть до 0,1 грамм. Натуру семена (массу 1-го литра семена) устанавливают в литровой пурке, с целью чего же с посредственного стандарта рафинированного семена отвешивают проверку 2 килограмм. Согласно любому примеру выполняют 2 установления и вводили умеренный коэффициент вместе с верностью вплоть до 1 грамма. Расхождения среди 2-мя определениями разнятся никак не наиболее 5 грамм [Методика госсортоиспытания].

Также проводились исследования по качественным показателям озимой пшеницы с помощью прибора ИнфраЛЮМ. Качество зерна определяют по: содержанию белкового азота (протеина) по Кьельдалю; содержание клейковины и ее качество по ГОСТу 13586.1-68; стекловидность по ГОСТу 10987-76.



Для проведения полной проверки и достоверности проведенных опытов за 2020-2022 гг обработку и анализ математических данных проводили в программе Excel. Была проведена корреляционная матрица чисел зависимости каждой переменной по всем вариантам обработок за 2020-2022 гг. Исходя из полученных корреляционных параметров, проведена проверка через степень свободы, для учета расчетов на адекватность рассматриваемых событий.

### Результаты и обсуждение

Изучив полученные данные по структуре урожайности озимой пшеницы, видно, что по некоторым фонам внесения микроудобрений не давало большую прибавку от контроля по весу одного колоса (г), к примеру: Ультрамаг молибден и Биостим рост – на 14%. Также, на варианте с обработкой Агрофос составило прибавку в 4%. Наиболее высокий результат по сравнению с контролем дал препарат Биостим универсал на 25% (Рисунок 1)

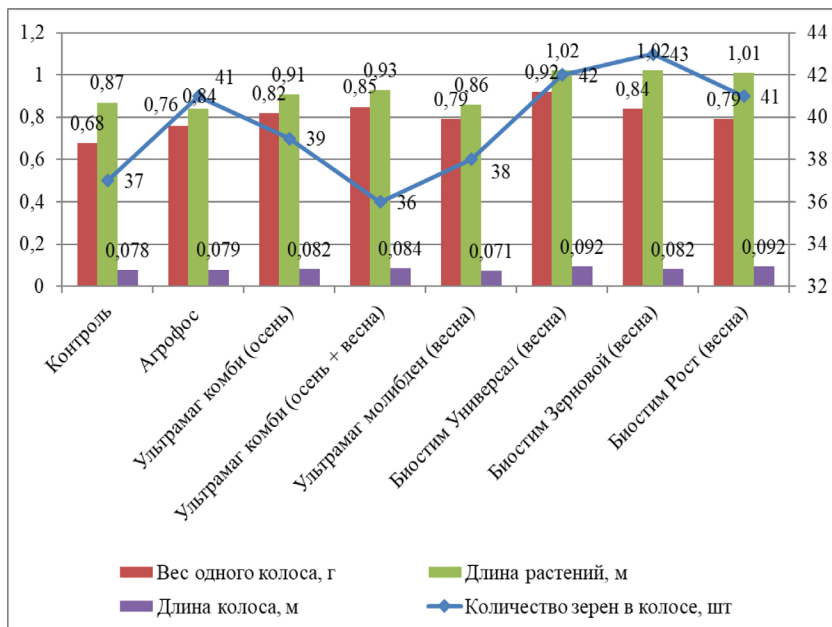
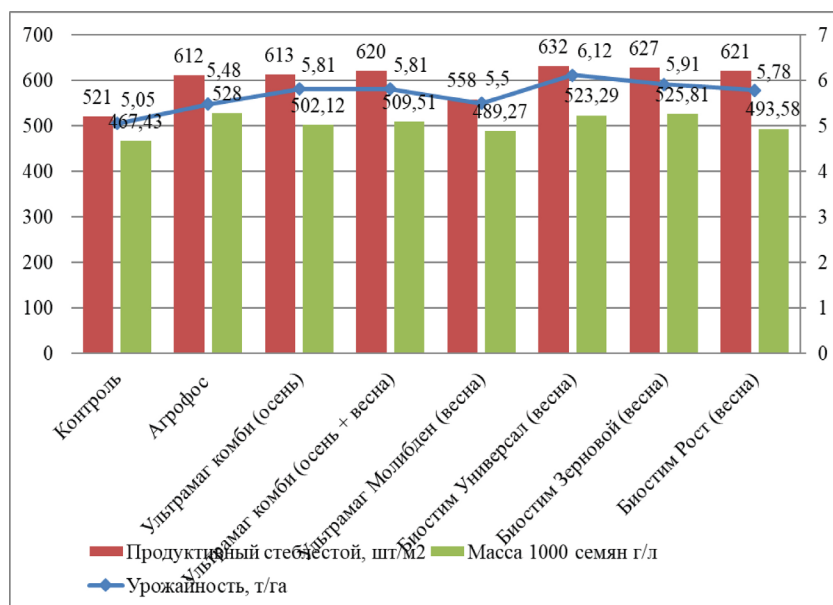


Рис. 1. Показатели структуры урожайности озимой пшеницы за 2020-2022 годы, среднее

Применение препаратов также сказалось на улучшении роста растений озимой пшеницы: длина растений (м) и длина колоса (м) в отличие от контроля и обработки Агрофос. В этом случае Биостим универсал также занял лидирующее место среди других обработок озимой пшеницы Камышанка 4.

Учет продуктивного стеблестоя по изучаемым фонам обработок показал существенное различие для одного сорта, от 521 на контроле до 623 шт/м<sup>2</sup>. При этом применение дополнительных обработок удобрениями позволило увеличить продуктивный стеблестой по сортам на 15...17%. Наибольшая прибавка получена при обработке по варианту обработки Биостим универсал – на 16,5% от контроля. Меньшая прибавка отмечена при обработке препаратом Ультрамаг Молибден – на 7% от контроля. Эти показатели характеризуют высокую эффективность интенсивной обработки по листу стимуляторами роста и биопрепаратам (рисунок 2).



**Рис. 2.** Показатели структуры урожайности при мониторинге озимой пшеницы за 2020-2022 годы, среднее

Важным качественным показателем озимой пшеницы является масса 1000 зерен. Определение природы зерна озимой пшеницы на разных

агрофонах показало, что в среднем этот показатель варьировал в пределах 501,57 г/л, в зависимости обработки. Наиболее выполненное зерно, с массой 1000 семян отмечено на обработке препаратами Ультрамаг Комби (осень+весна) – 509,51 г/л; Биостим зерновой (весна) – 525,81 г/л; Биостим универсал (весна) – 523, 29 г/л. По остальным обработкам существенная разница по качественным показателям зерна (масса 1000 зерен) между вариантами практически не наблюдалась.

Как видно из рисунка 2, наибольшая урожайность отмечалась при применении в фазу кушения препаратов Биостим Универсал (6,1 т/га) и Биостим Зерновой (5,9 т/га). Причем, в варианте с применением Биостима Универсала наблюдалось наименьшее количество продуктивных стеблей в фазу полной спелости, т.е. применение препарата Биостим Универсал способствовало формированию более выполненного зерна, что для посевных качеств имеет очень важное значение.

Для полноты исследования была проведена математическая обработка, которая позволила удостоверить результаты данного исследования.

Было задействовано несколько переменных с определенным и основным фактором влияния микроэлементов на урожайность: за  $Y$  – урожайность (т/га)  $X_1$  – продуктивный стеблестой (шт/м<sup>2</sup>);  $X_2$  – натура семян (г/л);  $X_3$  – вес одного колоса, г  $X_4$  – длина колоса, см;  $X_5$  – высота растений, см

Таблица 2.

**Математическая обработка урожайности озимой пшеницы от примененных препаратов с микроэлементами, среднее (2020-2022 гг)**

Препарат	Нормированный R <sup>2</sup>	p-значение	Значимость Фишера	Уравнение модели регрессии
Контроль	0,84	≥0,05	0,48	-
Агрофос	0,93	≥0,05	0,16	-
Ультрамаг Комби (осень)	0,79	≥0,05	0,55	-
Ультрамаг Комби (осень+весна)	0,74	≥0,05	0,75	-
Ультрамаг Молибден	0,97	≥0,05	0,05	-
Биостим универсал	0,99	≤0,05	0,03	$y = 0,005x_1 + 0,17x_2 + 0,08x_3 + 0,51$
Биостим Зерновой	0,96	≤0,05	0,23	$y = 0,0004x_1 + 0,55$
Биостим Рост	0,82	≥0,05	0,26	-

Все изучаемые препараты дали разные результаты обработки. Биостим Универсал и Биостим Зерновой формирующие урожай зерна по достовер-

ности уровня значимости критерия Фишера в среднем меньше, либо равно 0,05. Самая высокая точность аппроксимации по препарату Биостим Универсал– 0,99 ( $y = 0,005x_1 + 0,17x_2 + 0,08x_3 + 0,51$ ). По остальным значениям связей R – квадрат наблюдается адекватная модель описываемого явления от 0,74 до 0,84 (таблица 2).

Урожайность по другим препаратам дала коэффициент детерминации меньше, чем 0,9. Можно считать, что точность аппроксимации недостаточно и модель требует улучшения.

Проведённые исследования показали, что среднее содержание белка в зерне у половины вариантов по обработкам препаратами составляет менее 13,44% (таблица 3).

Таблица 3.

**Качественные показатели озимой пшеницы сорта Камышанка 4  
за 2020-2021 год, среднее**

Препарат	Влажность, %	Клейковина, %	Белок, %	Стекловидность, %
Контроль	9,55	18,64	12,93	69
Агрофос	9,36	17,74	12,68	72
Ультрамаг комби (осень)	9,22	10,96	11,17	60
Ультрамаг комби (осень + весна)	9,6	18,89	13,44	66
Ультрамаг Молибден (весна)	9,48	15,33	12,27	63
Биостим Универсал (весна)	9,17	23,6	15,87	68
Биостим Зерновой (весна)	9,65	25,04	14,77	73
Биостим Рост (весна)	9,3	28,89	15,61	79

Наибольший итог был получен в обрабатыванию микроудобрением Биостим Универсал (весна) - 15,87%, то что значительно выделяет его с других обработок в 7...9%. Наибольшее значение общественной части клейковины в обычном согласно годам фиксировалось при Биостим Рост (весна)– 28,89% (таблица 3)

### Заключение

На основе проведенных исследований наибольшая урожайность отмечалась при применении в фазу кушения препаратов Биостим Универсал (6,1 т/га) и Биостим Зерновой (5,9 т/га). Причем, в варианте с применением Биостима Универсала наблюдалось наименьшее количество продуктивных сте-

блей в фазу полной спелости, т.е. применение препарата Биостим Универсал способствовало формированию более выполненного зерна, что для посевных качеств в сельскохозяйственном производстве имеет очень большую роль.

**Информация о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследования выполнены в рамках государственного задания НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100448-6 «Создание новых 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. Аристархов А.Н., Волков А.В. Влияние цинковых микроудобрений на качество зерна яровой пшеницы в Центральном Нечерноземье // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 9-12
2. Азаренко Ю. А., Гаврильченко О.Л. Влияние высоких концентраций бора и легкорастворимых солей на поступление микроэлемента в растения и их продуктивность // Омский научный вестник. 2003. №3 (24). С 176.
3. Влияние наночастиц диоксида титана и оксида алюминия на морфофизиологические параметры растений / Астафурова Т.П., Моргалёв Ю.Н., Зотикова А.П., Верхотурова Г.С., Михайлова С.И., Буренина А.А., Зайцева Т.А., Постовалова В.М., Цыцарева Л.К., Боровикова Г.В.// Вестник Томского государственного университета. Биология. 2011. № 1 (13). С. 113-122.
4. Влияние микроудобрений на основе хелатных комплексов на всхожесть семян / Нуштаева А.В., Блинохватова Ю.В., Власова Т.А., Чекаев Н.П. // Нива Поволжья. 2021. №1 (58). С. 17-22
5. Гузенко А.Ю., Сапунков В. Влияние сроков сева и норм высева на урожайность озимой пшеницы в условиях степной зоны черноземных почв в Волгоградской области // Аграрная наука. 2022. №10. С. 108-114
6. Гузенко А.Ю., Солонкин А. В., Гузенко А.В. Изучение отзывчивости сортов ячменя на дополнительные подкормки // Научно-агрономический журнал. 2022. № 1 (116). С. 33-40
7. 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. 351 с.
8. Долгополова Н.В. Эффективность действия микроэлемента молибдена на продуктивность озимой пшеницы в структуре севооборота // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №1. С. 48-52
  9. Исайчев В. А., Андреев Н. Н., Плечов Д. В. Влияние макроэлементов и регуляторов роста на динамику содержания азота, фосфора, калия и серы в растениях озимой пшеницы сорта Бирюза в условиях лесостепи Среднего Поволжья. // Вестник Ульяновской ГСХА. 2013. №1 (33). С.25-32.
  10. Кретович В.Л. Обмен азота в растениях. М.: Наука, 1972. 527 с.
  11. Кретович В.Л. Биохимия растений. М.: Высшая школа, 1980. 447 с.
  12. Костин В.И., Мударисов Ф.А., Семашкина А.И. Влияние серосодержащих удобрений при ранневесенней подкормке на урожайность и качество озимой пшеницы // Нива Поволжья. 2018. №1 (46). С. 29-35
  13. Сухова О. В., Болдырев В.В., Акулов А.В. Мониторинг содержания микроэлементов в почвах Волгоградской области // Достижения науки и техники АПК. 2019. №33(4). С.20-21
  14. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хут А.Р., Есипенко С.В. Борные удобрения на рисовых полях Кубани // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. №104. С. 904-919
  15. Производство ячменя в мире и России / Донцова А. А., Филиппов Е. Г., Донцов Д. П., Терновая Е. А. // Зерновое хозяйство России. 2016. №5. С. 47–51
  16. Перекрестов Н.В. Почвенно-климатические условия Городищенского района Волгоградской области // Вестник Прикаспия. 2017. №3. С. 25-31
  17. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt // Research on Crops. 2022. №1 (23). P. 40-45.
  18. Seminchenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region // Research on Crops. 2021. №. 4(22). P. 792-797.
  19. Romising 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.

### References

1. Aristarkhov A.N., Volkov A.V. Vliyanie tsinkovykh mikroudobreniy na kachestvo zerna yarovoy pshenitsy v Tsentral'nom Nechernozem'e [The influence of zinc micronutrients on the quality of spring wheat grain in the Central Non-Chernozem region]. *Plodorodie* [Fertility], 2014, vol. 79, no. 4, pp. 9-12
2. Azarenko Yu. A., Gavril'chenko O.L. Vliyanie vysokikh kontsentratsiy bora i legkorastvorimyykh soley na postuplenie mikroelementa v rasteniya i ikh produktivnost' [The influence of high concentrations of boron and easily soluble salts on the intake of trace elements in plants and their productivity]. *Omskiy nauchnyy vestnik* [Omsk Scientific Bulletin], 2003, vol. 24, no. 3, pp. 176.
3. Astafurova T.P., Morgalev Yu.N., Zotikova A.P., Verkhoturova G.S., Mikhaylova S.I., Burenina A.A., Zaytseva T.A., Postovalova V.M., Tsytsareva L.K., Borovikova G.V. Vliyanie nanochastits dioksida titana i oksida alyuminiya na morfofizio-logicheskie parametry rasteniy [The effect of titanium dioxide and aluminum oxide nanoparticles on morpho-physiological parameters of plants]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2011, vol. 13, no. 1, pp. 113-122.
4. Nushtaeva A.V., Blinokhvatova Yu.V., Vlasova T.A., Chekaev N.P. Vliyanie mikroudobreniy na osnove khelatnykh kompleksov na vskhozhest' semyan [The effect of micronutrients based on chelate complexes on seed germination]. *Niva Povolzh'ya* [The field of the Volga region], 2021, vol. 58, no. 1, pp. 17-22
5. Guzenko A.Yu., Sapunkov V. Vliyanie srokov seva i norm vyseva na urozhaynost' ozimoy pshenitsy v usloviyakh stepnoy zony chernozemnykh pochv v Volgogradskoy oblasti [The influence of sowing dates and seeding rates on the yield of winter wheat in the conditions of the steppe zone of chernozem soils in the Volgograd region]. *Agrarnaya nauka* [Agrarian Science], 2022, no. 10, pp. 108-114.
6. Guzenko A.Yu., Solonkin A. V., Guzenko A.V. Izuchenie otzyvchivosti sortov yachmenya na dopolnitel'nye podkormki [The study of the responsiveness of barley varieties to additional fertilizing]. *Nauchno-agronomicheskij zhurnal* [Scientific-agronomic journal], 2022, vol. 116, no. 1, pp. 33-40
7. 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)]. 1985. M.: Al'yans Publ., 2011, 351p.
8. Dolgopolova N.V. Effektivnost' deystviya mikroelementa molibdena na produktivnost' ozimoy pshenitsy v strukture sevooborota [The effectiveness of the action of the trace element molybdenum on the productivity of winter wheat in the structure of crop rotation]. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyay-*

- stvennoy akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2019, no. 1, pp. 48-52.
9. Isaychev V. A., Andreev N. N., Plechov D. V. Vliyanie makroelementov i regulyatorov rosta na dinamiku soderzhaniya azota, fosfora, kaliya i sery v rasteniyakh ozimoy pshenitsy sorta Biryuza v usloviyakh lesostepi Srednego Povolzh'ya [The influence of trace elements and growth regulators on the dynamics of nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur content in winter wheat plants of the Turquoise variety in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region]. *Vestnik Ul'yanskovskoy GSKhA* [Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy], 2013, vol. 33, no. 1, pp. 25-32.
  10. Kretovich V.L. *Obmen azota v rasteniyakh* [Nitrogen exchange in plants]. M.: Nauka Publ., 1972, 527 p.
  11. Kretovich V.L. *Biokhimiya rasteniy* [Biochemistry of plants]. M.: Higher School Publ., 1980, 447 p.
  12. Kostin V.I., Mudarisov F.A., Semashkina A.I. Vliyanie serosoderzhashchikh udobreniy pri rannevesenney podkormke na urozhaynost' i kachestvo ozimoy pshenitsy [The influence of sulfur-containing fertilizers during early spring feeding on the yield and quality of winter wheat]. *Niva Povolzh'ya* [Niva of the Volga region], 2018, vol. 46, no. 1 (46), pp. 29-35
  13. Sukhova O. V., Boldyrev V.V., Akulov A.V. Monitoring soderzhaniya mikroelementov v pochvakh Volgogradskoy oblasti [Monitoring of the content of trace elements in the soils of the Volgograd region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of agriculture], 2019, vol. 4, no. 33, pp. 20-21.
  14. Sheudzhen A.Kh., Bondareva T.N., Khut A.R., Esipenko S.V. Bornye udobreniya na risovykh polyakh Kubani [Boric fertilizers on rice fields of Kuban]. *Politematicheskij setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University], 2014, no. 104, pp. 904-919.
  15. Dontsova A. A., Filippov E. G., Dontsov D. P., Ternovaya E. A. Proizvodstvo yachmenya v mire i Rossii [Barley production in the world and Russia]. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* [Grain farming of Russia], 2016, no. 5, pp. 47-51.
  16. Perekrestov N.V. Pochvenno-klimaticheskie usloviya Gorodishchenskogo rayona Volgogradskoy oblasti [Soil and climatic conditions of the Gorodishchensky district of the Volgograd region]. *Vestnik Prikaspiya* [Bulletin of the Caspian Sea], 2017, no. 3, pp. 25-31.
  17. Seminchenko E., Solonkin A. Influence of predecessor crops on the yield of spring barley under the protection of forest belt. *Research on Crops*, 2022, vol. 23, no. 1, pp. 40-45. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2022.007>



18. Seminchenko E. Crop rotations with perennial herbs and bean cultures in the conditions of the lower Volga region. *Research on Crops*, 2021, vol. 22, no. ., pp. 792-797. <https://doi.org/10.31830/2348-7542.2021.132>
19. Romising agricultural technologies for growing winter wheat for sustainable agricultural development / Zelenev A.V., Chamurliiev 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>

### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Солонкин Андрей Валерьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции, семеноводства и питомниководства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*  
*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
*solonkin-a@yrfanc.ru*

**Гузенко Алексей Юрьевич**, младший научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*  
*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
*guzenko-ay@yrfanc.ru*

**Гузенко Андрей Викторович**, сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства  
*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*  
*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*  
*andrey-guzenko@yandex.ru*

**Семиначенко Елена Валерьевна**, научный сотрудник лаборатории селекции, семеноводства и питомниководства

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)*

*Университетский проспект, 97, г. Волгоград, 400062, Российская Федерация*

*eseminchenko@mail.ru*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Andrey V. Solonkin**, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery

*Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences” (Federal Research Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences)*

*97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation*

*solonkin-a@yfac.ru*

*SPIN-code: 8724-5383*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1576-7824>*

*Scopus Author ID: 57219094230*

**Alexey Yu. Guzenko**, Junior Research Assistant 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 Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation*

*guzenko-ay@yfac.ru*

*SPIN-code: 5246-9350*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8237-6495>*

**Andrey V. Guzenko**, Junior Research Assistant 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 Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation*

*andrey-guzenko@yandex.ru*

*SPIN-code: 2372-5743*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3852-5358>*

**Elena V. Seminchenko**, Researcher at the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences*

*97, Universitetskiy Prospekt, Volgograd, 400062, Russian Federation*  
*[eseminchenko@mail.ru](mailto:eseminchenko@mail.ru)*

*SPIN-code: 2756-2340*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3155-9563>*

*Scopus Author ID: 57222146275*

Поступила 13.07.2023

После рецензирования 29.07.2023

Принята 10.08.2023

Received 13.07.2023

Revised 29.07.2023

Accepted 10.08.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1064

УДК 581.192:634.74



Научная статья | Селекция, семеноводство и биотехнология растений

## ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЪЕДОБНЫХ ПЛОДОВ ЖИМОЛОСТИ (LONICERA, CAPRIFOLIACEAE) В РОССИИ

*В.Н. Сорокопудов, А.Г. Куклина, Н.С. Цыбулько, Д.В. Лебедев*

**Обоснование.** Изучение биохимического состава плодов редких и нетрадиционных ягодных культур позволит создать благоприятную основу для современных селекционных работ.

**Цель** изучения состояла в биохимическом анализе на содержание антоцианов, аскорбиновой кислоты и каротиноидов в съедобных плодах трех видов из рода *Lonicera* L. (*Caprifoliaceae*).

**Материал и методы.** Объектом изучения были 13 сортов и 5 отборных форм жимолости синей *L. caerulea* L. (подсек. *Caeruleae* Rehd.), культивируемые в Москве и Белгороде. Также изучены два эндемичных вида со съедобными плодами: из Казахстана жимолость илийская *L. iliensis* Pojark. (подсек. *Caeruleae*) и из Японии жимолость стройночерешичатая *L. gracilipes* Miq. (подсек. *Purpurascens* Rehd.). Исследование проходило в 2020-2023 гг. в лабораториях ВИЛАР (Москва) и Сахалинского филиала ботанического сада-института ДВО РАН (Южно-Сахалинск) на основе Фармакопейных статей Государственной фармакопеи (XIV издание) по общепринятым методикам.

**Результаты.** Установлено, что плоды *L. caerulea* ценны благодаря высокому содержанию антоцианов (870 до мг%) и других биологически активных веществ. Одновременно с аскорбиновой кислотой (до 32,3 мг% у сорта Черничка) в соке плодов *L. caerulea* присутствуют разнообразные биофлавоноиды: рутин, изокверцетин, кверцетин, лютеолин, диосмин и катехины. Эти биологически активные компоненты взаимно усиливают действие друг друга, то есть являются синергентными. При высоком содержании пектинов употребление в пищу плодов съедобных жимолостей поддерживает иммунитет и способствуют выведению из организма радионуклидов. В России давно интродуцирована *L. iliensis*, для которой благоприятен мягкий и теплый климат. Этот вид редко культивируют. Плоды *L. iliensis* темно-синего цвета,

округлые, массой 0,2-0,3 г., кисло-сладкого вкуса, без горечи. В Японии плоды *L. gracilipes* var. *glandulosa* Maxim. едят в свежем и переработанном виде. Они красно-фиолетовой окраски и кисло-сладкого вкуса.

**Заключение.** Получены данные о биохимическом составе съедобных плодов *L. caerulea*, а также редких в культуре видов *L. iliensis* и *L. gracilipes* var. *glandulosa*, которые могут быть использованы для целей селекции.

**Ключевые слова:** *Lonicera caerulea*; *Lonicera iliensis*; *Lonicera gracilipes*; плоды; биохимический состав

**Для цитирования.** Сорокопудов В.Н., Куклина А.Г., Цыбулько Н.С., Лебедев Д.В. Особенности биохимического состава съедобных плодов жимолости (*Lonicera*, *Caprifoliaceae*) в России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 229-245. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1064

Original article | Plant Breeding, Seed Production and Biotechnology

## FEATURES OF THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF EDIBLE HONEYSUCKLE FRUITS (*LONICERA*, *CAPRIFOLIACEAE*) IN RUSSIA

*V.N. Sorokopudov, A.G. Kuklina, N.S. Tsybulko, D.V. Lebedev*

**Background.** The study of the biochemical composition of the fruits of rare and non-traditional berry crops will create a favorable basis for modern breeding work.

**Purpose.** The aim of the work was to biochemically analyze edible fruits of 3 species from the genus *Lonicera* L. (*Caprifoliaceae*) for the content of anthocyanins, ascorbic acid, and carotenoids.

**Material and methods.** The object of the study were 13 varieties and 5 selected forms of blue honeysuckle *L. caerulea* L. (subs. *Caeruleae* Rehd.), cultivated in Moscow and Belgorod. Two endemic species with edible fruits have also been studied: from Kazakhstan - Ili honeysuckle *L. iliensis* Pojark. (subsec. *Caeruleae*) and from Japan slender honeysuckle *L. gracilipes* Miq. (subsection *Purpurascens* Rehd.). The study was conducted in 2020-2023 in the laboratories of All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants (Moscow) and the Sakhalin branch of the Botanical Garden-Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Yuzhno-Sakhalinsk) according to generally accepted methods based on Pharmacopoeia articles of the State Pharmacopoeia (XIV edition).

**Results.** It was found that the fruits of *L. caerulea* are valuable due to the high content of anthocyanins (870 to mg%) and other biologically active substances. Simultaneously with ascorbic acid (up to 32.3 mg% in Chernichka variety), various bioflavonoids are present in the juice of *L. caerulea* fruits: rutin, isoquercetin, quercetin, luteolin, diosmin and catechins. These biologically active components mutually enhance the effect of each other, that is, they are synergistic. With a high content of pectins, eating the fruits of edible honeysuckle supports immunity and promotes the elimination of radionuclides from the body. *L. iliensis* has been introduced in Russia for a long time. A mild and warm climate is favorable for the shrub, it is rarely cultivated. The fruits of *L. iliensis* are dark blue, rounded, weighing 0.2-0.3 g, sweet and sour taste, without bitterness. In Japan, the fruits of *L. gracilipes* var. *glandulosa* Maxim. they are eaten fresh and processed, they are red-purple in color and have a sweet and sour taste. Data on the biochemical composition of edible fruits of rare species in culture *L. iliensis* and *L. gracilipes* var. *glandulosa*, which can be used for breeding purposes.

**Conclusion.** Data were obtained on the biochemical composition of edible fruits of *L. caerulea*, as well as species rare in cultivation *L. iliensis* and *L. gracilipes* var. *glandulosa* that can be used for breeding purposes.

**Keywords:** *Lonicera caerulea*; *Lonicera iliensis*; *Lonicera gracilipes*; fruits; biochemical composition

**For citation.** Sorokopudov V.N., Kuklina A.G., Tsybulko N.S., Lebedev D.V. Features of the Biochemical Composition of Edible Honeysuckle Fruits (*Lonicera*, *Caprifoliaceae*) in Russia. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 229-245. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1064

## Введение

Особое положение в роде *Lonicera* L. (*Caprifoliaceae* Juss.) занимает подсекция *Caeruleae* Rehd. – голубые жимолости. Евразийская часть их ареала включает несколько географических рас, относящихся к варибельному виду жимолости синей *L. caerulea* L. Съедобные и сладкоплодные формы с крупными ягодами произрастают на востоке ареала, на Камчатке [8, 29]. В настоящее время *L. caerulea* стала популярной ягодной культурой не только в России, но и в ряде стран мира [9]. Жимолость известна под следующими названиями: в Словакии и Чехии - *Zimolez modrý*, Польше - *Wiciokrzew siny*, Германии – *Geißbattgewachse* и Америке - *Haskap*, *Edible Honeysuckle*.

В России выведено более 150 урожайных сортов *L. caerulea*, многие из которых получены на основе камчатских форм. В XXI веке ее селекци-

ей занялись в Чехии, Словакии [16, 22, 30], Польше [14], Китае [30, 31], Японии [26] и Канаде [15].

Вкус и фитотерапевтические достоинства *L. caerulea* обусловлены биохимическим составом плодов, благодаря которому в Японии их называют «эликсиром жизни» (elixir of life) [17]. Сочные съедобные плоды *L. caerulea* насыщены биологически активными веществами, содержат сахара, органические кислоты и витамины (табл. 1). Кроме аскорбиновой кислоты, в них найдены витамин А, тиамин (28-38 мкг%), рибофлавин (25-38 мкг%) и фолиевая кислота (72-102 мкг%) [9, 10]. Ценными компонентами плодов *L. caerulea* являются полифенолы, представленные флавоноидами (мг/100 г): рутин (20–48), изокверцетин (2,4-18,7), кверцетин (до 10), лютеолин (до 14), диосмин (до 5) [23]. Значительную часть в плодах составляют катехины (270-320 мг%) [8].

Яркую окраску мякоти плодов *L. caerulea* обеспечивают антоцианы, причем превалирует 3-рутинозид цианидин (60 мг%) [30], в меньшей степени глюкозиды пеларгонидина, пеонидина и дельфинидина [23, 31]. Плоды *L. caerulea* насыщены минеральными веществами: калием (70,3 мг%), магнием (21,7 мг%), натрием (35,2 мг%); фосфором (35,7 мг%), кальцием (19,3 мг%), железом (0,816 мг%) и содержат микроэлементы: йодом марганцем, медью, кремнием [10, 18].

Таблица 1.

**Химический состав плодов *L. caerulea*,  
согласно литературным источникам [8, 9, 28]**

Компоненты	Содержание
Сухое вещество	10,5–15,9 % [9]
Фруктоза	0,9–2,9 г/100 г [28]
Глюкоза	0,8–3,4 г/100 г [28]
Лимонная кислота	30–58 % [28]
Яблочная кислота	28–50 % [28]
Хинная кислота	10–32 % [28]
Аскорбиновая кислота	45–88 мг % [8]
Белок	4,6–8,4 % [28]

В подсемью *Saeruleae* входит жимолость илийская *L. iliensis* Pojark., как самостоятельный и хорошо различимый вид. Естественный ареал его расположен в Казахстане и Китае (бассейн р. Или). Вид относится к эндемикам и включен в «Красную книгу Казахстана» [2]. Съедобные плоды *L. iliensis* представляют интерес для селекции. Хотя *L. iliensis*

была интродуцирована в XX веке, ее редко культивируют. Кустарнику требуется мягкий и теплый климат [3, 5]. Биохимический состав плодов изучен слабо.

В последние годы ботаники заинтересовались жимолостью стройночешуйчатой *L. gracilipes* Miq. (Miyama-uguisukagura) из Японии. Она является эндемиком, естественный ареал находится в южной части островов Хокайдо, Хонсю и Сикоку. Этот вид относится к подсекции *Purpurascens* Rehd., которую основатель рода *Lonicera* A. Редер считал, близкородственной к подсекции *Caeruleae*, благодаря плодам и форме чешуй у зимующих почек [13]. Возможно, что среди природных популяций *L. gracilipes* имеются формы, дающие плоды наиболее хорошего вкуса. Такой пример известен у высоко варьируемых голубых жимолостей [8], представленных в западной части евроазиатского ареала, в основном, горькоплодными формами, тогда, как восточные территории ареала стали базой для отбора десятков продуктивных сортов [10].

У жимолости стройночешуйчатой отметили съедобную форму *L. gracilipes* var. *glandulosa* Maxim. В Японии ее плоды едят в свежем виде, из них готовят крепленое вино и варенье [13]. В плодах кисло-сладкого вкуса присутствуют флавоновые гликозиды апигенина и лютеолина [24]. В России вид интродуцирован в Ростове-на Дону [12], Южно-Сахалинске [14] и Москве, где кустарник страдает от весенних заморозков и имеет невысокую урожайность.

В селекционных целях в Японии проведены эксперименты по гибридизации, направленные на увеличение диапазона генетической изменчивости полезных признаков. Плоды межвидового гибрида *L. caerulea* subsp. *edulis* (Turcz. ex Herder) Hultén и *L. gracilipes* var. *glandulosa* имеют красно-фиолетовую окраску, обеспеченную 5 антоцианами, основным среди которых является цианидин-3,5-диглюкозид [19, 20]. Содержание β-каротина в плодах этого гибрида составляет 0,49-0,77 мг% сырой массы, что выше чем у родительских форм [21]. При скрещивании *L. caerulea* var. *emphyllocalyx* (Maxim.) Nakai с *L. gracilipes* var. *glandulosa* получены ослабленные альбиносы [26]. Поскольку информации о свойствах съедобных плодов жимолостей, особенно редких и эндемичных видов, недостаточно, мы решили восполнить этот пробел.

**Цель работы** – изучить содержание антоцианов, витамина С и каротиноидов в плодах культивируемых образцов *L. caerulea*, *L. iliensis* и *L. gracilipes*.



### Материал и методы исследования

Исследования проводятся с использованием биообъектов Уникальной научной установки «Биоколлекции ФГБНУ ВИЛАР».

Материалом изучения служили культивары *L. caerulea* (в Белгороде, Москве), *L. iliensis* (в Москве) и *L. gracilipes* (в Москве, Южно-Сахалинске). Исследование плодов проходило в 2020-2023 гг. по «Методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» [7]. Выборка составляла 25-30 плодов для каждого образца. Сушка плодов осуществлена в лабораторном сушильном шкафу ШС-40 (Россия) с принудительной конвекцией при температуре 60° С до воздушно сухой массы.

Биохимическое исследование проведено в лабораториях ВИЛАР и Сахалинского филиала ботанического сада-института ДВО РАН подобранными методиками на основе Фармакопейных статей (ФС) Государственной фармакопеи, XIV издание [1]. Содержание аскорбиновой кислоты (мг%) определено по ФС 2.5.01.06.18 Fructus rosae титрованием с водным р-ром 2,6-дихлорфенолиндифенолята натрия, с использованием хлороформа [6]. Определение антоцианов (мг%) проводили по ФС 2.5.0002.15 Aroniae melanocarpaе recens fructus. Исследование каротиноидов проведено методом спектрофотометрии в гексановом извлечении при длине волны 450 нм, в пересчете на показатель удельного поглощения β-каротина – 2592 [11]. Сведения обработаны в программе Microsoft Excel. Допустимая ошибка измерений не превышает нормы (P≤5%).

### Результаты исследования и их обсуждение

Плоды *L. caerulea*, в сравнении с другими культурными и дикорастущими ягодными культурами, богаты ценнейшими биологически активными веществами. По данным биохимического анализа у них много антоцианов (рис. 1). Среди 13 изученных сортов *L. caerulea*, максимальное содержание антоцианов выявлено у сортов Повинциалка (870,1 мг%) и Изюминка (821,8 мг%). В плодах отборных форм показатели антоцианов изменяются в пределах от 239,8 до 597,0 мг%. Однако по литературным данным содержание антоцианов у ряда сортов выше: Синичка – 4629 мг%; Фортуна – 8505 мг% и Торнадо – 7248 мг % [4].

Плоды *L. caerulea* насыщены витамином С: до 32,3 мг% у сорта Черничка и 30,9 мг% у отборной формы Минуса 2 (рис. 2). Известно, что одновременно с аскорбиновой кислотой в соке плодов присутствуют Р-активные вещества. Эти два компонента взаимно усиливают действие друг друга, то есть являются синергентными, а при высоком содержании пектинов способствуют выведению из организма радионуклиды [25].

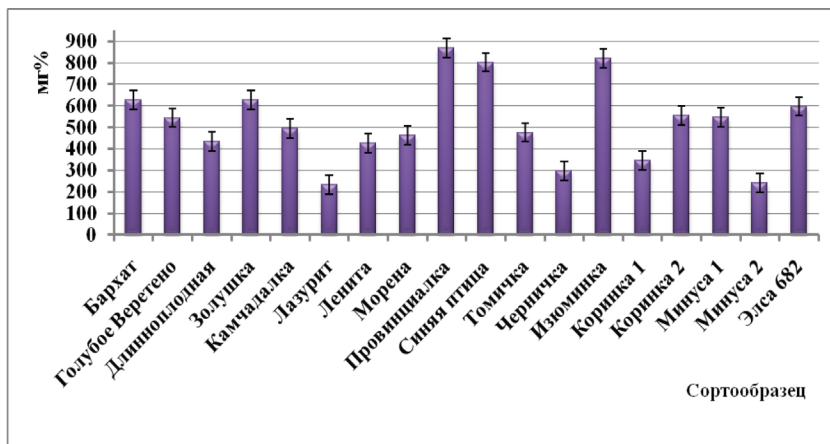


Рис. 1. Содержание антоцианов в плодах *L. caerulea*

Согласно литературным данным, в плодах *L. caerulea* содержится 0,08–0,12 мг% каротиноидов [9], у *L. caerulea* subsp. *edulis* отмечено 0,25–0,35 мг %  $\beta$ -каротина [21].

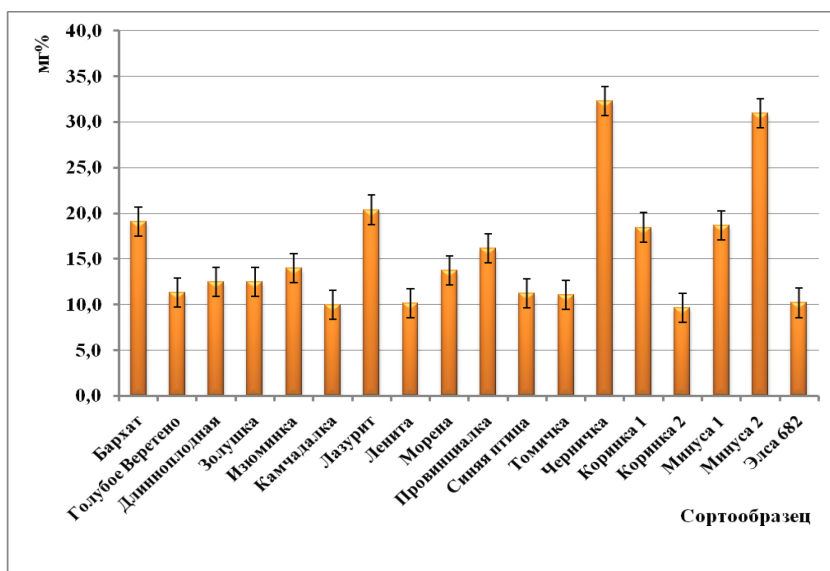


Рис. 2. Содержание аскорбиновой кислоты (мг%) в плодах *L. caerulea*

Жимолость илийская *L. iliensis* - высокий кустарник (до 2 м) с тонкими побегами, покрытыми серой корой. Венчик воронковидной формы и светло-желтой окраски. В Москве цветение растянутое, с середины мая до середины июня. В июле созревают округлые плоды темно-синей окраски с сизым налетом. Масса плодов 0,12-0,32 г. В плодах содержится до 242 мг% антоцианов, до 21,5 мг% витамина С, от 2,6 до 3,3 мг% каротиноидов (табл. 2).

Таблица 2.

**Биохимический состав плодов *L. iliensis* в Москве**

№ образца	Сухое вещество, %	Антоцианы, мг%	Витамин С, мг%	Каротиноиды, мг%
И-1	10,21±0,37	242±31,7	19,1±2,6	3,17±0,43
И-2	9,38±0,49	228±27,1	18,5±3,8	3,30±0,28
И-3	9,14±0,38	209±32,4	21,5±3,4	2,61±0,35

Согласно нашим исследованиям в 2001 г. плоды *L. iliensis* содержали 17,3-20,8% сухого вещества, от 5,1 до 6,8 % сахаров, от 44,8 до 81,8 мг% витамина С, от 2,5 до 3,9 % органических кислот, в пересчете на лимонную кислоту [9]. По хозяйственно-ценным показателям *L. iliensis* может использоваться в селекции сортов со съедобными плодами.

Жимолость стройночерешчатая *L. gracilipes* var. *glandulosa* - кустарник высотой более 1,5 м с раскидистой кроной. Листья овальные светло-зеленые, на верхушке побегов с антоциановой окраской. Цветки распускаются в июне, венчик трубчатый, малиновый. Плоды созревают в начале июля. На кустарнике вызревает небольшое число плодов с глянцевою красно-малиновой кожицей, покрытой железистыми выростами. Обычно плоды одиночные, редко сростаются парами. В плодах до 4 крупных семян. Средняя масса плодов 0,6 г. Вкус сладкий, рН сока 5.1. Содержание сухих веществ - до 16%. (табл. 3).

Таблица 3.

**Биохимический состав плодов *L. gracilipes* var. *glandulosa* в Южно-Сахалинске**

№ образца	Сухое вещество, %	Антоцианы, мг%	Витамин С, мг%	Каротиноиды, мг%
С-1	15,7±0,37	594±37,5	50,7±4,5	4,6±0,6
С-2	16,4±0,42	630±41,6	56,4±6,7	5,2±0,4
С-3	16,6±0,43	627±28,2	61,4±6,4	5,7±0,5

### **Заключение**

Анализ биохимического состава плодов перспективных сортов и редких видов рода *Lonicera* позволил определить содержание витамина С, антоцианов и каротиноидов.

Съедобным и ранозревающим плодам *L. caerulea* уделяется большое внимание, поэтому интересны исследования в различных природно-климатических зонах. Наши данные показывают, как отражаются условия Московского региона на содержание в плодах ценных химических компонентов. Плоды 13 сортов и 5 отборных форм *L. caerulea* отличаются высокой насыщенностью антоцианами, витаминами и другими биологически активными веществами. Отмечено, что сорта Провинциалка, Синяя птица и Изюминка, наиболее богатые антоцианами (до 870 до мг%) и более ценны для культивирования в средней полосе России, включая Московскую и Белгородскую область.

Впервые исследованы съедобные плоды эндемичных в природе видов жимолости - *L. iliensis* и *L. gracilipes*, которые редко культивируются и мало изучены. Полученные сведения по биохимическому составу плодов жимолости стройночерешчатой отличаются научной новизной. Согласно проведенному анализу, плоды *L. gracilipes* содержат антоцианы (более 600 мг%), богаты каротиноидами (до 5,7 мг%), а витамина С в них в 3 раза больше, чем у голубых жимолостей (до 60 мг%), что особенно интересно для целей селекции.

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

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено в рамках государственных заданий ГБС РАН, проект №122042700002-6 «Биологическое разнообразие природной и культурной флоры: фундаментальные и прикладные вопросы изучения и сохранения» и ВИЛАР по теме FGUU-2022-0014 «Формирование, сохранение и изучение биоколлекций генофонда различного направления с целью сохранения биоразнообразия и использования их в технологиях здоровьесбережения».

**Благодарности.** Авторы благодарны И.Г. Зиновьевой за участие в изучении сортов жимолости синей.

### **Список литературы**

1. Государственная фармакопея РФ, XIV издание. 2019 г. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopeia14> (дата обращения 30.06.2023).

2. Красная книга Республики Казахстана / Гл. ред. Мелдебеков А.М. 2-е издание Алматы: АртПринтXXI, 2014. Т. 2 (1). 605 с.
3. Куклина А.Г. Анализ изменчивости жимолости илийской (*Lonicera iliensis* Rojark.) в природе и интродукционной популяции // Бюл. Гл. ботан. сада. 2004. Вып. 185. С. 38-43.
4. Макарова Н.В., Мусифуллина Э.В., Дмитриева А.Н., Соболев Г.И. Контроль исследования химического состава различных сортов жимолости // Известия Вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2012. № 2 (3). С. 171-172.
5. Мухитдинов Н.М., Аметов А.А., Абидкулова К.Т., Карашолакова Л.Н. Современное состояние популяций редкого и эндемичного вида *Lonicera iliensis* Rojark. // Международный журнал экспериментального образования. 2013. № 11 (1). С. 95-100.
6. Попов В.С., Смятская Ю.А. Модифицированный титриметрический метод количественного определения витамина С в окрашенных растительных экстрактах // Вестник ПНИПУ. 2020. №4. С. 43-53. <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.4.04>
7. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орёл: Изд-во ВНИСПК, 1999. 608 с.
8. Скворцов А.К., Куклина А.Г. Голубые жимолости. М.: Наука, 2002. 160 с.
9. Сорокопудов В.Н., Куклина А.Г., Упадышев М.Т. Сорта съедобной жимолости: биология и основы культивирования. М.: ФГБНУ ВСТИСП, 2018. 160 с.
10. Сорокопудов В.Н., Сорокопудова О.А., Куклина А.Г., Мячикова Н.И. Дикорастущие ягодные культуры – источник биологически активных веществ как обязательный компонент питания и здоровья человека // Экологические аспекты жизнедеятельности человека, животных и растений. Белгород: ИД «Белгород» НИУ БелГУ, 2017. С. 121-139.
11. Тринева О.В., Сафонова Е.Ф., Сливкин Ф.И. Определение каротиноидов в плодах шиповника // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2012. № 11. С. 19-22
12. Федоринова О.И., Козловский Б. Л., Куропятников М. В. Интродукция жимолости стройночерешчатой в Ростове-на-Дону // Интродукция нетрадиционных и редких растений. Воронеж: Кварта, 2008. С. 131-132.
13. Шейко В.В. Жимолость стройночерешчатая (*Lonicera gracilipes* Miq.) – перспективный для использования в садоводстве ягодный кустарник // Актуальные проблемы размножение ягодных культур и пути их решения. Мичуринск: ВНИИС, 2010. URL: <http://konferenc2010.narod.ru/ht/Sheiko.doc> (дата обращения 30.06.2023).

14. Шейко В.В. Выращивание декоративных видов жимолости в условиях Сахалина. Южно-Сахалинск, 2011. 98 с.
15. Bors B. Haskap Breeding and Production / Agriculture Development Fund. Saskatchewan, 2012. URL: <http://www.agriculture.gov.sk.ca> (accessed 05.06.2023)
16. Brindza J., Grygorieva O., Klymenko S., Kuklina A., Vinogradova J. Genofondu netradičných druhov rastlín pri rozširovaní a využívaní agrobiodiverzity v agropotravinárstve // Vysledky a prinosy excelentneho centra ochranz a vyuzivania agrobiodiverzity. Ybornik prednasok z odborneho seminaru ECOVA a pudlikacie Vedecke prace FAPZ SPU v Nitre. Nitra, 2011, pp. 46-74.
17. Celli G. B., Ghanem A., Brooks M. S. L. Haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) - A critical review of antioxidant capacity and health-related studies for potential value-added products // Food and Bioprocess Technology, 2014, vol. 7 (6), pp. 1541-1554. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1301-2>
18. Chmiel T., Abogado D., Wardencki W. Optimization of capillary isotachopheric method for determination of major macroelements in blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L.) and related products // Analytical and Bioanalytical Chemistry. 2014, vol. 406(20), pp. 4965-4986. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7879-4>
19. Fujita R., Hayasaka T., Jin S., Hui S. P., Hoshino Y. Comparison of anthocyanin distribution in berries of Haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis* (Turcz. ex. Herder) Hultén), Miyama-uguisukagura (*Lonicera gracilipes* Miq.), and their interspecific hybrid using imaging mass spectrometry // Plant science, 2020, vol. 300, pp. 110633. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110633>
20. Fujita R., Jin S., Hayasak, T., Matoba K., Hoshino Y. Evaluation of fruit anthocyanin composition by lc/ms in interspecific hybrids between haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis* (Turcz. ex. Herder) Hultén) and miyama-uguisukagura (*Lonicera gracilipes* Miq.) // The Horticulture Journal, 2020, vol. 89 (4), pp. 343-350. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-139>
21. Fujita R., Jin S., Matoba K., Hoshino Y. Novel production of  $\beta$ -cryptoxanthin in haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis*) hybrids: Improvement of carotenoid biosynthesis by interspecific hybridization // Scientia horticulturae, 2023, vol. 308, pp. 111547. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111547>
22. Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres, L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects // Molecules, 2011, vol. 17(1), pp. 61-79. <https://doi.org/10.3390/molecules17010061>
23. Kaczmarska E., Gawronski J., Dyduch-Sieminska M., Najda A., Marecki W., Zebrowska J. Genetic diversity and chemical characterization of selected Pol-

- ish and Russian cultivars and clones of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*) // Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2015, vol. 39, pp. 394-402. <https://doi.org/10.3906/tar-1404-149>
24. Kikuchi M., Matsuda N. Flavone glycosides from *Lonicera gracilipes* var. *glan-dulosa* // Journal of Natural Products, 1996, vol. 59(3), pp. 314-315. <https://doi.org/10.1021/np960180j>
25. Kuklina A. Adaptogenic and Radioprotective Properties of Blue Honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) Fruits // Biodiversity after the Chernobyl Accident. 2016, no. 2, pp. 123-126. URL: <http://ves.uniag.sk/files/pdf/tpcka3c9lyotzzn-9hfgdvvjrxr55b.pdf> (accessed 08.06.2023).
26. Miyashita T., Hoshino Y. Interspecific hybridization in *Lonicera caerulea* and *Lonicera gracilipes*: The occurrence of green/albino plants by reciprocal crossing // Scientia horticulturae, 2010, vol. 125(4), pp. 692-699. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.032>
27. Myjavcová R., Marhol P., Křen V., Šimánek V., Ulricová J., Palicov I., Papoušková B., Lemr K., Bednár P. Analysis of anthocyanin pigments in *Lonicera* (*Caerulea*) extracts using chromatographic fractionation followed by microcolumn liquid chromatography-mass spectrometry // Journal of Chromatography A, 2010, vol. 1217 (51), pp. 7932-7941. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.05.058>
28. Rupasinghe H. V., Boehm M. M., Sekhon-Loodu S., Parmar I., Bors B., Jamieson A. R. Anti-inflammatory activity of haskap cultivars is polyphenols-dependent // Biomolecules, 2015, vol. 5(2), pp. 1079-1098. <https://doi.org/10.3390/biom5021079>
29. Skvortsov A.K. Blue honeysuckles (*Lonicera* subsect. *Caeruleae*) of Eurasia: distribution, taxonomy, chromosome numbers, domestication // Acta Univ. Upsala, Symb. Bot., 1986, vol. 27 (2), pp. 95-105.
30. Svarcova I., Heinrich J., Valentova K. Berry fruits as a source of biologically active compounds: the case of *Lonicera caerulea* // Biomedical Papers of the Med. fac. Univ. Palacky, Olomouc Czech Repub., 2007, vol. 151 (2), pp. 163-174. <https://doi.org/10.5507/bp.2007.031>
31. Wang Y., Zhu J., Meng X., Liu S., Mu J., Ning Ch. Comparison of polyphenol, anthocyanin and antioxidant capacity in four varieties of *Lonicera caerulea* berry extracts // Food Chemistry, 2016, vol. 197, part A, pp. 522-529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.006>

### References

1. State Pharmacopoeia of the Russian Federation, XIV edition. 2019. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopea14> (accessed 30.06.2023).

2. *Red Book of the Republic of Kazakhstan* / Chief editor Meldebekov A.M. Almaty: ArtPrintXXI, 2014, vol. 2 (1), 605 p.
3. Kuklina A.G. Analysis of variability of honeysuckle iliensis (*Lonicera iliensis* Pojark.) in nature and introduced population. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2004, no. 185, pp. 38-43.
4. Makarova N.V., Musifullina E.V., Dmitrieva A.N., Sobolev G.I. Control study of the chemical composition of different varieties of honeysuckle. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*, 2012, no. 2 (3), pp. 171-172.
5. Mukhitdinov N.M., Ametov A.A., Abidkulova K.T., Karasholakova L.N. Current state of populations of rare and endemic species *Lonicera iliensis* Pojark. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* [International Journal of Experimental Education], 2013, no. 11 (1), pp. 95-100.
6. Popov V.S., Smyatskaya Yu.A. Modified titrimetric method for quantitative determination of vitamin C in colored plant extracts. *Vestnik PNIPU*, 2020, no. 4, pp. 43-53. <https://doi.org/10.15593/2224-9400/2020.4.04>
7. Program and methodology of varietal study of fruit, berry and nut crops. Oryol: VNISPK Publ., 1999, 608 p.
8. Skvortsov A.K., Kuklina A.G. *Blue honeysuckles*. Moscow: Nauka Publ., 2002, 160 p.
9. Sorokopudov V.N., Kuklina A.G., Upadyshev M.T. Edible honeysuckle varieties: biology and basics of cultivation. M.: FGBNU VSTISP Publ., 2018, 160 p.
10. Sorokopudov V.N., Sorokopudova O.A., Kuklina A.G., Myachikova N.I. Wild berry crops - a source of biologically active substances as a mandatory component of human nutrition and health. *Ecological aspects of human, animal and plant life*. Belgorod: National Research University of Belgorod State University Publ., 2017, pp. 121-139.
11. Trineva O.V., Safonova E.F., Slivkin F.I. Determination of carotenoids in rosehip fruit. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii*, 2012, no. 11, pp. 19-22.
12. Fedorinova O.I., Kozlovsky B.L., Kuropyatnikov M.V. Introduction of honeysuckle slender-leaved in Rostov-on-Don. *Introduction of non-traditional and rare plants*. Voronezh: Kvarta Publ., 2008, pp. 131-132.
13. Sheiko V.V. Honeysuckle slender-lobed (*Lonicera gracilipes* Miq.) - a promising for use in horticulture berry shrub. *Actual problems of reproduction of berry crops and ways of their solution*. Michurinsk: VNIIS Publ., 2010. URL: <http://konferenc2010.narod.ru/ht/Sheiko.doc> (accessed 30.06.2023).
14. Sheiko V.V. *Cultivation of ornamental species of honeysuckle in the conditions of Sakhalin*. Yuzhno-Sakhalinsk, 2011, 98 p.



15. Bors B. Haskap Breeding and Production / Agriculture Development Fund. Saskatchewan, 2012. URL: <http://www.agriculture.gov.sk.ca> (accessed 05.06.2023)
16. Brindza J., Grygorieva O., Klymenko S., Kuklina A., Vinogradova J. Genofondy netradičných druhov rastlín pri rozširovaní a využívaní agrobiodiverzity v agropotravinárstve. *Výsledky a prínosy excelentného centra ochrany a využívania agrobiodiverzity. Zborník prednášok z odborného seminára ECOVA a publikácie Vedecké práce FAPZ SPU v Nitre*. Nitra, 2011, pp. 46-74.
17. Celli G. B., Ghanem A., Brooks M. S. L. Haskap berries (*Lonicera caerulea* L.) - A critical review of antioxidant capacity and health-related studies for potential value-added products. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, vol. 7 (6), pp. 1541-1554. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1301-2>
18. Chmiel T., Abogado D., Wardencki W. Optimization of capillary isotachopheric method for determination of major macroelements in blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L.) and related products. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2014, vol. 406 (20), pp. 4965-4986. <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7879-4>
19. Fujita R., Hayasaka T., Jin S., Hui S. P., Hoshino Y. Comparison of anthocyanin distribution in berries of Haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis* (Turcz. ex. Herder) Hultén), Miyama-uguisukagura (*Lonicera gracilipes* Miq.), and their interspecific hybrid using imaging mass spectrometry. *Plant science*, 2020, vol. 300, p. 110633. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110633>
20. Fujita R., Jin S., Hayasak, T., Matoba K., Hoshino Y. Evaluation of fruit anthocyanin composition by lc/ms in interspecific hybrids between haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis* (Turcz. ex. Herder) Hultén) and miyama-uguisukagura (*Lonicera gracilipes* Miq.). *The Horticulture Journal*, 2020, vol. 89 (4), pp. 343-350. <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-139>
21. Fujita R., Jin S., Matoba K., Hoshino Y. Novel production of  $\beta$ -cryptoxanthin in haskap (*Lonicera caerulea* subsp. *edulis*) hybrids: Improvement of carotenoid biosynthesis by interspecific hybridization. *Scientia horticulturae*, 2023, vol. 308, pp. 111547. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111547>
22. Jurikova T., Rop O., Mlcek J., Sochor J., Balla S., Szekeres, L., Hegedusova A., Hubalek J., Adam V., Kizek R. Phenolic profile of edible honeysuckle berries (genus *Lonicera*) and their biological effects. *Molecules*, 2011, vol. 17(1), pp. 61-79. <https://doi.org/10.3390/molecules17010061>
23. Kaczmarek E., Gawronski J., Dyduch-Sieminska M., Najda A., Marecki W., Zebrowska J. Genetic diversity and chemical characterization of selected Polish and Russian cultivars and clones of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2015, vol. 39, pp. 394-402. <https://doi.org/10.3906/tar-1404-149>

24. Kikuchi M., Matsuda N. Flavone glycosides from *Lonicera gracilipes* var. *glandulosa*. *Journal of Natural Products*, 1996, vol. 59(3), pp. 314-315. <https://doi.org/10.1021/np960180j>
25. Kuklina A. Adaptogenic and Radioprotective Properties of Blue Honeysuckle (*Lonicera caerulea* L.) Fruits. *Biodiversity after the Chernobyl Accident*, 2016, no. 2, pp. 123-126. URL: <http://ves.uniag.sk/files/pdf/tpcka3c9lyotzzn9hfg-dvvvjrxr55b.pdf> (accessed 08.06.2023).
26. Miyashita T., Hoshino Y. Interspecific hybridization in *Lonicera caerulea* and *Lonicera gracilipes*: The occurrence of green/albino plants by reciprocal crossing. *Scientia horticulturae*, 2010, vol. 125(4), pp. 692-699. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.032>
27. Myjavcová R., Marhol P., Křen V., Šimánek V., Ulricová J., Palicov I., Pa-poušková B., Lemr K., Bednár P. Analysis of anthocyanin pigments in *Lonicera* (*Caerulea*) extracts using chromatographic fractionation followed by microcolumn liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 2010, vol. 1217 (51), pp. 7932-7941. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2010.05.058>
28. Rupasinghe H. V., Boehm M. M., Sekhon-Loodu S., Parmar I., Bors B., Jamieson A. R. Anti-inflammatory activity of haskap cultivars is polyphenols-dependent. *Biomolecules*, 2015, vol. 5 (2), pp. 1079-1098. <https://doi.org/10.3390/biom5021079>
29. Skvortsov A.K. Blue honeysuckles (*Lonicera* subsect. *Caeruleae*) of Eurasia: distribution, taxonomy, chromosome numbers, domestication. *Acta Univ. Upsala, Symb. Bot.*, 1986, vol. 27 (2), pp. 95-105.
30. Svarcova I., Heinrich J., Valentova K. Berry fruits as a source of biologically active compounds: the case of *Lonicera caerulea*. *Biomedical Papers of the Med. fac. Univ. Palacky, Olomouc Czech Repub.*, 2007, vol. 151 (2), pp. 163-174. <https://doi.org/10.5507/bp.2007.031>
31. Wang Y., Zhu J., Meng X., Liu S., Mu J., Ning Ch. Comparison of polyphenol, anthocyanin and antioxidant capacity in four varieties of *Lonicera caerulea* berry extracts. *Food Chemistry*, 2016, vol. 197, part A, pp. 522-529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.006>

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Сорокопудов В.Н.:** разработка концепции научного материала, изучение материала исследования, редактирование рукописи.

**Куклина А.Г.:** изучение материала исследования, написание рукописи и оформление результатов статьи.

**Цыбулько Н.С.:** сбор и анализ данных по *L. caerulea* и *L. iliensis*.

**Лебедев Д.В.:** сбор и анализ данных по *L. gracilipes*.

#### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Vladimir N. Sorokopudov:** development of the concept of scientific material, study of the research material, editing of the manuscript.

**Alla G. Kuklina:** study of the research material, writing the manuscript and formatting the results of the article.

**Natalia S. Tsybulko:** collection and analysis of data on *L. caerulea* and *L. iliensis*.

**Dmitriy V. Lebedev:** collection and analysis of data on *L. gracilipes*.

#### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Сорокопудов Владимир Николаевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник  
*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*  
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация  
[sorokopud2301@mail.ru](mailto:sorokopud2301@mail.ru)

**Куклина Алла Георгиевна**, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник  
*ФБГУН Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук*  
ул. Ботаническая, 4, г. Москва, 127276, Российская Федерация  
[alla\\_gbsad@mail.ru](mailto:alla_gbsad@mail.ru)

**Цыбулько Наталья Степановна**, кандидат фармацевтических наук, инженер  
*ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений*  
ул. Грина, 7, г. Москва, 117216, Российская Федерация  
[ostafevo11@yandex.ru](mailto:ostafevo11@yandex.ru)

**Лебедев Дмитрий Валерьевич**, руководитель научно-производственной группы  
*Сахалинский филиал Ботанического сада-института ДВО РАН*  
ул. Горького, 21, г. Южно-Сахалинск, 693023, Российская Федерация  
[dimitriileb@yandex.ru](mailto:dimitriileb@yandex.ru)

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Vladimir N. Sorokopudov**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher

*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
7, Grina Str, Moscow, 117216, Russian Federation*

*sorokopud2301@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0133-6919>*

*ResearcherID: B-1520-2018*

*Scopus Author ID: 8673366700*

*SPIN-code: 6202-7770*

**Alla G. Kuklina**, Candidate of Biological Sciences, Leading researcher

*Tsitsin Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences  
4, Botanycheskaya 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*

**Natalia S. Tsybulko**, Candidate of Pharm. Sciences, Engineer

*All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
7, Grina Str., Moscow, 117216, Russian Federation*

*ostafevo11@yandex.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9542-5017>*

*ResearcherID: AAD-5817-2022*

*Scopus Author ID: 57297457100*

*SPIN-code: 4691-4700*

**Dmitriy V. Lebedev**, Head of the Research and Production Group

*Sakhalin branch of the Botanical Garden-Institute, Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences*

*21, Gorky Str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russian Federation*

*dimitriileb@yandex.ru*

Поступила 22.07.2023

После рецензирования 22.08.2023

Принята 07.09.2023

Received 22.07.2023

Revised 22.08.2023

Accepted 07.09.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-728

UDC 630\*165.6



Original article | Forestry

## COMPARATIVE ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF NORTH AMERICAN SPECIES FOR ENRICHING DENDROFLORA OF FOREST RECLAMATION COMPLEXES

*A.Sh. Khuzhakhmetova, S.E. Lazarev,  
K.A. Melnik, D.V. Sapronova*

**Purpose.** In this regard, the purpose of this work is to conduct a comparative ecological and geographical analysis of North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* to predict the prospects for their introduction and to identify common patterns in the formation of cultigenic areas.

**Background.** Two North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* (*R. pseudoacacia* and *G. triacanthos*) are currently common in protective afforestation and landscaping of settlements; other species, despite their high economic value, are used extremely rarely. Different rates of expanding cultivation areas determine the bioecological features of species that are formed under the influence of environmental and climatic conditions in the areas of their natural and secondary expansion. In this regard, the purpose of this work is to conduct a comparative ecological and geographical analysis of North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* to predict the prospects for their introduction and to identify common patterns in the formation of cultigenic areas

**Materials and methods.** The objects of the current research are North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia*, introduced in the cluster dendrological collections of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences». Methodologically, forecasting the adaptive capabilities of the species in question under the conditions of introduction relies on the method of climatic analogs, the main provisions of which were formulated in the works of Mayr and subsequently refined by Pavari, Selyaninov, Maleev, and Good.

**Results.** The findings suggest that the major limiting factors affecting the expansion of the cultigen ranges of the species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* are low winter temperatures ( $-37^{\circ}\text{C}$ ) as well as poor moisture supply and uneven distribution of precipitation in the course of the growing season.

**Conclusion.** Comparative ecological and geographical analysis of donor regions located in North America and the points of introduction in the Volgograd region have enabled us to identify the most promising species of *R. neomexicana* with a natural expansion area in the states of Utah, New Mexico, Arizona and Colorado, whose meteorological conditions are most similar to the ones of the Volgograd region both in terms of temperature and total precipitation. In the *Gleditsia* family complex, *G. triacanthos* was identified as having a considerable natural expansion area located in the humid and arid regions of the North American continent. This species is notable for a high level of ecological plasticity and its ability to grow in various agroforestry areas of the Volgograd region.

**Keywords:** prospects of introduction; natural, secondary, introduction and cultigenic areas; *R. pseudoacacia*; *R. viscosa*; *R. neomexicana*; *G. triacanthos*; *G. × texana*; *G. aquatica*

**For citation.** Khuzhakhmetova A.Sh., Lazarev S.E., Melnik K.A., Sapronova D.V. Comparative Environmental and Geographical Analysis of North American Species for Enriching Dendroflora of Forest Reclamation Complexes. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 246-265. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-728

Научная статья | Лесное хозяйство

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ ВИДОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.Ш. Хужахметова, С.Е. Лазарев,  
К.А. Мельник, Д.В. Сапронова

**Обоснование.** Два североамериканских вида рода *Robinia* и *Gleditsia* (*R. pseudoacacia* и *G. triacanthos*) в настоящее время широко распространены в защитном лесоразведении и озеленении населенных пунктов; другие виды,

несмотря на их высокую хозяйственную ценность, используются крайне редко. Различные темпы расширения посевных площадей определяют биоэкологические особенности видов, которые формируются под влиянием эколого-климатических условий в районах их естественного и вторичного распространения.

**Цель.** Проведение сравнительного эколого-географического анализа североамериканских видов рода *Robinia* и *Gleditsia* для прогнозирования перспектив их интродукции и выявления общих закономерностей в формировании культивируемых ареалов.

**Материалы и методы.** Объектом исследования являются североамериканские виды рода *Robinia* и *Gleditsia*, интродуцированные в кластерные дендрологические коллекции Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексной мелиорации и защитного лесоразведения Российской академии наук». Методологические прогнозы адаптивных возможностей рассматриваемого вида в условиях интродукции опираются на метод климатических аналогов, основные положения которого были сформулированы в работах Майра и доработаны впоследствии Павари, Селяниновым, Малеевым и Гуда

**Результаты.** Полученные данные свидетельствуют о том, что основными лимитирующими факторами, влияющими на расширение культивируемых ареалов видов рода *Robinia* и *Gleditsia*, являются низкие зимние температуры ( $-37^{\circ}\text{C}$ ), а также недостаточная влагообеспеченность и неравномерное распределение осадков.

**Заключение.** Сравнительный эколого-географический анализ регионов-доноров расположенных на территории Северной Америки и пунктов интродукции Волгоградской области позволил выделить наиболее перспективный вид *R. neotexicana* с ареалом естественного распространения на территории штатов: Юта, Нью-Мексико, Аризона и Колорадо, метеорологические условия которых имеют максимальную схожесть с Волгоградской областью как по температурным показателям, так и по общему количеству осадков. В родовом комплексе *Gleditsia* была выделена *G. triacanthos* с большим ареалом естественного распространения, расположенным во влажных и засушливых областях североамериканского континента. Данный вид отличается высоким уровнем экологической пластичности и способен произрастать в разных агролесомелиоративных районах Волгоградской области.

**Ключевые слова:** перспективность интродукции; естественные, вторичные, интродукционные, культивируемые ареалы; *R. pseudoacacia*; *R. viscosa*; *R. neotexicana*; *G. triacanthos*; *G. × texana*; *G. aquatica*

*Для цитирования.* Хужахметова А.Ш., Лазарев С.Е., Мельник К.А., Сапронова Д.В. Сравнительный эколого-географический анализ североамериканских видов для обогащения дендрофлоры лесомелиоративных комплексов // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 246-265. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-728

## Introduction

Species of the *Robinia* L. and *Gleditsia* L. generic complexes, with natural expansion areas located in North America, have made a considerable contribution to the formation of the gene pool of cultivated woody plants in the Volgograd region. According to the latest taxonomic evaluation [7], the genus *Robinia* includes four species of North American origin: *R. pseudoacacia* L.; *R. neomexicana* A. Gray; *R. viscosa* Vent.; *R. hispida* L. Two groups are distinguishable within the genus: the first one comprises the white-flowered *R. pseudoacacia*, a diploid cross-pollinated species, while the second one comprises the pink-flowered ones: *R. hispida*, *R. viscosa*, and *R. neomexicana*, which form triploid clonal races either by apomixis or by natural vegetative propagation of root offsprings [9]. The genus *Gleditsia* includes 12 species, three of which also have natural expansion areas in North America [13].

Most of the species, varieties and forms of the generic complexes of *Robinia* and *Gleditsia* are of undeniable interest for enriching the dendroflora of sparsely forested regions. They are highly drought-resistant, decorative and are distinguished by high vitality in the conditions of introduction. Unfortunately, only two species, *R. pseudoacacia* and *G. triacanthos*, have become widespread in forest reclamation complexes in the south of European Russia [1, 15].

Different rates of expanding the areas of cultivation for the species of generic complexes are associated with the bioecological characteristics of plants, which determine the limits of their resistance to adverse environmental factors. Moreover, the features of bioecology in the process of phylogenesis are affected by climatic and environmental conditions in the areas of natural and secondary expansion of species. According to ecological and geographical analysis, they can be predicted at the stage of introduction.

In this regard, the purpose of this paper is to carry out the ecological and geographical analysis of North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* to predict the prospects for their introduction and to identify common patterns in the formation of cultigenic areas

The **purpose** of this work is to conduct a comparative ecological and geographical analysis of North American species of the genus *Robinia* and *Gle-*



*ditsia* to predict the prospects for their introduction and to identify common patterns in the formation of cultigenic areas.

### **Materials and Methods**

The studies were conducted between 2017 and 2022. The objects of the research were North American species of the genus *Robinia* and *Gleditsia* introduced into the conditions of the Volgograd region: *R. pseudoacacia* L.; *R. neomexicana* A. Gray; *R. viscosa* Vent. and *G. triacanthos* L., *G. aquatica* Marsh., *G. texana* Sarg. Collectible *Robinia* and honey locust plantations are located in the following areas: the nursery of woody plants of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, No. 34:34:000000:122; the Cluster Dendrological Park of Volgograd Agroforestry Research Institute, 34:34:060061:10; the administrative buildings and laboratory facilities of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, No. 34:34:060055:32; the forest seed collection plantations of the Kirov forestry in the city of Volgograd, 34:34:070010:21; the nursery of woody plants of the Nizhnevolzhskaya station for the selection of forest crops of the Federal Scientific Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences, No. 34:36:000014, as well as landscaping objects for general and limited use in the cities of Volgograd and Volzhsky.

Methodologically, forecasting the adaptive capabilities of the species in question under the conditions of introduction relies on the method of climatic analogs, the main provisions of which were formulated in the works of Mayr and subsequently refined by Pavari, Selyaninov, Maleev, and Good.

Agro-climatic indicators are compared at the level of the administrative-territorial division of the Volgograd region (districts) and the territories of the United States of America (states). The comparison of the climatic conditions of the natural growth regions of the specified species and the points of their introduction is based on the following indicators: absolute minimum and absolute maximum of air temperatures, average annual temperatures, as well as average annual precipitation. To identify certain patterns, we have applied multivariate analysis by the hierarchical clustering method, which was followed by constructing dendrograms.

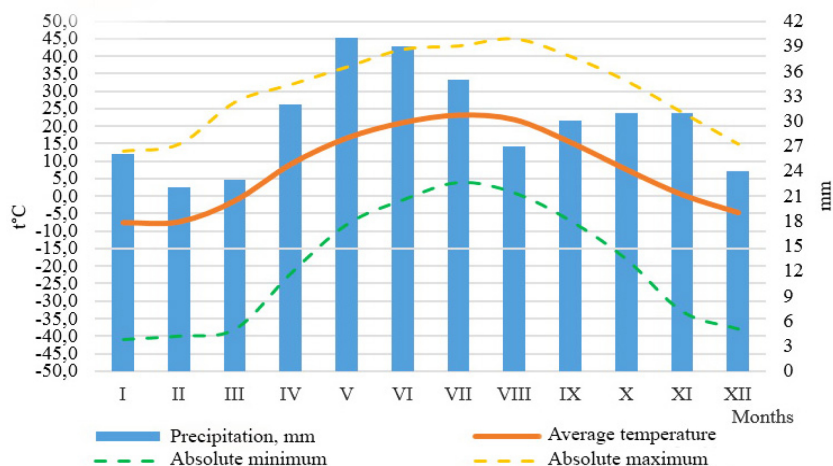
### **Research results and their discussion**

The Volgograd region is characterized by severe forest site conditions. The region is affected by western cyclones and arctic air masses. The air in the region is dry – eastern and southeastern dry winds are observed, which determine

the continental arid climate of the region with strong aridization in the south-eastern part [3].

Dry hot long summers followed by warm autumns, short dry springs and cold winters with temperatures down to  $-37^{\circ}\text{C}$  are common for the Volgograd region [2, 15].

The climatogram below, plotted in accordance with the long-term average data of the reference and information portal “Weather and Climate” shows the features of the annual course of the major meteorological indicators for the Volgograd region [19] (Figure 1).



**Fig. 1.** Climatogram of major meteorological indicators in the Volgograd region (plotted by the authors based on the data provided by the reference and information portal “Weather and Climate” [19]).

The duration of sunshine accounts for 2079 hours in the northern part of the region with an increase up to 2350 hours in the southern regions. The region is sufficiently provided with heat. Air temperature indicators on yearly average range from  $5.2^{\circ}\text{C}$  (the town of Elan) to  $8.3^{\circ}\text{C}$  (the town of Kotelnikovo). The amplitude of temperature indicators is  $32.9^{\circ}\text{C}$  per year.

The absolute maximum and minimum temperatures vary greatly from year to year, but concurrently, the difference in extreme temperatures in the districts of the region is not subject to considerable change and ranges from  $850^{\circ}\text{C}$  (in the town of Bykovo) to  $770^{\circ}\text{C}$  (in the town of Serafimovich), which is indicative of a highly continental climate [20].

The period of stable frosts begins around November, 8-9 in the north of the region, November, 16-18 in the south, and closes in late February – early March. The average duration of the frost-free period ranges between 149 days ( in Elan) and 168 days (in Kotelnikovo). Dates of setting and close, the total duration of the cold period with negative average daily temperatures in the Volgograd region are close to the calendar winter and average 85-95 days [17].

The average annual humidity indicator is in the range of 66-72%. In the summer period, on some days, the humidity drops to 14 - 16%, and the average monthly figures for June - July are 54%. In winter, air humidity increases to 85% -86%.

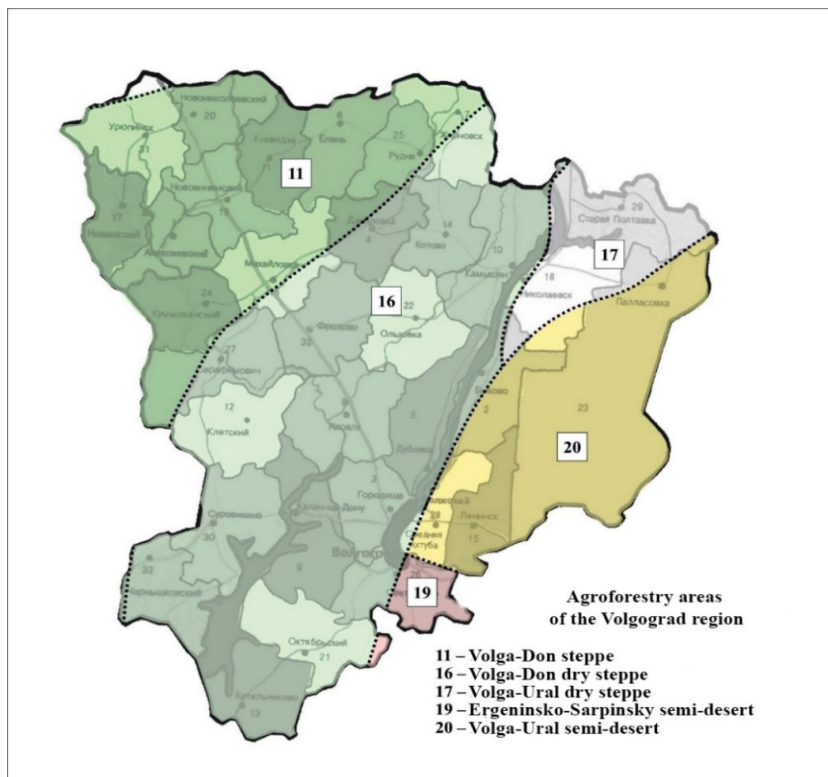
The region witnesses frequent droughts, the frequency of which accounts for 50%. Severe droughts in the Volgograd region were observed in 1906, 1921, 1957, 1969, 1972, 1975, 1998, 2002, 2012, 2020.

On average, from 402 mm (Serafimovich) to 403 mm of precipitation (Lower Chir) falls annually in the western and southwestern districts of the region. Heavy precipitation is also characteristic of the northern part of the region: 393 mm – Yelan', 390 mm - Rudnya. The driest southern and southeastern districts are Tinguta (278 mm), Pallasovka (281 mm), Elton (292 mm). The major depth of precipitation is observed in spring and early summer, when active evaporation from the surface of the earth occurs. In summer, showers are most common with water rolling into surface watercourses, which activate soil washout and intensify erosion processes.

According to the agroforestry reclamation zoning developed by Volgograd Agroforestry Research Institute [5], the Volgograd region comprises the Volga-Don steppe, Volga-Ural and Volga-Don dry steppe, Ergeninsko-Sarpinsky and Volga-Ural semi-desert areas (Fig. 2).

The natural expansion areas of all the genus *Robinia* species are located in North America. The expansion area of *R. pseudoacacia* is Appalachian mountains from Pennsylvania to Georgia, west to Iowa, Missouri and Oklahoma. Currently, this species is widely cultivated virtually in the entire continental United States. *R. viscosa* grows in the Allegheny Mountains of eastern North America from North Carolina to Alabama.

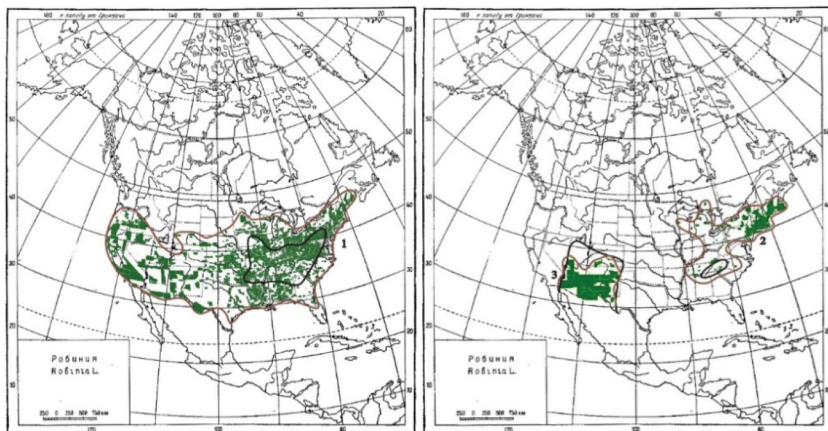
As a highly ornamental species, it has become widespread on the east coast of North America. *R. neomexicana* is the only species with a natural range in western North America from Colorado to New Mexico, to Arizona and Utah. On the territory of the United States, *R. neomexicana* has not become widespread in culture (Fig. 3).



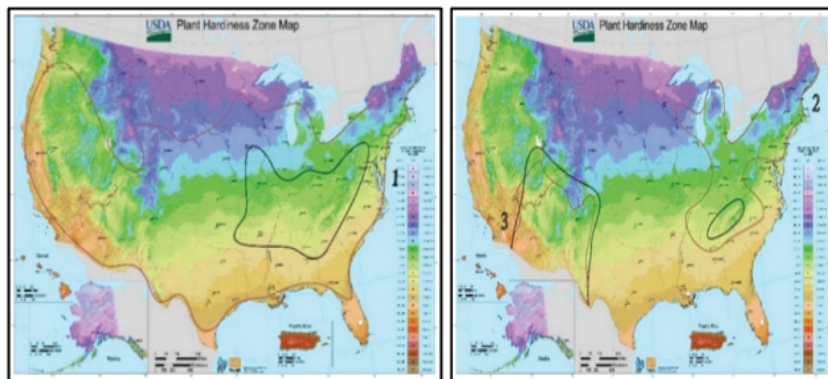
**Fig. 2.** Agroforestry zoning of the Volgograd region (the map has been charted by the authors based on Volgograd Agroforestry Research Institute data [3])

The natural habitats of all species of the genus *Robinia* are located in a warm subtropical climate. Therefore, the major factor, limiting the spread of this species to the north, is low winter temperatures in new cultivation conditions [8,10,14,16]. In accordance with the zoning, proposed by Reder, *Robinia pseudoacacia* and *R. viscosa* belong to the third frost resistance zone (from  $-35^{\circ}$  to  $-20^{\circ}$  °C), while *R. neomexicana* belongs to the fourth zone (from  $-20^{\circ}$  to  $-10^{\circ}$  °C).

Comparison of the map of USDA plant frost resistance zones with natural expansion areas suggests that *R. neomexicana* and *Robinia pseudoacacia* have higher potential frost resistance. The expansion of the secondary ranges of *R. viscosa* and *Robinia pseudoacacia* to the north can be related to their economic value, rather than high frost resistance (Fig. 4).



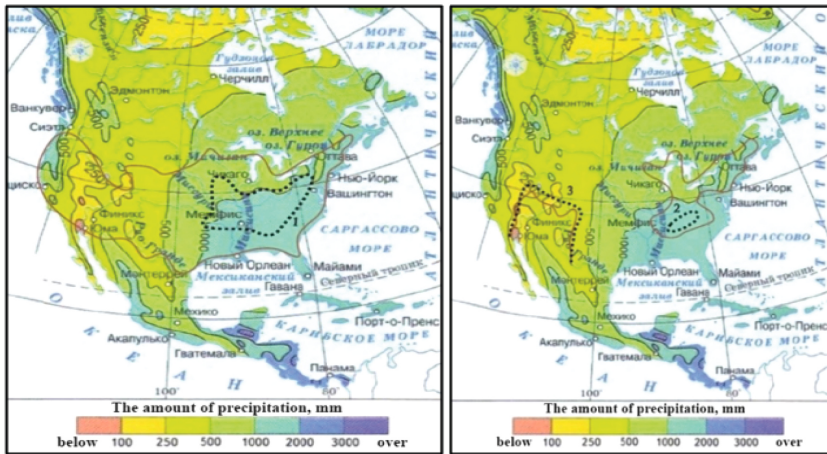
**Fig. 3.** Areas of natural and secondary expansion of the genus *Robinia* species in North America: 1 – *R. pseudoacacia* L., 2 – *R. viscosa* Vent., 3 – *R. neomexicana* A. Grey (charted by the authors based on the PLANTS Database [18])



**Fig. 4.** Areas of natural and secondary expansion of *Robinia* species on the map of plant resistance temperature zones (USDA zones): 1 – *R. pseudoacacia*, 2 – *R. viscosa*, 3 – *R. neomexicana* (charted by the authors based on the map of USDA zones of North America)

In severe forest conditions of arid regions, the drought resistance of plants is treated as a critical biocological characteristic. Most species of the genus *Robinia* are considered to be quite drought-resistant plants [4, 11]. Numerous researchers recommend them for creating forest reclamation complexes in arid regions across the countries and globally [5, 12].

Overlaying the natural expansion ranges of *Robinia* species on a map of average annual precipitation in North America clearly illustrates the differences in potential drought resistance. *Robinia pseudoacacia* and *R. viscosa* originate from humid subtropical forest and forest-steppe natural zones of the eastern part of the North American continent, while the natural expansion area of *R. neomexicana* is located in the western arid part of North America (Fig. 5).



**Fig. 5.** Areas of natural and secondary expansion of *Robinia* species on the map of average annual precipitation in North America: 1 – *R. pseudoacacia*, 2 – *R. viscosa*, 3 – *R. neomexicana* (charted by the authors based on the map of average annual precipitation in North America)

The area of expansion of North American species of the genus *Gleditsia* is characterized by a temperate and subtropical climate, covering the southern part of the continent – from the Columbia River in the west to the Great Lakes in the east. *G. aquatica* is common in southeastern North America, from Texas to Florida, north to Kentucky and North Carolina, found in Arkansas, Tennessee, southern Mississippi and Missouri, Illinois and Indiana, rarely in eastern Mississippi. The area of natural expansion of *G. triacanthos* is central North America from western New York and Pennsylvania to southern Minnesota and eastern Kansas, south to northeast Texas and northern Georgia. The smallest natural range is of the hybrid species *G. x texana* common in the lower part of the Brazos River, in close vicinity to the cities of Brazoria and Texas.

*G. aquatica* is ecologically confined to floodplains, swamps and lakes. The natural expansion area is located in regions with an average annual rainfall of



2000 to 3000 mm. The largest range of *G. triacanthos* is located in large areas with an average annual rainfall of 500 to 2000 mm. (Fig. 6).

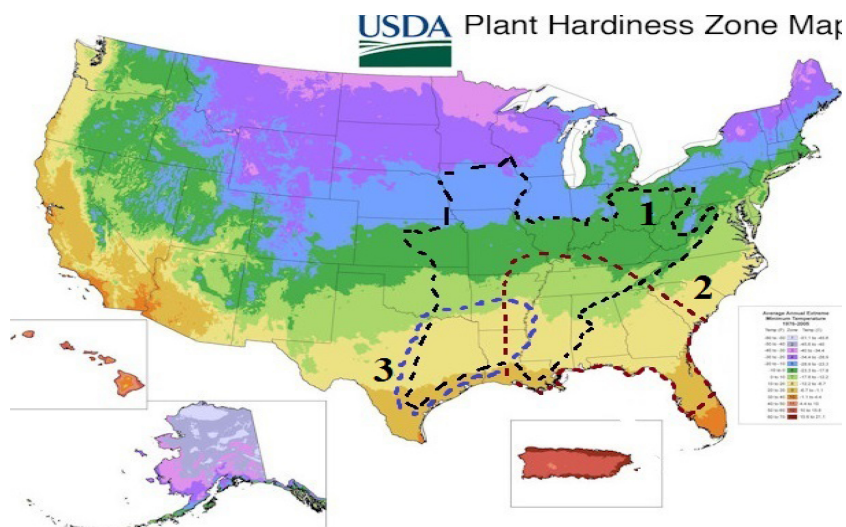


**Fig. 6.** Areas of natural expansion of the genus *Gleditsia* species on the contour map and the map of the average annual precipitation in North America: 1 – *G. triacanthos*, 2 – *G. aquatica*, 3 – *G. x texana* (charted by the authors on the basis of the contour map and the map of the average annual precipitation of the territory North America)

In areas of natural expansion of the genus *Gleditsia* species, the average monthly summer temperatures are 22-27 °C, winter temperatures range from 1 °C in the north to 15 °C in the south. Overlaying natural expansion areas on the cartogram of USDA frost resistance zones shows that *G. aquatica* (VIb - IXb zone with average minimum temperatures between -19° and -2.5°C) and *G. x texana* (VIIb - IXb zone between -14° and -2.5°C) are less frost-resistant. A more promising species of *G. triacanthos* is found in areas located in the Va - IXa zones with temperatures ranging from °to -5° (Fig. 7).

The agro-climatic resources of the Volgograd region differ dramatically from the ones typical for the areas of natural expansion of species in North America. Cluster analysis based on the calculation of Euclidean distances en-

ables us to group points according to the similarity of meteorological indicators of the US states, where the areas of natural expansion of the specified species are located, with meteorological indicators of various areas of the Volgograd region. The calculations take into account the average annual precipitation, the average annual temperature and the average temperature of the coldest month. The climate similarity dendrogram is shown below (Fig. 8).



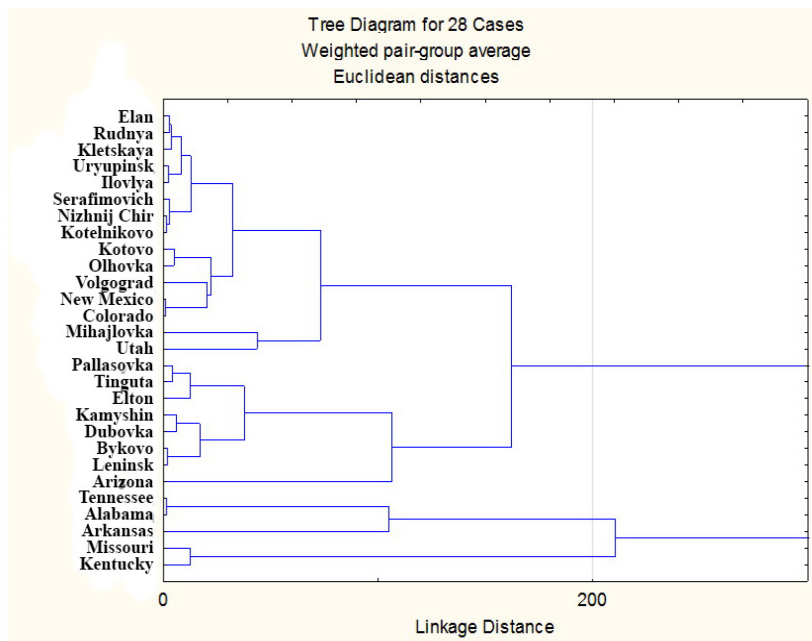
**Fig. 7.** Areas of natural expansion of *Gleditsia* species on the map of plant resistance temperature zones (USDA zones): 1 – *G. triacanthos*, 2 – *G. aquatica*, 3 – *G. texana* (charted by the authors based on the map of USDA zones of North America)

The states of Tennessee, Alabama, Arkansas, Missouri and Kentucky are noted for a large amount of precipitation, which results in marking them off into a separate cluster. The climate features of these states have nothing to do with any of the districts of the Volgograd region. The states of Colorado and New Mexico are the closest to the cities of Volgograd and Kotovo as well as the village of Olkhovka in terms of weather conditions.

These states also fall into a larger cluster with such urban areas as Yelan', Rudnya, Kletskaya, Uryupinsk and Ilovlya. The state of Arizona, as the most arid among the regions under consideration, can be compared with the semi-desert areas of the Volgograd region, where such settlements as Bykovo, the city of Leninsk, the city of Pallasovka, the village of Elton, the village of Tinguta are



found, and even with some settlements located on the border of the dry-steppe and semi-desert zones, i.e. the town of Dubovka and the city of Kamyshin. A separate small cluster is made up of the state of Utah and the city of Mikhailovka. In addition to the fact that their climate is quite similar in terms of precipitation (472 mm - Utah, 431 mm - the city of Mikhailovka), the state of Utah is one of the coldest states in question with an average annual temperature of 15, 7°C and an average January temperature of 3°C.



**Fig. 8.** Dendrogram of the climatic characteristics similarities in the areas of natural expansion of the genus *Robinia* species and the points of its introduction the Volgograd region based on Euclidean distances (compiled by the authors)

Thus, the presented analysis of the similarity of climatic indicators in natural areas and points of introduction has enabled us to identify the states of Colorado, New Mexico, Arizona and Utah as most similar to the Volgograd region in terms of their temperature and total precipitation patterns. These states form the natural expansion area of *New Mexican Robinia* which, according to the ecological and geographical characteristics, is expected to be characterized by maximum viability in the conditions of the Volgograd region.

## Conclusion

The study has shown that the major limiting factors affecting the expansion of cultigen ranges of the genus *Robinia* and *Gleditsia* species on the territory of the Volgograd region are low winter temperatures ( $-37^{\circ}\text{C}$ ) as well as poor moisture supply and uneven distribution of precipitation in the course of the growing season.

Comparative ecological and geographical analysis of the donor regions located in North America and the introduction points of the Volgograd region have enabled us to identify the most promising species of the generic complexes *Robinia* and *Gleditsia*.

Based on the comparative analysis of climatic characteristics, one can conclude that *R. neomexicana* has an obvious advantage over other species of the genus *Robinia*, the natural expansion area of which is located in the states of Utah, New Mexico, Arizona and Colorado. The meteorological conditions of these states have the maximum similarity to the ones of the Volgograd region both in terms of temperature and total precipitation.

In the *Gleditsia* family complex, *G. triacanthos* proved to be the most promising species with a large natural expansion area located in the humid and arid regions of the North American continent. This species has a high level of ecological plasticity and is able to grow in different agroforestry areas of the Volgograd region. The area of natural expansion of the less promising species *G. aquatica* is located in the southeastern part of the continent. This species grows in humid conditions: in floodplains, along the banks of swamps and lakes. The species of hybrid origin *G. × texana* occupies an intermediate position. The adaptive capabilities of this species are limited by the relatively small size of the natural range and, as a result, by low ecological plasticity.

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

**Funding.** The study was carried out according to the State Task № FNFE-2020-0004 (registration number 121041200195-4) of the Federal Research Center for Agroecology of the Russian Academy of Sciences.

## References

1. Baboshko O.I. Multifunctional role of robinium protective plantings in steppe landscapes. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 2011, no. 74, pp. 737-746.
2. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.S., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological

- Processes. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 2022, vol. 23, no. 3, pp. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
3. Brylev V.A., Geography and ecology of the Volgograd region. Volgograd. 2005, p. 259. <http://obruchalka.org/20191113115528/geografiya-i-ekologiya-volgo-gradskoi-oblasti-brilev-v-a-2005.html?ysclid=ljs7jas23c87856389> (accessed April 07, 2022).
  4. Chen J. P., Lan Z.P., Yang S.J. Water use efficiency and growth characteristics of young trees of *Robinia pseudoacacia* plantation forest under different irrigation methods in old course of Yellow river area. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, no. 35, pp. 2529-2536. <https://doi.org/10.5846/STXB201306101568>
  5. Cretinin V.M. Agroforestry soil science. Volgograd VNIALMI, 2009, 198 p. <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-the-efficiency-of-irrigation-methods-Jafari-Matinkhah/372d4848ef7391b37bcea2399ac3fca81aa35d26> (accessed April 04, 2022).
  6. Jafari Z., Matinkhah S.H., Mosaddeghi M.R. Evaluation of the efficiency of irrigation methods on the growth and survival of tree seedlings in an arid climate. *Journal of Arid Land*, 2020, no. 12, pp. 495-507. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0012-y>
  7. Jerzy Z., Grzegorz B., Władysław D. Pink-flowered locusts (*Robinia L.*, Fabaceae) established in Poland. *Yearbook of the Polish dendrological society*, 2015, no. 63, pp. 9-33. URL: [https://www.researchgate.net/publication/286924142\\_Rozowokwiatowe\\_robinie\\_Robinia\\_L\\_Fabaceae\\_dziczzejace\\_w\\_Polsce\\_Pink-flowered\\_locusts\\_Robinia\\_L\\_Fabaceae\\_established\\_in\\_Poland](https://www.researchgate.net/publication/286924142_Rozowokwiatowe_robinie_Robinia_L_Fabaceae_dziczzejace_w_Polsce_Pink-flowered_locusts_Robinia_L_Fabaceae_established_in_Poland) (accessed April 07, 2022)
  8. Lazarev S.E., Semenyutina A.V. Prospects of species and forms of the genus *Robinia L.* for forest protection and landscaping plantings. *Successes of modern natural science*, 2020, no. 8, pp. 11-17. <https://doi.org/10.17513/use.37451>
  9. Lazarev S.E. Adaptation mechanisms and life strategies of species of the genus *Robinia L.* in the conditions of introduction. *World ecology journal*, 2020, vol. 10, no. 1, pp. 48-67. <https://doi.org/10.25726/world.journal.pro/WEB.20.1.3>
  10. Lazarev S.E., Semenyutina A.V., Belyaev A.I. Implementation of the tree counting process in the process of urban reclamation with the use of fuzzy neural network for agro forestry. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2020, vol. 9, no. 4, pp. 6232-6237. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/302942020>
  11. Morozova E.V., Iozus A.P., Kryuchkov S.N. The main results of the breeding of robinia false acacia in the Lower Volga region. *Successes of modern natural science*, 2018, no. 12-2, pp. 290-295. <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37010&ysclid=ljsacc64xn313799382> (accessed April 07, 2022).

12. Nan G., Wang N., Jiao L. A new exploration for accurately quantifying the effect of afforestation on soil moisture: A case study of artificial *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau (China). *Forest Ecology and Management*, 2019, no. 433, pp. 459-466. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.10.029>
13. Semenyutina A.V., Klimov A.D. Analysis of bioresources of the *Robinia*, *Gleditsia* gene pool for forest reclamation complexes based on the study of adaptation to stress. *World ecology journal*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 33-45. <https://doi.org/10.25726/NM.2018.2.2.004>
14. Semenyutina A.V., Svintsov I. P., Khuzhakhmetova A. Sh. Mobilization of dendrological resources and ways of preserving their biodiversity in low-forest regions. Volgograd: Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 2021, 288 p.
15. Semenyutina A.V., Svintsov I. P., Khuzhakhmetova A. Sh. Regulations of safe and sustainable use of biodiversity of woody plants in protective afforestation. *Journal of Agriculture and Environment*, 2018, vol. 3(7), p. 3. <https://doi.org/10.23649/jae.2018.3.7.3>.
16. Semenyutina A.V., Melnik K.A., Semenyutina V.A. Assessment of Growth and Development of Representatives under the Conditions of Chestnut Soils. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 2022, vol. 23, no. 1, pp. 19-24. <https://doi.org/10.12912/27197050/143136>
17. Sitzia T., Cierjacks A., de Rigo D., Caudullo G. *Robinia pseudoacacia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of Forest Tree Species*, 2016, pp. 166-167. URL: [https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Robinia\\_pseudoacacia.pdf](https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Robinia_pseudoacacia.pdf) (accessed April 05, 2022).
18. The Plants Database. 2018. URL: <https://plants.sc.egov.usda.gov/java/nameSearch> (accessed April 07, 2022).
19. Weather and Climate. 2021. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34560.htm> (accessed April 07, 2022).
20. Yildiz O., Altundağ E., Çetin B. Experimental arid land afforestation in Central Anatolia, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, vol. 190, no. 6. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6724-1>

### Список литературы

1. Бабошко О.И. Многофункциональная роль робиниевых защитных насаждений в степных ландшафтах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 74. С. 737-746.

2. Belyaev A.I., Semenyutina A.V., Khuzhakhmetova A.S., Semenyutina V.A. Analysis of Bioresource Collections on Climatic Rhythms and Phenological Processes // Ecological Engineering and Environmental Technology. 2022. Vol. 23, No. 3. P. 87-94. <https://doi.org/10.12912/27197050/147152>
3. Брылев В.А. География и экология Волгоградской области. Волгоград, 2005. 259 с. URL: <https://obuchalka.org/20191113115528/geografiya-i-ekologiya-volgogradskoi-oblasti-brilev-v-a-2005.html?ysclid=ljs7jas23c87856389> (дата обращения: 07.07.2023).
4. Chen J.P., Lan Z.P., Yang S.J. Water use efficiency and growth characteristics of young trees of *Robinia pseudoacacia* plantation forest under different irrigation methods in old course of Yellow river area // Acta Ecologica Sinica. 2015. No. 35. P. 2529-2536. <https://doi.org/10.5846/STXB201306101568>
5. Кретьинин В.М. Агроресомелиорация почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2009. 198 с. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-the-efficiency-of-irrigation-methods-Jafari-Matinkhah/372d4848ef7391b37bcea2399ac3fca81aa35d26> (дата обращения: 07.07.2023).
6. Jafari Z., Matinkhah S.H., Mosaddeghi M.R. Evaluation of the efficiency of irrigation methods on the growth and survival of tree seedlings in an arid climate // Journal of Arid Land. 2020. No. 12. P. 495-507. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0012-y>
7. Jerzy Z., Grzegorz B., Władysław D. Pink-flowered locusts (*Robinia L.*, Fabaceae) established in Poland // Yearbook of the Polish dendrological society. 2015. No. 63. P. 9-33. URL: [https://www.researchgate.net/publication/286924142\\_Rozowokwiatowe\\_robinie\\_Robinia\\_L\\_Fabaceae\\_dziczzejace\\_w\\_Polsce\\_Pink-flowered\\_locusts\\_Robinia\\_L\\_Fabaceae\\_established\\_in\\_Poland](https://www.researchgate.net/publication/286924142_Rozowokwiatowe_robinie_Robinia_L_Fabaceae_dziczzejace_w_Polsce_Pink-flowered_locusts_Robinia_L_Fabaceae_established_in_Poland) (accessed April 07, 2022)
8. Лазарев С.Е., Семенютина А.В. Перспективность видов и форм рода *Robinia*. Для лесозащитных и озеленительных насаждений // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 11-17. <https://doi.org/10.17513/use.37451>
9. Лазарев С.Е. Механизмы адаптации и жизненные стратегии видов рода *Robinia L.* в условиях интродукции // World ecology journal. 2020. Т 10. № 1. С. 48-67. <https://doi.org/10.25726/worldjournals.pro/WEJ.2020.1.3>
10. Lazarev S.E., Semenyutina A.V., Belyaev A.I. Implementation of the tree counting process in the process of urban reclamation with the use of fuzzy neural network for agro forestry // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2020. Т. 9, No 4. P. 6232-6237. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/302942020>
11. Морозова, Е. В., Иозус А. П., Крючков С. Н. Основные итоги селекции робинии лжеакация в Нижнем Поволжье // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-2. С. 290-295. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37010&ysclid=ljsacc64xn313799382> (дата обращения: 07.07.2023).

12. Nan G., Wang N., Jiao L. A new exploration for accurately quantifying the effect of afforestation on soil moisture: A case study of artificial *Robinia pseudoacacia* in the Loess Plateau (China) // *Forest Ecology and Management*. 2019. No 433. P. 459-466. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.10.029>
13. Семенютина, А. В., Климов А. Д. Анализ биоресурсов генофонда *Robinia, Gleditsia* для лесомелиоративных комплексов на основе изучения адаптации к стрессу // *World ecology journal*. 2018. Т. 8, № 2. С. 33-45. <https://doi.org/10.25726/NM.2018.2.2.004>
14. Семенютина А. В., Свинцов И. П., Хужахметова А. Ш. Мобилизация дендрологических ресурсов и пути сохранения их биоразнообразия в малолесных регионах. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наукб 2021. 288 с.
15. Semenyutina A.V., Svintsov I. P., Khuzhakhmetova A. Sh. Regulations of safe and sustainable use of biodiversity of woody plants in protective afforestation // *Journal of Agriculture and Environment*. 2018. Vol. 3(7). P. 3. <https://doi.org/10.23649/jae.2018.3.7.3>
16. Semenyutina A.V., Melnik K.A., Semenyutina V.A. Assessment of Growth and Development of Representatives under the Conditions of Chestnut Soils // *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, №1. P. 19-24. <https://doi.org/10.12912/27197050/143136>
17. Sitzia T., Cierjacks A., de Rigo D., Caudullo G. *Robinia pseudoacacia* in Europe: distribution, habitat, usage and threats // *European Atlas of Forest Tree Species*. 2016. P. 166-167. URL: [https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Robinia\\_pseudoacacia.pdf](https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Robinia_pseudoacacia.pdf) (accessed April 05, 2022).
18. The Plants Database. 2018. URL: <https://plants.sc.egov.usda.gov/java/nameSearch> (accessed April 07, 2022).
19. Weather and Climate. 2021. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/history/34560.htm> (accessed April 07, 2022).
20. Yildiz O., Altundağ E., Çetin B. Experimental arid land afforestation in Central Anatolia, Turkey // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. Vol. 190, No. 6. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6724-1>

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**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

**Sergey E. Lazarev**, Candidate of Agricultural Sci., Senior 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  
hortus@yandex.ru  
SPIN-code: 3672-8064  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6473-6242>  
Researcher ID: AAE-5244-2021  
Scopus Author ID: 57218793972

**Kristina A. Melnik**, Junior 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  
melnik-k@vfanc.ru  
SPIN-code: 5073-8001  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7103-6436>  
Researcher ID: AAE-5262-2021  
Scopus Author ID: 57458285500

**Daria V. Sapronova**, Candidate of Agricultural Sci., Senior 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: 7877-6865

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3559-3745>

Scopus Author ID: 57458966000

### ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

**Хужахметова Алия Шамильевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкологии 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*

**Лазарев Сергей Евгеньевич**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэкологии 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  
hortus@yandex.ru*

**Мельник Кристина Андреевна**, младший научный сотрудник лаборатории биоэкологии 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  
melnik-k@vfanc.ru*

**Сапронова Дарья Владимировна**, кандидат с.-х. наук, старший 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  
sapronova.darya@mail.ru*

Поступила 13.07.2023

После рецензирования 21.08.2023

Принята 25.08.2023

Received 13.07.2023

Revised 21.08.2023

Accepted 25.08.2023



## ЗДРАВООХРАНЕНИЕ И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

### PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1065

УДК 61.616-02:616-022.7



Научная статья | Этиология

### РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ВНУТРИБОЛЬНИЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОПРОФИЛЬНОГО ДЕТСКОГО СТАЦИОНАРА

*И.Г. Алиева, М.Г. Алиев*

*Важным фактором, характеризующим уровень развития медицины в той или иной стране, является показатель распространенности и интенсивности внутрибольничных инфекций. В связи с этим были проведены исследования, целью которых было провести анализ распространенности и структуры внутрибольничных инфекций среди детей. Изучены возрастные характеристики, вид инфекции, а также клинические штаммы микроорганизмов, изолированных у 350 пациентов детского возраста с патологическими инфекционными процессами, развивающимися в органах и тканях респираторного – 200 (1-ая группа), и пищеварительного трактов – 150 больных (2-ая группа). Частота встречаемости выделенных бактериальных культур напрямую зависела от нозологической формы исследуемой инфекционной патологии. В первой и второй группах приоритетным возбудителем внутрибольничной инфекции является *Ps. aeruginosa*, который интенсивно высевался у 41,5% и 43,33% детей, соответственно. В целом симптомы поражения респираторной системы чаще имели место среди детей, включенных в исследование и соответствующих возрастным показателям выше 10 лет – 62,5%. В этой же возрастной группе наблюдался высокий уровень поражаемости органов и тканей желудочно-кишечного тракта, что определялось полученными статистическими данными – 58,0%.*

**Ключевые слова:** внутрибольничная инфекция; распространенность; факторы риска; возбудители

**Для цитирования.** Алиева И.Г., Алиев М.Г. Распространенность внутрибольничных инфекций в условиях многопрофильного детского стационара // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 266-275. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1065

Original article | Etiology

## PREVALENCE OF HOSPITAL INFECTIONS IN THE MULTIDISCIPLINARY CHILDREN'S HOSPITAL

*I.H. Alieva, M.H. Aliev*

*An important factor characterizing the level of development of medicine in a particular country is the prevalence and intensity of nosocomial infections. In this regard, studies were carried out, the purpose of which was to analyze the prevalence and structure of nosocomial infections among children. Age characteristics, type of infection, as well as clinical strains of microorganisms isolated from 350 pediatric patients with pathological infectious processes, developing organs and tissues of the respiratory tract - 200 (group 1), and digestive tract - 150 patients (group 2) were studied. The frequency of occurrence of isolated bacterial cultures directly depended on the nosological form of the studied infectious pathology. In the first and second groups, the priority causative agent of nosocomial infection is *Ps.aeruginosa*, which was intensively sown in 41.5% and 43.33% of children, respectively. In general, the symptoms of respiratory system damage occurred more often among children included in the study and corresponding to age indicators above 10 years - 62.5%. In the same age group, a high level of damage to organs and tissues of the gastrointestinal tract was observed, which was determined by the obtained statistical data - 58.0%.*

**Keywords:** nosocomial infection; prevalence; risk factors; pathogens

**For citation.** Alieva I.H., Aliev M.H. Prevalence of Hospital Infections in the Multidisciplinary Children's Hospital. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 266-275. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1065

Одним из важных факторов, характеризующих уровень развития медицины в той или иной стране, является показатель распространенности

и интенсивности инфекционных заболеваний, включающих и внутрибольничные инфекции [17, 18, 19]. Частота выявления инфицирования зависит от многих причин, способствующих его росту, среди которых особо отмечается немаловажная роль работы лечебно-профилактических учреждений, их типа, повышения резистентности патогенной микрофлоры к антибиотикам и дезинфицирующим средствам [4, 11, 14], определенных проблем и сложностей, которые возникают при проведении санационных мероприятий, характера соматической патологии [2, 3], а также, при этом, необходимо отметить определенное значение в этом вопросе наличие групп больных повышенного риска и частоты использования сложных оперативных вмешательств с высокой степенью инвазии [6, 7].

При большом объеме оказываемой медицинской, в том числе и хирургической, помощи, сопровождающейся значительными травмами мягких тканей, могут наблюдаться выраженные изменения и нарушения в иммунной системе [1], что, в свою очередь, может привести к интенсивному размножению микроорганизмов - возбудителей внутрибольничных инфекций, среди которых следует отметить представителей грамотрицательной микрофлоры, в частности *P.aeruginosa*, *Acinetobacter* spp., а также *Staphylococcus aureus* и *Enterobacteriaceae* [8, 12]. В частых случаях этиопатогенетическими агентами внутрибольничного инфицирования, например, у детей, являются бактерии, колонизирующих верхние дыхательные пути и желудочно-кишечный тракт [5, 15, 16, 9, 10, 13].

**Цель исследования** – анализ распространенности и структуры внутрибольничных инфекций среди детей.

Исходя из цели, следовало решать следующие задачи:

- провести идентификацию выделенных микроорганизмов от больных детей с различными патологиями;
- определить резистентность изолированных и идентифицированных микроорганизмов;
- установить структуру, частоту встречаемости и этиологические особенности внутрибольничных инфекций.

### **Материал и методы**

Проведено исследование, включающее анализ результатов микробиологического мониторинга изолятов, выделенных из биологических сред больных детского возраста, находящихся на лечении в многопрофильной Центральной Детской Больнице имени Азиза Алиева г. Нахичевани Азерб.

байджанской Республики за период 2016-2022 гг. с диагнозом заболевания респираторной и пищеварительной систем, возникшие более двух суток от момента госпитализации.

Протокол исследования распространенности внутрибольничных инфекций содержит регистрационные формы, куда вносится информация о каждом пациенте, включающая дату госпитализации, возрастно-половые характеристики, вид инфекции, проведенные ранее лечебные вмешательства, антимикробную терапию, и представляет с собой стандартное определение случая для всех нозологических форм внутрибольничных инфекций, характер которых определяли на основании клинических и микробиологических исследований. Изучены клинические штаммы микроорганизмов, изолированных у 350 пациентов детского возраста с патологическими инфекционными процессами, развивающимися в органах и тканях респираторного – 200 (1-ая группа), и пищеварительного трактов – 150 больных (2-ая группа). Забор биологического материала и посев его на специальные питательные среды, а также последующее выделение и идентификация бактериальных возбудителей проводились общепринятыми лабораторными методами. Выделение микроорганизмов, её идентификация и определение резистентности выполнялось в бактериологических лабораториях стационара. Указанные в регистрационных документах параметры вносятся в компьютерную базу данных, после чего осуществляется их статистическая обработка.

Для нормально распределенных показателей статистическая значимость различий средних значений определяли с использованием t-критерия Стьюдента для независимых выборок. Для сравнения качественных показателей использовали критерий Фишера и  $\chi^2$ -Пирсона. В случае ненормального распределения вариационного ряда для сравнения независимых групп использовался U критерий Манна – Уитни (Вилкоксона). Статистически значимыми считали различия при вероятности  $p < 0.05$ . Анализ проведен с помощью программ Statistica 10.0 и Excel 2007.

### **Результаты исследований**

Распределение по возрастным показателям частоты выявления этиологических форм внутрибольничных респираторной и кишечной инфекции было равномерным и почти аналогичным: дети грудного возраста до 1 года – 13,0% и 14,7%; раннего возраста в 2-4 года – 4,5% и 3,3%; дошкольного возраста 5-6 лет – 9,5% и 10,7%; младшего школьного возраста 7-10 лет – 10,5% и 13,3%; сравнительно старшего школьного возраста 11-13 лет – 62,5% и 58,0%, то есть в целом возрастная структура детей с инфицирован-

ной респираторной системой соответствовала такой же, как при кишечной инфекции, вне зависимости от их этиопатогенетического механизма их возникновения. При этом, у детей, относящихся к разным возрастным группам частота встречаемости исследуемых патологий имела свои особенности.

Менее поражаемым контингентом были дети в возрасте от 2-х до 6-ти лет, включительно, на долю их приходилось всего 13% и 14% от общего числа зарегистрированных случаев респираторной и кишечной инфекции, соответственно.

Таблица 1.

**Возрастной состав детей в сравниваемых группах**

Возраст детей	1-ая группа, n=200		2-ая группа, n=150		P
	Абс.	%	Абс.	%	
до 1 года	26	13,0	22	14,7	0,6538
2-4года	9	4,5	5	3,3	0,5815
5-6 лет	19	9,5	16	10,7	0,7188
7-10 лет	21	10,5	20	13,3	0,4147
11-13 лет	125	62,5	87	58,0	0,3939

Примечание: P – статистическая значимость различия показателей между группами

По частоте встречаемости больных с признаками поражения желудочно-кишечного тракта и респираторной системы и были сформированы две группы. В первую группу госпитализированных пациентов вошли в общей сложности 150 детей с поражением пищеварительной системы, во вторую группу были включены 200 больных детского возраста с поражением респираторного тракта. В целом симптомы поражения респираторной системы чаще имели место среди детей, включенных в исследование и соответствующих возрастным показателям выше 10 лет – 62,5%. В этой же возрастной группе наблюдался высокий уровень поражаемости органов и тканей желудочно-кишечного тракта, что определялось полученными статистическими данными – 58,0%.

По полученным нами результатам весьма актуальной оказалась проблема частого развития внутрибольничных инфекций среди пациентов самых младших возрастно-половых групп. Так, для детей в возрасте до 1-го года высока их доля в структуре острых кишечных и респираторных инфекций. При этом, сравнительно высока доля различных форм исследуемых патологических состояний среди обследуемых детей, достигших возраста 7-10 лет. Нельзя не отметить снижение уровня инфекционной заболеваемости органов дыхания и пищеварительной системы у школьников в возрасте 2-4 года. Таким образом, наибольшее число случаев вну-

трибольничных инфекций приходится на старший школьный возраст.

Изучение этиологической структуры (табл. 2) внутрибольничных инфекций выявило факт, который позволяет считать этиологической причиной возникновения осложнений у больных детского возраста после помещения в стационар не только сами госпитальные штаммы, но и представителей микробной флоры, обитающей в организме и нередко являющейся, на фоне резкого снижения защитных сил макроорганизма, причиной развития некоторых заболеваний. В посевах с одинаковой частотой и чаще всего высевались *Escherichia coli*, *Ps.aeruginosa* и *K.pneumoniae*. По результатам микробиологических исследований, обнаружен достаточно высокий удельный вес грибковой инфекции, ассоциированной с грибами рода *Candida*, что возможно по причине проведения пациентам с основной патологией длительной и интенсивной антибиотикотерапии.

При этом, выраженность и частота встречаемости выделенных бактериальных культур напрямую зависела от нозологической формы исследуемой инфекционной патологии. Согласно проанализированным данным, в первой и второй группе приоритетным возбудителем внутрибольничной инфекции является *Ps.aeruginosa*, который интенсивно высевался у 41,5% и 43,33% детей, соответственно. То есть, независимо от наличия или отсутствия признаков той или инфекции, а также их локализации, они в большинстве случаев в условиях стационара вызываются одними и теми же бактериальными агентами.

Таблица 2.

**Частота выделения и структура микроорганизмов – возбудителей внутрибольничных инфекций**

Микроорганизмы	1-ая группа, n=200		2-ая группа, n=150		P
	Абс.	%	Абс.	%	
<i>C. albicans</i>	5	2,5	5	3,33	0,6433
<i>Clostridium spp.</i>	2	1	-	-	0,2193
<i>Corynebacterium spp.</i>	3	1,5	-	-	0,1319
<i>E. faecalis</i>	7	3,5	10	6,67	0,1726
<i>E. coli</i>	29	14,5	21	14,00	0,8948
<i>K. pneumoniae</i>	47	23,5	32	21,33	0,6313
<i>Micrococcus spp.</i>	2	1	-	-	0,2193
<i>Ps. aeruginosa</i>	83	41,5	65	43,33	0,7312
<i>S. aureus</i>	17	8,5	11	7,33	0,6905
<i>S. epidermidis</i>	5	2,5	6	4,00	0,4261

Примечание: P – статистическая значимость различия показателей между группами

Как было указано ранее, кроме грамположительных и грамотрицательных бактерий, которые оценивались в качестве основных возбудителей, в микрофлоре присутствовали и микроорганизмы рода *Candida*, которые у пациентов детского возраста высевались чаще при наличии госпитальной кишечной инфекции - 3,33%, чем у пациентов аналогичного возраста, но с признаками вторичного инфицирования органов респираторного тракта – 2,5%, что позволяет говорить о том, что обнаруженные патологические нарушения представлены этиологической структурой, которая может меняться под влиянием проводимых с использованием антибактериальных препаратов лечебно-диагностических мероприятий.

У детей инфицирование верхних дыхательных путей наблюдалось в основном на второй день после госпитализации, а у больных с инфицированием слизистой оболочки пищеварительной системы - на второй или третий день от момента госпитализации (табл.3). Наименьшие показатели по срокам возникновения инфекционных осложнений фоновой патологии наблюдались в первой группе детей в возрасте до 1 года -  $2,11 \pm 0,098$  сутки, а во второй группе аналогичный показатель фиксировался у больных детей, возраст которых составлял 11-13 лет -  $2,05 \pm 0,064$  сутки ( $p > 0,05$ ). Максимальные значения по срокам возникновения госпитальной инфекции были выявлены в первой группе у детей в возрасте 2-4 года -  $2,33 \pm 0,220$  дня, во второй группе схожая картина наблюдалась в той же возрастной группе -  $2,60 \pm 0,289$  дня после госпитализации.

Таблица 3.

**Сроки присоединения внутрибольничной кишечной и респираторной инфекции**

Возраст	1-ая группа, n=200		2-ая группа, n=150			
	Инфицирование	койка/дни	Инфицирование	P	койка/дни	P
до 1 года	$2,15 \pm 0,110$	$5,27 \pm 0,200$	$2,36 \pm 0,136$	0,2380	$5,75 \pm 0,273$	0,1633
2-4 года	$2,33 \pm 0,220$	$5,22 \pm 0,472$	$2,60 \pm 0,289$	0,4853	$6,70 \pm 0,382$	0,0670
5-6 лет	$2,11 \pm 0,098$	$5,16 \pm 0,206$	$2,25 \pm 0,125$	0,3379	$5,25 \pm 0,514$	0,8091
7-10 лет	$2,25 \pm 0,097$	$4,33 \pm 0,185$	$2,35 \pm 0,109$	0,5028	$4,80 \pm 0,231$	0,1200
11-13 лет	$2,13 \pm 0,047$	$3,11 \pm 0,063$	$2,05 \pm 0,064$	0,2864	$3,43 \pm 0,113$	0,0163
Итого	$2,15 \pm 0,037$	$3,80 \pm 0,088$	$2,17 \pm 0,048$	0,7321	$4,25 \pm 0,123$	0,0032

Примечание: P – статистическая значимость различия показателей между группами

Таким образом, были выявлены структура, частота встречаемости, сроки и этиологические особенности внутрибольничных инфекций ды-

хательных путей и желудочно-кишечного тракта у пациентов, позволяющие определять степень патогенности отдельных микроорганизмов у различных возрастных групп инфицированных детей, для оптимизации систематического целенаправленного надзора за данным контингентом больных и совершенствования профилактических мероприятий.

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

**Информация о спонсорстве.** Работа проводилась без финансовой поддержки.

### *Список литературы / References*

1. Barea-Mendoza J., Chico-Fernandez M., Molina-Diaz I. et al. Risk Factors Associated With Early and Late Posttraumatic Multiorgan Failure: An Analysis From RETRAUCI. *Shock*, 2021, vol. 55(3), pp. 326-331. <https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000001628>
2. Deng S., Feng S., Wang W. et al. Bacterial distribution and risk factors of nosocomial blood stream infection in neurologic patients in the intensive care unit. *Surg Infect.*, 2019, vol. 20(1), pp. 25-30. <https://doi.org/10.1089/sur.2018.085>
3. Huang H., Niu Z., Liu G. et al. Early consciousness disorder in acute large hemispheric infarction: an analysis based on quantitative EEG and brain network characteristics. *Neurocrit Care*. 2020, vol. 33(2), pp. 376-388. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-01051-w>
4. Inchai J., Liwsrisakun C., Theerakittikul T. et al. Risk factors of multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant *Acinetobacter baumannii* ventilator-associated pneumonia in a medical intensive care unit of university hospital in Thailand. *J. Infect. Chemother.*, 2015, vol. 21(8), pp. 570-574. <https://doi.org/10.1016/j.jiac.2015.04.010>
5. Douirek F., Ziadi A., Samkaoui M., Samkaoui N. Epidemiology and Profile of Pathogens in an Intensive Care Unit of University Hospital Center in Marrakesh, Morocco. *Open Journal of Epidemiology*, 2022, vol. 12(3), pp. 380-386. <https://doi.org/10.4236/ojepi.2022.123031>
6. Jiao P., Jiang Y., Jiao J., Zhang L. The pathogenic characteristics and influencing factors of health care-associated infection in elderly care center under the mode of integration of medical care and elderly care service: a cross-sectional study. *Medicine*, 2021, vol. 100(21), e26158. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000026158>
7. Lai Y., Lyu Y., Liu M., Mao W. Risk factors for allogeneic blood transfusion-related nosocomial infection. *Chin J. Nosocomiol.*, 2021, vol. 31(18), pp.



- 2788-2792. <https://oversea.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&filename=ZHYY202118016&dbname=CJFDAUTO>
8. Lee N., Lee H., Ko N. et al. Clinical and economic impact of multidrug resistance in nosocomial *Acinetobacter baumannii* bacteremia. *Infect. Control. Hosp. Epidemiol.*, 2015, vol. 28(6), pp. 713-719. <https://doi.org/10.1086/517954>
  9. Mahmoud Mohammed G., Shoriet A., Abdel-Aziz S. Incidence and risk factors of health-care-associated infection in the neonatal intensive care unit of Assiut University Children's Hospital. *J. Curr. Med. Res. Pract.*, 2021, vol. 6(1), pp. 48-53. [https://doi.org/10.4103/JCMRP.JCMRP\\_172\\_19](https://doi.org/10.4103/JCMRP.JCMRP_172_19)
  10. Murni I., Duke T., Kinney S. et al. Risk factors for healthcare-associated infection among children in a low-and middle-income country. *BMC Infect Dis*, 2022, 406. <https://doi.org/10.1186/s12879-022-07387-2>
  11. Pada S., Ding Y., Ling M., et al. Economic and clinical impact of nosocomial methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in Singapore: a matched case-control study. *J. Hosp. Infect.*, 2011, vol. 78(1), pp. 36-40. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.10.016>
  12. Rafa E., Walaszek M., Walaszek M. et al. The incidence of healthcare-associated infections, their clinical forms, and microbiological agents in intensive care units in Southern Poland in a multicentre study from 2016 to 2019. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18(5), 2238. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052238>
  13. Rohini Kalagouda P. et al. Hospital acquired infections in a private paediatric hospital in Kenya: a retrospective cross-sectional study. *Pan African Medical Journal*, 2022, vol. 41, 28. <https://doi.org/10.11604/pamj.2022.41.28.25820>
  14. System CARS. 2020 national antimicrobial resistance surveillance report. *Chin J. Lab. Med.*, 2022, vol. 45(2), pp. 122-136.
  15. Sahiledengle B., Seyoum F., Abebe D. et al. Incidence and risk factors for hospital-acquired infection among paediatric patients in a teaching hospital: a prospective study in southeast Ethiopia. *BMJ Open*, 2020, vol. 10(12), e037997. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-037997>
  16. Szabó S., Feier B., Capatina D. et al. An Overview of Healthcare Associated Infections and Their Detection Methods Caused by Pathogen Bacteria in Romania and Europe. *Journal of Clinical Medicine*, 2022, vol. 11(11), 3204. <https://doi.org/10.3390/jcm11113204>
  17. Wang L., Zhou, K., Chen, W. et al. Epidemiology and risk factors for nosocomial infection in the respiratory intensive care unit of a teaching hospital in China: A prospective surveillance during 2013 and 2015. *BMC Infect Dis.*, 2019, vol. 19, 145. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3772-2>

18. WHO. Health care without avoidable infections: the critical role of infection prevention and control. 2016. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HIS-SDS-2016.10> (accessed January 12, 2023).
19. Zhao J., Qin B., Yan R. et al. Status and trend of the main healthcare-associated infection indicators in tertiary public hospitals in China (2018-2020). *Chin J. Infect. Control.*, 2022, vol. 21(06), pp. 524-531.

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Алиева Илкай Гусейновна**, докторант Университета Одлар Юрду  
*Нахичеванский государственный университет; Центральная Дет-  
ская больница имени Азиза Алиева  
г. Нахичевань, Азербайджан  
aliyeva.ilkay@inbox.ru*

**Алиев Мехман Габйбович**, доктор медицинских наук, профессор  
*Азербайджанский медицинский университет; Центральная Дет-  
ская больница имени Азиза Алиева  
г. Нахичевань, Азербайджан  
mehman\_aliyev\_1970@mail.ru*

### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Ilkay H. Aliyeva**, Doctoral Student at Odlar Yurdu University  
*Nakhchivan State University; Central Children's Hospital named after  
Aziz Aliyev  
Nakhchivan, Azerbaijan  
aliyeva.ilkay@inbox.ru*

**Mehman H. Aliev**, Doctor of Medical Sciences, Professor  
*Azerbaijan Medical University; Central Children's Hospital named after  
Aziz Aliyev  
Nakhchivan, Azerbaijan  
mehman\_aliyev\_1970@mail.ru*

Поступила 30.04.2023

После рецензирования 21.06.2023

Принята 11.08.2023

Received 30.04.2023

Revised 21.06.2023

Accepted 11.08.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-686

УДК 616.21



Научная статья | Оториноларингология

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАЛИЧИЯ ХЛАМИДИЙНОЙ ИНФЕКЦИИ ПРИ ПЕРСИСТИРУЮЩЕМ КРУГЛОГОДИЧНОМ АЛЛЕРГИЧЕСКОМ РИНИТЕ

*Е.Г. Портенко, Г.Б. Бурдо, В.С. Кузнецова, Н.А. Вашиневская*

**Обоснование.** Учитывая ряд особенностей при диагностике круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией, актуальным является повышение эффективности его выявления.

**Цель.** Создание методики прогнозирования наличия хламидийной инфекции при круглогодичном аллергическом рините, пригодной для последующей реализации в виде базы данных экспертной системы поддержки принятия решений.

**Методы.** На основе литературного анализа результатов исследований, результатов ведения пациентов с подтвержденным круглогодичным аллергическим ринитом, у которых по результатам базисного лечения нестойкая ремиссия, были установлены симптомы данного заболевания и сформулирована методика прогнозирования его наличия. Все симптоматические данные были разбиты на четыре группы признаков с определенным числом показателей в каждой. Всего предложено 23 показателя, часть из которых является обязательными для подтверждения инфекции, а часть имеет альтернативный характер. Методика прогнозирования основана на анализе соотношения обязательных и альтернативных признаков и была представлена в виде четких правил, пригодных для реализации в вычислительной среде МАТЛАБ. Использование данных, связанных с пациентами, осуществлялось согласно Хельсинской Декларации Всемирной Медицинской Ассоциации, регламентирующей проведение научных исследований.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На основании выполненного комплекса исследований была предложена методика прогнозирования наличия данной патологии. Особенностью методики является постепенное повышение надежности прогноза, что исключает избыточность обследований.

Учитывая возможности современных информационных технологий, была решена задача создания базы знаний для экспертных систем для диагностики круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией.

**Практическая значимость** результатов работы состоит в повышении надежности диагностирования круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией.

**Выводы.** Было установлено, что выявленные 23 показателя диагностики обеспечивают получение достаточно достоверного прогноза наличия хламидийной инфекции и, как следствие, повышение качества диагностики круглогодичного аллергического ринита.

**Ключевые слова:** круглогодичный аллергический ринит; хламидийная инфекция; диагностика; медицинские экспертные системы; дистанционная диагностика заболевания

**Для цитирования.** Портенко Е.Г., Бурдо Г.Б., Кузнецова В.С., Вашневская Н.А. Прогнозирование наличия хламидийной инфекции при персистирующем круглогодичном аллергическом рините // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 276-296. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-686

Original article | Otorhinolaryngology

## PREDICTION OF THE PRESENCE OF CHLAMYDIA INFECTION IN PERSISTENT YEAR-ROUND ALLERGIC RHINITIS

*E.G. Portenko, G.B. Burdo, V.S. Kuznetsova, N.A. Vashnevskaya*

**Background.** Taking into account a number of features in the diagnosis of year-round allergic rhinitis caused by chlamydial infection, it is important to increase the efficiency of its detection.

**Purpose.** Creation of a methodology for predicting the presence of chlamydial infection in perennial allergic rhinitis, suitable for subsequent implementation in the form of a database of an expert decision support system.

**Methods.** Based on the literature analysis of the research results, the results of managing patients with confirmed year-round allergic rhinitis, who, according to the results of basic treatment, have an unstable remission, the symptoms of this disease were established and a method for predicting its presence was formulated. All symptomatic data were divided into four groups of signs with a certain number of indicators in each. A total of 23 indicators have been proposed, some of which

are mandatory for confirming infection, and some are alternative. The forecasting technique is based on the analysis of the ratio of mandatory and alternative features and was presented in the form of clear rules suitable for implementation in the MATLAB computing environment. The use of data related to patients was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association, which regulates the conduct of scientific research.

**Research results and discussion.** Based on the complex of studies performed, a method for predicting the presence of this pathology was proposed. A feature of the technique is a gradual increase in the reliability of the forecast, which eliminates the redundancy of surveys. Taking into account the possibilities of modern information technologies, the problem of creating a knowledge base for expert systems for the diagnosis of year-round allergic rhinitis caused by chlamydial infection was solved.

**The practical significance** of the results of the work is to increase the reliability of diagnosing year-round allergic rhinitis caused by chlamydial infection.

**Conclusion.** It was found that the identified 23 diagnostic indicators provide a fairly reliable prediction of the presence of chlamydial infection and, as a result, improve the quality of diagnosis of year-round allergic rhinitis.

**Keywords:** perennial allergic rhinitis; chlamydial infection; diagnostics; medical expert systems; remote diagnosis of the disease

**For citation.** Portenko E.G., Burdo G.B., Kuznetsova V.S., Vashnevskaya N.A. Prediction of the Presence of Chlamydia Infection in Persistent Year-Round Allergic Rhinitis. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 276-296. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-686

## Введение

В настоящее время аллергический ринит (АР), представляющий собой IgE – опосредованное воспалительное заболевание слизистой полости носа [18], является серьезной проблемой в области лечения ЛОР - заболеваний [15].

По статистическим данным, приведенным Всемирной аллергологической организацией (BAO), более 400 млн. человек в мире страдает АР [17]. На территории Российской Федерации распространенность данной аллергической патологии в среднем составляет 16,5%. Поэтому, в настоящее время пристальное внимание врачей-клиницистов обращено на изучение проблемы круглогодичного аллергического ринита (КАР). Опираясь на современные исследования, можно сделать вывод о том, что значительное количество случаев АР у пациентов средней полосы Российской Фе-

дерации отмечается при сенсбилизации аллергенами клещей домашней пыли, эпидермальными аллергенами кошек и собак, аллергенами насекомых и плесневых грибов родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicillium* и *Aspergillus* [1, 14, 16].

Стоит отметить, что проявления КАР менее выражены, чем при сезонном АР, но присутствуют в течение всего календарного года, снижая качество жизни пациентов и их способность к трудовой деятельности [1,6,16]. Для современного течения КАР характерна недлительная ремиссия, частые рецидивы заболевания, а также устойчивость к противоаллергическому лечению, утвержденному современными клиническими рекомендациями [3]. Следовательно, необходима более углубленная диагностика данной патологии, направленная на выявление иных факторов, не позволяющих достичь стойкой положительной динамики.

В связи с тенденцией к увеличению роли хламидийной (*chlamydia pneumoniae*) инфекции в развитии и хронизации заболеваний верхних дыхательных путей [8] мы установили, что длительно персистирующая в организме в связи с особенностями форм существования, хламидийная инфекция может оказывать значительное влияние на течение КАР у пациентов с короткой ремиссией и частыми рецидивами заболевания.

Известные литературные данные в основном отражают частоту выявления указанной инфекции при различных ЛОР-патологиях, которая составляет от 22% до 74,4% [8]. По мнению авторов [11], широкий диапазон показателей распространенности данной респираторной внутриклеточной инфекции объясняется отсутствием единого утвержденного метода забора клинического материала и использованием различных методов диагностики хламидийной инфекции. Рядом авторов отмечено, что для ринитов и риносинуситов в сочетании с респираторным хламидиозом характерна более яркая клиническая картина, по сравнению с таковой без ассоциации с внутриклеточной респираторной инфекцией. Доказано, что гипертрофический ринит с ассоциированной хламидийной респираторной инфекцией в 83,3% приобретает непрерывно-рецидивирующее течение [10]. Кроме того, как отмечается в [5], у пациентов с респираторным хламидиозом чаще наблюдаются обострения хронического гайморита по сравнению с теми, у кого данная инфекция не обнаружена (67,9% против 4,3%).

Поэтому, учитывая актуальность вопроса и специфичность выявления наличия хламидийной инфекции при заболеваниях верхних дыхательных путей, целью работы явилось совершенствование методики прогнозирования наличия данной инфекции при круглогодичном аллергическом рините.

Исходя из понимания того факта, что диагностика может вызвать затруднения у практикующих врачей, в работе показаны результаты решения следующих научных задач:

- разработка методики, позволяющей предположить наличие хламидийной инфекции при КАР;
- разработка базы знаний для экспертной системы поддержки принятия решений при диагностике хламидийной инфекции при КАР.

### **1. Методика диагностики предположительно хламидийной инфекции**

Процедура выполнения диагностики состоит из нескольких этапов.

#### **1.1. Выявление клинически значимых признаков для диагностики**

Клинически значимые признаки выявлялись на основании обследования пациентов с ранее подтвержденным КАР, у которых по результатам базисного лечения заболевания согласно клиническим рекомендациям, отмечалось нестойкие ремиссии (возвращение симптоматики через 3-4 недели после завершения курса лечения).

*На первом этапе* все клинически значимые для диагностики признаки были разбиты на 4 группы:

1. Жалобы и изучение истории болезни пациента;
2. Инструментальные обследования пациента;
3. Лабораторные обследования пациента;
4. Осмотр пациента.

Третья группа была разбита на 3 подгруппы, четвертая - на две.

*Первая группа признаков* формируется на основании жалоб и изучения истории болезни пациента: 1) заложенность носа; 2) вязкое слизистое отделяемое, не зависящее от времени суток; 3) есть установленный диагноз персистирующего (круглогодичного) аллергического ринита; 4) получал базовую противоаллергическую терапию; 5) ремиссия длительностью до 3 недель. На основании обследования 95 пациентов, у которых позднее была подтверждена хламидийная инфекция, было установлено, что у 90 из них имеются признаки 2-5, т.е. у 94,7% (95% ДИ 88,2-99,7), а у 61 из них - признак 1, т.е. у 64,2% (95% ДИ 54,1-73,1); здесь и далее статистическая обработка ведется по методу Уилсона (Wilson) [19]. Поэтому установлено, что наличие показателей 2-5 является обязательным для предположения хламидийной инфекции. Для удобства реализации этой информации в моделях определим их как множество параметры  $A_i$ .

Виды показателей и соответствующие им значения параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1.

**Жалобы и история болезни пациента**

	Показатели	(да +/- нет -)	Значение $A_i$	Примечание
1.	Заложенность носа	+/-	$A_1 = 1$ или 0	Альтернативное условие
2.	Вязкое слизистое отделяемое, не зависящее от времени суток	+	$A_2 = 1$	Обязательное условие
3.	Есть установленный диагноз персистирующего (круглогодичного) аллергического ринита	+	$A_3 = 1$	Обязательное условие
4.	Получал базовую противоаллергическую терапию	+	$A_4 = 1$	Обязательное условие
5.	Ремиссия длительностью до 3 недель	+	$A_5 = 1$	Обязательное условие

**Вторая группа признаков** формируется по данным инструментально-го обследования пациента (рекомендуется КТ придаточных пазух носа) – множество параметров  $B_i$ . Установлено, что отсутствие показателей 1-6 является обязательным для предположения хламидийной инфекции. У группы из 95 человека, у которых позднее была подтверждена хламидийная инфекция, данные признаки отсутствовали.

Таблица 2.

**Данные инструментального обследования**

	Показатели	(да +/- нет -)	Значение $B_i$	Примечание
1.	Утолщенная слизистая	-	$B_1 = 1$	Обязательное условие
2.	Кисты верхнечелюстных пазух	-	$B_2 = 1$	Обязательное условие
3.	Грибковые тела	-	$B_3 = 1$	Обязательное условие
4.	Полипозная ткань	-	$B_4 = 1$	Обязательное условие
5.	Пломбирочный материал	-	$B_5 = 1$	Обязательное условие
6.	Искривленная носовая перегородка	-	$B_6 = 1$	Обязательное условие



**Третья группа признаков** формируется по данным лабораторных обследований пациента и представлена тремя подгруппами, приведенными ниже.

1. Бактериологический посев мазка из носа (параметры  $C_i$ ).
2. Посев на грибы (параметры =  $D_i$ ).
3. ПЦР соскоб из носоглотки (параметры  $E_i$ ).

Из группы в 95 обследуемых, у которых позднее была подтверждена хламидийная инфекция, у 91 отклонения от нормы по показателям 2-4 не наблюдалось, а показатель 5 был положительным т.е. у 95,7% (95% ДИ 89,6-98,3).

Поэтому, отсутствие отклонения микрофлоры от нормы, отсутствие отклонений от нормы при посеве на грибы и в ПЦР соскобе из носоглотки на Вирус Эпштейна - Барра, вирус герпеса человека 6 и цитомегаловирус, и положительный анализ в соскобе на хламидийную инфекцию, являются обязательными условиями для предположения хламидийной инфекции (табл. 3).

Таблица 3.

Данные лабораторных обследований

	ПОКАЗАТЕЛИ	(да +/ нет -)	Значение	Примечание
1	Есть отклонения микрофлоры от нормы при бактериологическом посеве мазка из носа	-	$C_1 = 1$	Обязательное условие
2.	Есть отклонения от нормы при посеве на грибы	-	$D_1 = 1$	Обязательное условие
3	Вирус Эпштейна - Барра в ПЦР соскобе из носоглотки	-	$E_1 = 1$	Обязательное условие
4	Цитомегаловирус и вирус герпеса человека 6 типа в ПЦР соскобе из носоглотки	-	$E_2 = 1$	Обязательное условие
5	Хламидийная инфекция ( <i>Chlamydia pneumoniae</i> ) в ПЦР соскобе из носоглотки	+	$E_3 = 1$	Обязательное условие

**Четвертая группа признаков** формируется по обследованию больного врачом и подразделяется на 2 подгруппы:

1. Осмотр носа (параметры  $G_i$ ), таблица 4.
2. Осмотр глотки (параметры  $F_i$ ), таблица 5.

При анализе показателей в соответствии с таблицей 4 у 95 обследуемых, у 17 из них было установлено полное отсутствие их, т.е. у 17,9% (95% ДИ 11,5 - 26,8); у 58 - наличие всех 4 показателей, т.е. у 61,1% (95%

ДИ 51-70,2), а у остальных их наблюдалось от 1 до 3, т.е. у 21,1% (95% ДИ 14,1-30,2). Следовательно, показатели 1-4 могут иметь альтернативные значения для предположения хламидийной инфекции (табл. 4).

Таблица 4.

## Показатели осмотра носа

	ПОКАЗАТЕЛИ	(признак сильно выражен +/-нет -)	Значение $G_i$	Примечание
1.	В полости носа обильное слизистое отделяемое	+/-	$G_1 = 1$ или 0	Альтернативное условие
2.	Гипертрофия нижних носовых раковин	+/-	$G_2 = 1$ или 0	Альтернативное условие
3.	Гипертрофия задних концов средних носовых раковин	+/-	$G_3 = 1$ или 0	Альтернативное условие
4.	Слизистая оболочка полости носа бледно-розового или цианотичного цвета	+/-	$G_4 = 1$ или 0	Альтернативное условие

При анализе показателей в соответствии с таблицей 5 у 95 обследуемого, у 90 из них было установлено наличие показателей 2 и 3, т.е. у 94,7% (95% ДИ 88,2-99,7), а у 56 – наличие показателя 1, т.е. у 58,9 % (95% ДИ 48,9-68,3), Следовательно, показатель 1 может иметь альтернативные значения, а показатели 2 и 3 должны обязательно присутствовать для предположения хламидийной инфекции (табл. 5).

Таблица 5.

## Показатели осмотра глотки

	ПОКАЗАТЕЛИ	(признак сильно выражен +/-нет -)	Значение $F_i$	Примечание
1.	Большое количество гранул на задней стенке глотки	+/-	$F_1 = 1$ или 0	Альтернативное условие
2.	Выраженная инъекция сосудов слизистой оболочки задней стенки глотки	+	$F_2 = 1$	Обязательное условие
3.	Гипертрофия боковых валиков глотки	+	$F_3 = 1$	Обязательное условие

В каждой группе и подгруппе признаков каждому из них были присвоены соответствующие значения, что также показано в таблицах. Учитывая,

что все показатели носят вероятностный характер, а ПЦР диагностика на *Chlamydia pneumoniae* в соскобе из носоглотки (выполнен ранее, см. табл. 3) свидетельствует только о наличии ДНК *Chlamydia pneumoniae* в слизистой, но не о протекании указанного заболевания у пациента, с целью увеличения вероятности установления правильного диагноза были предложены следующие обследования дополнительно к данным в соответствии с табл. 1 - 5:

1) на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции (учитывая, что мы говорим о пациентах с ранее подтвержденным КАР, у которых по результатам базисного лечения заболевания согласно клиническим рекомендациям, отмечались нестойкие ремиссии (возвращение симптоматики через 3-4 недели после завершения курса лечения), что также может свидетельствовать о том, что человек подвергался данной инфекции (далее - анализ 1);

2) на avidность антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции, что служит подтверждением перенесенной ранее инфекции (далее - анализ 2);

3) на проверку уровня интерликина 6 в сыворотке крови, что может явиться показателем острых воспалительных процессов в тканях (далее - анализ 3).

При этом, в зависимости от числа выполненных альтернативных условий может быть назначено 1, 2 или 3 обследования.

Здесь мы исходим из того факта, что неверный диагноз в случае применения нескольких не абсолютно надежных показателей, будет иметь малую вероятность. К примеру, если мы имеем 4 показателя, имеющих вероятность подтверждения 70% каждый, то вероятность противоположного диагноза будет равна  $(1 - 0,7)^4 = 0,0081$ , т.е. 0,81%.

### **1.2. Методика диагностики**

*На втором этапе* были разработана методика диагностики, состоящая в следующем.

1. В том случае, когда выполняются все обязательные показатели (условия) и более четырех альтернативных показателей (условий) условий из шести, то назначается анализ 1. Если анализ положительный, то диагноз считается подтвержденным. В противном случае назначается повторная консультация врача – лора для определения смежного врача.

2. В том случае, когда выполняются все обязательные условия и 3 или 4 альтернативных условий из шести, то назначается анализы 1 и 2.

Если анализ 1 положительный и avidность антител в анализе 2 высокая, то диагноз считается подтвержденным, в противном случае потребуется повторная консультация врача – лора для определения смежного врача.

3. В том случае, когда выполняются все обязательные показатели (условия) и 2 и менее альтернативных показателей (условий) условий из шести, то назначаются анализы 1, 2 и 3.

При положительном анализе 1, достаточной avidности в анализе 2 и высоком уровне интерликина 6 в анализе 3 диагноз считается подтвержденный. В противном случае целесообразна повторная консультация врача – лора для определения смежного врача. По результатам обследования группы из 98 пациентов из оговоренных ранее, у 95 из них был установлен положительный диагноз в соответствии с предлагаемой методикой, т.е. у 96,9% (95% ДИ 91,3-98,9). При этом для 63 человек, т.е. для 66,3% (95% ДИ 56,3-75,1) потребовался 1 дополнительный анализ, для 18 пациентов, т.е. для 18,9% (95% ДИ 12,3-27,9) - 2, а для 14 пациентов, т.е. для 14,7% (95% ДИ 8,9-23,2) - 3. При последующем лечении 95 больных в соответствии с установленным диагнозом, у 92 из них, т.е. у 96,8% (95% ДИ 91,1-98,9) наблюдалась стойкая ремиссия не менее 1 года.

## 2. Алгоритмы и модели экспертной системы для диагностики хламидиоза отдельным врачом

Следует отметить, что для разработки базы знаний для экспертной системы, в качестве экспертов привлекались 6 специалистов – лор-врачей высшей категории, из них д.т.н., проф. -1, к.т.н., доц. -2.

Модули и алгоритмы диагностики были созданы на основе экспертной интеллектуальной базы знаний, сформированной на производственных моделях [2,9,12,13]. Выбор класса базы знаний в виде производственных моделей вызван понятностью моделей, наличия программных средств для их реализации, удобством корректировки моделей, их схожестью с процедурой человеческого мышления. База знаний для диагностики на хламидиоз на основании показателей групп  $A_i - G_i$  представлена 12 продукциями, некоторые из них приведены ниже (записаны в принятом виде).

1. **ЕСЛИ** значения  $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = B_5 = B_6 = C_1 = D_1 = E_1 = E_2 = E_3 = 1$  и сумма значений  $(A_1 + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + F_1) > 4$  **ТО** степень уверенности в наличии хламидийной инфекции высокая ....

3. **ЕСЛИ** значения  $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = B_5 = B_6 = C_1 = D_1 = E_1 = E_2 = E_3 = 1$  и сумма значений  $(A_1 + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + F_1) \leq 2$  **ТО** степень уверенности в наличии хламидийной инфекции низкая ....

12. **ЕСЛИ** выполняется производственное правило 10 **И** анализ на антигена в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции отрицательный **ИЛИ** avidность антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции недостаточная **ИЛИ** уровень ин-

терликина 6 в сыворотке крови не высокий **ТО** назначается повторная консультация врача – лора для определения смежного врача.

Данная база знаний хорошо реализуется в среде МАТЛАБ [4]. Таким образом, можно отметить, что на основании обследования больного и лабораторных показателей делается заключение врачом о наличии либо отсутствии инфекции, либо предлагаются дополнительные обследования смежными специалистами. Комплекс обследований назначается последовательно на основании имеющихся промежуточных результатов, что исключает их избыточный объем.

### **3. Модели и метод работы с экспертной системой дистанционной коллективной диагностики хламидиоза**

#### **3.1. Модели дистанционной диагностики**

В медицинской практике могут быть случаи, когда врач в силу ряда причин (непрофильный больной, сомнения в достаточности обследования, неявная симптоматика и т.д.) сомневается в диагнозе. Для этих случаев предлагается модель, обеспечивающая объединение естественных интеллектов коллектива врачей и экспертных интеллектуальных систем. Модель дистанционной диагностики основана на теории нечетких множеств с использованием продукционных баз знаний [4,13], и может быть использована, как аппарат интеллектуальной поддержки принятия решений. Помимо ведущего врача предлагается привлечение еще двух врачей (принципиально не представляет труда увеличить число врачей, как и придание им различных весов значимости в модели). В этом случае осмотр, лабораторные и инструментальные исследования выполняет и назначает ведущий (далее в продукциях – первый) врач. Остальные врачи – эксперты принимают участие в обсуждении результатов. Поэтому, форма записи подусловий и вывода в продукционной базе знаний имеет вид:

**ЕСЛИ** степень уверенности первого врача  $A_1$  **И** степень уверенности второго врача  $A_2$  **И** степень уверенности третьего врача  $A_3$  **ТО** вероятность положительного диагноза равна  $B_j$ . В данном выражении  $A_i$  и  $B_j$  являются лингвистическими переменными. Экспертами для лингвистической переменной  $A_i$  предложено три терма: низкая степень уверенности в диагнозе, средняя уверенности в диагнозе и высокая уверенности в диагнозе. График функции принадлежности  $\mu(A_i)$  показан на рисунке 1. Для лингвистической переменной  $B_j$  предложено 5 термов (применительно к оценке вероятности положительного диагноза): весьма низкая, низкая, сомнительная, высокая, весьма высокая. График функции принадлежности  $\mu(B_j)$  показан на рисунке 2.

Продукционная база знаний, сформированная с участием врачей -экспертов, состоит из 27 правил. Некоторые из них (записаны в принятом виде):

1. ЕСЛИ степень уверенности первого врача *высокая* И степень уверенности второго врача *высокая* И степень уверенности третьего врача *высокая* ТО вероятность положительного диагноза *весьма высокая*.....

5. ЕСЛИ степень уверенности первого врача *высокая* И степень уверенности второго врача *средняя* И степень уверенности третьего врача *средняя* ТО вероятность положительного диагноза *сомнительная*.....

27. ЕСЛИ степень уверенности первого врача *низкая* И степень уверенности второго врача *низкая* И степень уверенности третьего врача *низкая* ТО вероятность положительного диагноза *весьма низкая*.

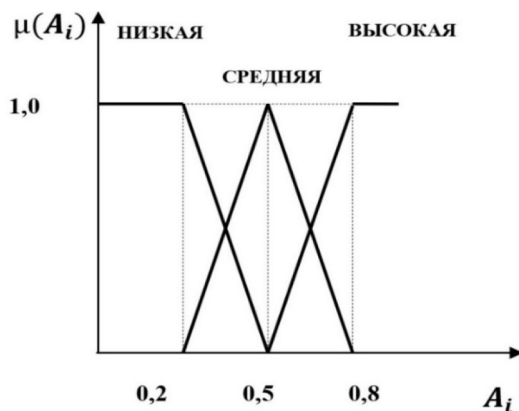


Рис. 1. Функция принадлежности лингвистической переменной  $A_i$

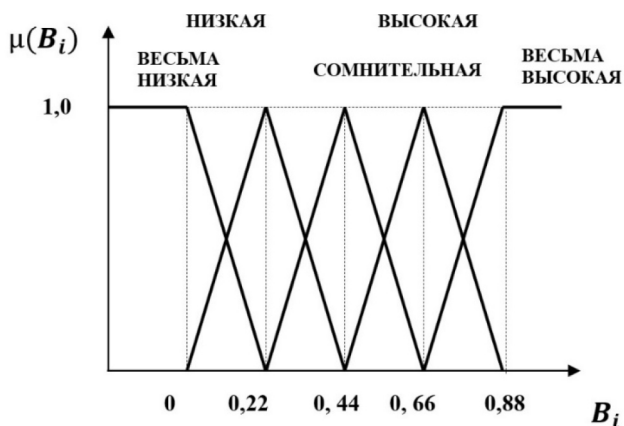


Рис. 2. Функция принадлежности лингвистической переменной  $B_j$

Система функционирует в соответствующих пакетах МАТЛАБ [4]. Фазилогическая конъюнкция подусловий выполняется по правилу минимума. Нахождение функций совместной принадлежности – по правилу нечеткой импликации Мамдани. Дефазификация взвешенной оценки подтвержденности диагноза (результат) выполняется по центроидному методу [4,7,9].

**3.2. Методика работы с системой поддержки принятия решений при коллективной диагностике.** Методика работы с системой поддержки принятия решений при коллективной диагностике состоит в следующем.

1. Ведущий врач пациента, на основании разговора с больным, выполнения лабораторных и инструментальных обследований, заполняет данные, находящиеся в первых трех столбцах таблиц 1-5 по форме таблицы 6.

Таблица 6.

#### Анализируемые показатели

	ПОКАЗАТЕЛИ НА ОСНОВАНИИ ЖАЛОБ И ИЗУЧЕНИЯ ИСТОРИИ БОЛЕЗНИ ПАЦИЕНТА	(да +/-нет -)
1.	Заложенность носа	
2.	Вязкое слизистое отделяемое, не зависящее от времени суток	
3.	Есть установленный диагноз персистирующего (круглогодичного) аллергического ринита	
4.	Получал базовую противоаллергическую терапию	
5.	Ремиссия длительностью до 3 недель	
	ПОКАЗАТЕЛИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ	(да +/-нет -)
1.	Утолщенная слизистая	
2.	Кисты верхнечелюстных пазух	
3.	Грибковые тела	
4.	Полипозная ткань	
5.	Пломбировочный материал	
6.	Искривленная носовая перегородка	
	ПОКАЗАТЕЛИ БАКПОСЕВА МАЗКА ИЗ НОСА	(да +/-нет -)
1.	Есть отклонения микрофлоры от нормы	
	ПОКАЗАТЕЛИ ПОСЕВА НА ГРИБЫ	(да +/-нет -)
1.	Есть отклонения от нормы	

	ПОКАЗАТЕЛИ ПЦР СОСКОБА ИЗ НОСОГЛОТКИ	(да +/-нет -)
1.	Вирус Эпштейна - Барра	
2.	Цитомегаловирус	
3.	Вирус герпеса человека 6 типа	
4.	Хламидийная инфекция ( <i>Chlamydia pneumoniae</i> )	
	ПОКАЗАТЕЛИ ОСМОТРА НОСА	(признак сильно выражен +/-нет -)
1.	В полости носа обильное слизистое отделяемое	
2.	Гипертрофия нижних носовых раковин	
3.	Гипертрофия задних концов средних носовых раковин	
4.	Слизистая оболочка полости носа бледно-розового или цианотичного цвета	
	ПОКАЗАТЕЛИ ОСМОТРА ГЛОТКИ	(признак сильно выражен +/-нет -)
1.	Большое количество гранул на задней стенке глотки	
2.	Выраженная инъекция сосудов слизистой оболочки задней стенки глотки	
3.	Гипертрофия боковых валиков глотки	

2. Ведущий (лечащий) врач рассылает заполненную форму еще двум врачам, участвующим в диагностике, дается время на ознакомление.

3. Все три врача, участвующие в диагностике дают свою оценку уверенности в наличие хламидийной инфекции на основании заполненной лечащим врачом формы по непрерывной шкале от 0 до 1, где 1 - абсолютно уверен в наличии инфекции, 0 – абсолютно уверен в отсутствии инфекции.

4. Данные вводятся в программную среду МАТЛАБ.

5. Получается результат по шкале от 0 до 1, характеризующий взвешенную уверенность 3 экспертов в наличии инфекции.

6. Результаты интерпретируются на основании таблицы 7, полученной с участием экспертов.

На основании анализа лабораторных результатов делается заключение врачом о наличии либо отсутствии инфекции, либо предлагаются дополнительные обследования. Программные средства прошли первичную верификацию и валидацию. Числовые значения входных и выходных параметров для нескольких примеров расчетов приведены в таблице 8.



Таблица 7.

<b>Интерпретация результатов</b>		
№ п.п.	Вероятность положительного диагноза	Действия врача
		<b>Интерпретация результатов</b>
1	> 0,8	Назначается анализ на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам IgG хламидийной инфекции.
		<b>При положительном анализе на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции весьма высока вероятность наличия хламидийной инфекции.</b>
2	0,4 – 0,8	Назначается анализы: 1) на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции; 2) на avidность антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам IgG хламидийной инфекции.
		<b>При положительном анализе на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции и высокой avidности антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции весьма высока вероятность наличия хламидийной инфекции.</b>
3	<0,4	назначается анализы: 1) на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции; 2) на avidность антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции; 3) на проверку уровня интерлейкина 6 в сыворотке крови.
		<b>При положительном анализе на антитела в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции и высокой avidности антител в сыворотке крови к иммуноглобулинам Ig G хламидийной инфекции и высоком уровне интерлейкина 6 в сыворотке крови весьма высока вероятность наличия хламидийной инфекции.</b>

Таблица 8.

<b>Примеры расчётов</b>				
№ п.п.	$A_1$	$A_2$	$A_3$	Вероятность положительного диагноза
1	0,65	0,765	1	0,834
2	0,75	0,595	0,9	0,713
3	0,35	0,45	0,15	0,159

Для сравнения у 29 пациентов установление диагноза осуществлялось врачами-экспертами (см. раздел 2) по принятыми ими методиками. В результате подтвержденный диагноз был установлен у 24 пациентов, т.е. у 82,7% (95% ДИ 65,4-92,4). У тех же 29 пациентов было выполнено прогнозирование

ние диагноза (у 19 пациентов вероятность наличия хламидийной инфекции была более 0,8; у 7 пациентов вероятность наличия хламидийной инфекции была от 0,4 до 0,8; у остальных (3) - вероятность наличия хламидийной инфекции была менее 0,4). У всех пациентов дальнейшее уточнение диагноза проводилось в соответствии с таблицей 7. У 26 из них хламидийная инфекция была подтверждена, т.е. у 89,6% (95% ДИ 73,6-96,4). Это говорит о хорошей сходимости результатов, полученных врачами экспертами, и по предлагаемой методике с помощью программных средств, так как имеется весьма значительное перекрытие доверительных интервалов.

### **Обсуждение результатов исследования**

Анализируя разработанную методику и модели экспертной системы диагностики круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией, следует обратить внимание на такие ее свойства:

1) методика установления инфекции предполагает выполнение пошаговой диагностики, подкрепляемой предыдущими результатами, что предотвращает выполнение избыточных обследований;

2) методика определения предположительно хламидийной инфекции пригодна для использования в обычном, неавтоматизированном режиме;

3) при опытной диагностике круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией с помощью экспертной системы установлено достаточно хорошее совпадение результатов, полученными по модели, с выводами врачей – экспертов;

4) использование экспертных систем диагностики круглогодичного аллергического ринита не требует от врачей специальных знаний в области информационных технологий;

5) входные и выходные параметры для автоматизированной экспертной системы задаются выдаются в понятном мнемоническом виде, в диапазоне 0 (нет уверенности) - 1 (полностью уверен).

Представленная в работе база знаний обязательно должна уточняться по мере накопления новой клинической информации как имеющейся группой экспертов, так и путем включения в нее новых врачей.

### **Заключение**

Методика прогнозирования наличия хламидийной инфекции и база знаний экспертной системы, реализованная в среде «Матлаб», прошли апробацию у врачей экспертов. Экспертная система использовалась в качестве рекомендующей, вырабатывающей «подсказки». Таким образом в работе:

- предложена методика прогнозирования наличия круглогодичного аллергического ринита, вызванного хламидийной инфекцией;
- предложены база знаний и модели экспертной системы, объединяющей знания практикующего врача с знаниями, заложенными в экспертной диагностической системе;
- выполнена проверка полученных практических результатов путем сравнения с результатами врачей - экспертов.

**Информированное согласие.** Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании. Письменное информированное согласие было получено от пациентов на публикацию этой статьи.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность своим коллегам, принимавшим участие в обсуждении результатов данной работы.

#### *Список литературы*

1. Варламов Е.Е. Аллергический ринит: этиология, диагностика, лечение, профилактика // Практика педиатра. 2019. №3. С. 16-21.
2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт Петербург: Питер-пресс, 2016. 162 с.
3. Джимшелейшвили Н.П., Овчинников А.Ю., Мирошниченко Н.А. Современный подход к терапии больных с круглогодичным аллергическим ринитом // Наука и инновации в медицине. 2018. Т 1. №3. С. 31-36.
4. Дьяков В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB: специальный справочник. Санкт Петербург: Питер, 2001. 480 с.
5. Капустина Т.А., Маркина А. Н., Парилова О. В., Белова Е. В.. Медицинская помощь пациентам с респираторным хламидиозом // Российский медицинский журнал. 2013. № 1. С. 6-10.
6. Комплексное лечение и лабораторный мониторинг круглогодичного аллергического ринита, протекающего на фоне аллергодерматозов / Кузнецова Л.В., Литус В.И., Назаренко А.П., Осипова Л.С., Кузнецов А.Г. // Лабораторная диагностика. Восточная Европа. 2018. Т. 1. № 7. С. 509-516.
7. Асаи К., Сугэно К., Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы. М.: Мир, 1993. 189 с.
8. Лабораторная диагностика респираторного хламидиоза / Белова Е.В., Капустина Т.А., Маркина А.Н., Парилова О.В. // Сибирское медицинское обозрение. 2019. №1 (115). С. 5-16.
9. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к понятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.

10. Маркина А.Н., Капустина Т.А., Белова Е.В., Парилова О.В. Распространенность хламидиоза верхнего отдела респираторного тракта и оптимизация медицинской помощи инфицированным лицам // Вестник военно-медицинской академии. 2015. № 1(49). С. 131-135.
11. Пальчун В.Т., Гуров А.В., Руденко В.В. Хламидийная и микоплазменная инфекция в оториноларингологии (систематический обзор) // Вестник оториноларингологии. 2012. № 77(6). С.91-97.
12. Портенко Е.Г., Бурдо Г.Б., Вашневская Н.А. Интеллектуальная поддержка принятия решений при диагностике лор-заболеваний // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия Технические науки. 2022. № 2 (14). С. 83-90.
13. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2010. 432 с.
14. Терехова Е.П., Терехов Д.В. Аллергический ринит: современные методы терапии // Медицинский совет. 2016. № 17. С. 74-79.
15. Тригубенко Р. А., Портенко Е. Г. Алгоритм диагностического поиска при IgE-независимом аллергическом рините // Российская оториноларингология. 2020. №19(2). С. 69-73.
16. Федоскова Т.Г., Свистушкин В.М., Шевчик Е.А. Аллергический Ринит – Сезонная Беда, Межсезонная Проблема // Российский аллергологический журнал. 2016. № 3. С. 36-43.
17. Царев С.В. Аллергический ринит: современная оценка медико-социальных аспектов и способов лечения интраназальные кортикостероиды в лечении ринитов // Медицинский Совет. 2018. № 17. С.187-192.
18. Wallace D.V., Dykewicz M.S., Bernstein D.I., Blessing-Moore J., Cox L., Khan D.A., Lang D.M., Nicklas R.A., Oppenheimer J., Portnoy J.M., Randolph C.C., Schuller D., Spector S.L., Tilles S.A. The diagnosis and management of rhinitis: an updated practice parameter // J Allergy Clin Immunol. 2008. Vol. 122. No. 2. P. 1-84.
19. Гланц Э. Медико-биологическая статистика / Э. Гланц; перевод с английского. Москва: Практика, 1998. 459 с.

### References

1. Varlamov E.E. Allergic rhinitis: etiology, diagnosis, treatment, prevention. *Praktika pediatria* [Pediatrician's Practice], 2019, no. 3, pp. 16-21.
2. Gavrilova T. A., Khoroshevskiy V. F. *Knowledge bases of intelligent systems*. St. Petersburg: Peter-press, 2016, 162 p.
3. Jimsheleishvili N.P., Ovchinnikov A.Yu., Miroshnichenko N.A. Modern approach to therapy of patients with year-round allergic rhinitis. *Nauka i inno-*

- vatsii v meditsine* [Science and Innovations in Medicine], 2018, vol. 1, no. 3, pp. 31-36.
4. Dyakov V., Kruglov V. *Mathematical packages of MATLAB extension: special reference book*. St. Petersburg: Peter, 2001, 480 p.
  5. Kapustina T.A., Markina A.N., Parilova O.V., Belova E.B. Medical care for patients with respiratory chlamydia. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal], 2013, no. 1, pp. 6-10.
  6. Complex treatment and laboratory monitoring of year-round allergic rhinitis occurring on the background of allergodermatoses / Kuznetsova L.V., Litus V.I., Nazarenko A.P., Osipova L.S., Kuznetsov A.G. *Laboratornaya diagnostika. Vostochnaya Evropa* [Laboratory Diagnostics. Eastern Europe], 2018, vol. 1, no. 7, pp. 509-516.
  7. Asai K., Sugeno K., Terano T. *Applied fuzzy systems*. Moscow: Mir, 1993, 189 p.
  8. Laboratory diagnosis of respiratory chlamydia / Belova E.V. Belova, Kapustina T.A., Markina A.N., Parilova O.V. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* [Siberian Medical Review], 2019, no. 1 (115), pp. 5-16.
  9. Zadeh L. *The concept of linguistic variable and its application to the concept of approximate solutions*. Moscow: Mir, 1976, 165 p.
  10. Markina A.N., Kapustina T.A., Belova E.V., Parilova O.V. Prevalence of chlamydia of the upper respiratory tract and optimization of medical care for infected individuals. *Vestnik voenno-meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Military Medical Academy], 2015, no. 1(49), pp. 131-135.
  11. Palchun V.T., Gurov A.V., Rudenko V.V. Chlamydia and mycoplasma infection in otorhinolaryngology (systematic review). *Vestnik otorhinolaryngologii*, 2012, no. 77(6), pp. 91-97.
  12. Portenko E.G., Bourdeau G.B., Vashnevskaya N.A. Intellectual decision support in diagnostics of ENT diseases. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Tekhnicheskie nauki*, 2022, no. 2 (14), pp. 83-90.
  13. Rybina G.V. *Fundamentals of building intelligent systems*. Moscow: Finance and Statistics, 2010, 432 p.
  14. Terekhova E.P., Terekhov D.V. Allergic rhinitis: modern methods of therapy. *Meditsinskiy sovet* [Medical Council], 2016, no. 17, pp. 74-79.
  15. Trigubenko R.A., Portenko E. G. Algorithm of diagnostic search in IgE-independent allergic rhinitis. *Rossiyskaya otorinolaringologiya* [Russian Otorhinolaryngology], 2020, no. 19(2), pp. 69-73.
  16. Fedoskova T.G., Svistushkin V.M., Shevchik E.A. Allergic Rhinitis - Seasonal Trouble, Interseasonal Problem. *Rossiyskiy allergologicheskiy zhurnal* [Russian Allergological Journal], 2016, no. 3, pp. 36-43.

17. Tsarev S.V. Allergic rhinitis: a modern assessment of medical and social aspects and ways of treatment intranasal corticosteroids in the treatment of rhinitis. *Meditsinskiy Sovet* [Medical Council], 2018, no. 17, pp. 187-192.
18. Wallace D.V., Dykewicz M.S., Bernstein D.I., Blessing-Moore J., Cox L., Khan D.A., Lang D.M., Nicklas R.A., Oppenheimer J., Portnoy J.M., Randolph C.C., Schuller D., Spector S.L., Tilles S.A. The diagnosis and management of rhinitis: an updated practice parameter. *J Allergy Clin Immunol.*, 2008, vol. 122, no. 2, pp. 1-84.
19. Glantz E. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Medico-biological statistics]. Moscow: Praktika, 1998, 459 p.

#### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Портенко Елена Геннадиевна**, заведующая кафедрой оториноларингологии, д. м. н., профессор  
*Тверской государственный медицинский университет*  
ул. Советская, 4, г. Тверь, Тверская область, 170100, Российская Федерация  
[gbtms@yandex.ru](mailto:gbtms@yandex.ru)

**Бурдо Георгий Борисович**, заведующий кафедрой технологии и автоматизации машиностроения, д.т.н., профессор  
*Тверской государственный технический университет*  
наб. А. Никитина, 22, г. Тверь, Тверская область, 170026, Россия  
[gbtms@yandex.ru](mailto:gbtms@yandex.ru)

**Кузнецова Валерия Сергеевна**, аспирант кафедры оториноларингологии  
*Тверской государственный медицинский университет*  
ул. Советская, 4, г. Тверь, Тверская область, 170100, Российская Федерация  
[gbtms@yandex.ru](mailto:gbtms@yandex.ru)

**Вашневская Наталья Александровна**, доцент кафедры оториноларингологии, к.м.н.  
*Тверской государственный медицинский университет*  
ул. Советская, 4, г. Тверь, Тверская область, 170100, Российская Федерация  
[gbtms@yandex.ru](mailto:gbtms@yandex.ru)

**DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Elena G. Portenko**, Head of the Department of Otorhinolaryngology, MD,  
Professor

*Tver State Medical University*

*4, Sovetskaya Str., Tver, Tver region, 170100, Russian Federation*

*gbtms@yandex.ru*

*SPIN-code: 9667-8583*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9985-9442>*

*Scopus Author ID: 6505828435*

**Georgy B. Burdo**, Head of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor

*Tver State Technical University*

*22, A. Nikitin nab., Tver, Tver region, 170026, Russian Federation*

*Email address: gbtms@yandex.ru*

*SPIN-code: 2245-7781*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2978-3750>*

*Researcher ID: ABH-9771-2020*

*Scopus Author ID: 57188973020*

**Valeria S. Kuznetsova**, postgraduate student of the Department of Otorhinolaryngology

*Tver State Medical University*

*4, Sovetskaya Str., Tver, Tver region, 170100, Russian Federation*

*gbtms@yandex.ru*

*SPIN-code: 3251-9921*

**Natalia A. Vashnevskaya**, Associate Professor of the Department of Otorhinolaryngology, Candidate of Medical Sciences

*Tver State Medical University*

*4, Sovetskaya Str., Tver, Tver region, 170100, Russian Federation*

*gbtms@yandex.ru*

*SPIN-code: 2177-5677*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1290-2066>*

Поступила 11.04.2023

После рецензирования 21.06.2023

Принята 27.06.2023

Received 11.04.2023

Revised 21.06.2023

Accepted 27.06.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1066

УДК 61.618.3-616.9



Научная статья | Патология беременности

## СЕРОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЦИТОМЕГАЛОВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ У ЖЕНЩИН В ГОРОДЕ БАКУ

*З.Н. Гусейнова*

*В настоящее время проблема цитомегаловирусной инфекции (ЦМВИ) сохраняет высокую актуальность. Необходимость изучения ЦМВИ обусловлена ее широким распространением и тем, что цитомегаловирус (ЦМВ) способен вызвать различные нарушения у новорожденных и детей, матери которых перенесли ЦМВИ во время беременности.*

*Цель исследования – изучить некоторые сероэпидемиологические особенности цитомегаловирусной инфекции у женщин в г. Баку.*

*С учетом поставленных задач в 2018 году на базе клинической эпидемиологической лаборатории Азербайджанского Медицинского Университета было проведено обследование пациенток с подозрением на ЦМВИ. Средний возраст больных был  $42,5 \pm 2,7$  года.*

*Для лабораторной диагностики ЦМВИ использовали иммуноферментный анализ и полимеразную цепную реакцию.*

*Установлено, что при наличии антигена цитомегаловируса из 173 пациенток у 45 имела гинекологическая патология (26,0%). У женщин острая цитомегаловирусная инфекция диагностировалась в 26,0 случае и больше определялась в возрастной группе 40-49 лет (28,6%). У женщин острая цитомегаловирусная инфекция встречалась в ассоциации с ВПГ I типа в 2,9% случаев, с ВПГ II типа – 5,2%.*

**Ключевые слова:** цитомегаловирусная инфекция; иммуноферментный анализ; полимеразная цепная реакция; женщины

**Для цитирования.** Гусейнова З.Н. Серологические и молекулярно-биологические маркеры цитомегаловирусной инфекции у женщин в городе Баку // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 297-305. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1066



Original article | Pregnancy Pathology

## THE SEROLOGICAL AND MOLECULAR-BIOLOGICAL MARKERS OF CYTOMEGALOVIRUS INFECTION IN WOMEN IN BAKU CITY

*Z.N. Huseynova*

*At present time the problem of cytomegalovirus infection (CMVI) has a high interest. The necessity of studying of CMVI have been called with their widley spreading and with those that cytomegalovirus is able to caused the different in ne wborns and children, whose mothers have been sicked with CMVI during pregnancy.*

*The aim of investigation is to study the seroepidemiological peculiarities of CMVI in women in Baku city.*

*With according in 2018 year on the base of the clinical epidemiology laboratory of Azerbaijan Medical University the patients for CMVI have been observed. The middle age of women were  $42,5 \pm 2,7$  years old.*

*In order to laboratory diagnostic of CMVI the immunosorbent assay method (IFA) and the polymerase chain reaction (PCR) have been used.*

*It was determined that from 173 patients with pozitiv CMV antigen the 45 has the gynecological pathologies (26,0%).*

*At women an acute cytomegalovirus infection have been diagnosed in 26,0% of cases and most appearance have been detected in the age group 40-49 (28,6%). The cytomegalovirus infection at women have been appeared in association with HSV I (2,9%) and HSV II (5,2%) types of cases in acute, latent and reactivated forms.*

**Keywords:** *cytomegalovirus infection; immunosorbent assay method; polymerase chain reaction; women*

**For citation.** *Huseynova Z.N. The Serological and Molecular-Biological Markers of Cytomegalovirus Infection in Women in Baku City. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 297-305. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1066*

В настоящее время проблема цитомегаловирусной инфекции (ЦМВИ) сохраняет высокую актуальность [1, 5, 9]. Необходимость изучения ЦМВИ обусловлена ее широким распространением и тем, что цитомегаловирус (ЦМВ) способен вызвать различные нарушения у новорожден-

ных и детей, матери которых перенесли ЦМВИ во время беременности [11, 12, 15].

Растущая актуальность цитомегаловирусной инфекции (ЦМВИ) в клинической медицине обусловлена, прежде всего, повсеместным распространением и частотой инфицирования людей [4, 8, 14].

Цитомегаловирусная инфекция занимает одно из ведущих мест в структуре перинатальной смертности, являясь причиной смерти у 37,5% умерших новорожденных. Согласно эпидемиологическим данным большинство людей в течение своей жизни инфицируются цитомегаловирусом. ЦМВИ одна из наиболее частых внутриутробных инфекций [1, 2, 6, 13].

Особую актуальность представляет изучение значимости цитомегаловируса в патологии беременности у женщин [3, 7, 10].

**Цель исследования** – изучить некоторые сероэпидемиологические особенности цитомегаловирусной инфекции у женщин в г.Баку.

С учетом поставленных задач в 2018 году на базе клинической эпидемиологической лаборатории Азербайджанского Медицинского Университета было проведено обследование пациенток с подозрением на ЦМВИ.

Средний возраст больных был  $42,5 \pm 2,7$  года.

Для лабораторной диагностики ЦМВИ использовали иммуноферментный анализ и полимеразную цепную реакцию.

### **Статистическая обработка полученных результатов.**

Исследование классифицируется: по дизайну – эпидемиологическое, по методу – наблюдательное, по объему – выборочное, по виду – научное. По материалу – проспективное, по времени – поперечное, по месту – клиническое исследование. Полученные данные подверглись статистической обработке методами дискриминантного анализа. Для анализа качественных признаков в изучаемых группах предварительно составлены кросс-таблицы  $2 \times 2$  и  $2 \times n$ . Статистическая значимость различий оценивалась с помощью критерий  $\chi^2$  – Пирсона и Фишера. Все вычисления проводились на электронной таблице EXCEL-2013 и SPSS-20.

### **Результаты и их обсуждение**

Результаты определения частоты встречаемости ЦМВИ у женщин в различных возрастных группах показаны в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, частота определения ЦМВИ у женщин в возрастной группе до 30-ти лет составляла 23,7%, в возрастной группе 30-39 лет – 26,7%, в возрастной группе 40-49 лет – 28,6% и в возрастной группе 50 лет и старше – 28,5%.

Таблица 1.

**Частота встречаемости ЦМВИ у женщин в различных возрастных группах**

Возрастные группы	Обследовано	Положительные	%
До 30-ти лет	97	25	23,7
39-39 лет	45	12	26,7
49-49 лет	14	4	28,6
50 лет и старше	17	4	28,5
Итого:	173	45	26,0

Анализ результатов определения серологических маркеров острой ЦМВИ у женщин установил, что специфические антитела класса М выявлялись в возрастной группе до 30-ти лет у 25 женщин (23,7%), в возрастной группе 30-39 лет у 12 пациенток (26,7%), в возрастной группе 40-49 лет и старше 50 лет у 4-х женщин (28,6% и 28,5% соответственно). Выявляемость специфических антител класса G также была различной в зависимости от возраста пациенток. Так, наибольший процент обнаружения антител класса G приходилось также на возрастную группу 40-49 лет (64,3%).

Результаты молекулярно-биологического обследования (ПЦР) женщин на острую цитомегаловирусную инфекцию в зависимости от возрастных групп отражены в таблице 2.

Таблица 2.

**Результаты ПЦР обследования женщин на острую ЦМВИ в различных возрастных группах**

Возрастные группы	Обследовано	ДНК ЦМВ в крови	%
До 30-ти лет	97	23	23,7
39-39 лет	45	10	22,2
49-49 лет	14	3	21,4
50 лет и старше	17	4	23,5
Итого:	173	40	23,1

Из таблицы 2 видно, что ДНК ЦМВ в крови у женщин в возрастной группе до 30-ти лет определялся у 23 женщин (23,7%). Выявляемость молекулярно-биологического маркера, то есть ДНК ЦМВ в крови у женщин в возрастной группе 30-39 лет составляла 22,2% (у 10 женщин), а в возрастной группе 40-49 лет 21,4% (у 3 пациенток).

В целом, частота обнаружения ДНК ЦМВ в крови у женщин методом ПЦР составляла 23,1%.

В ходе исследований была изучена частота обнаружения микст острой ЦМВИ у женщин в различных возрастных группах. В таблице 3 показана частота встречаемости микст ЦМВИ у женщин в зависимости от возраста.

Таблица 3.

**Частота встречаемости микст ЦМВИ у женщин  
в различных возрастных группах**

Возрастные группы	Обследовано	ЦМВИ+ВПГ-I	%	ЦМВИ+ВПГ-II	%
До 30-ти лет	97	–	–	–	
39-39 лет	45	3	6,7	6	13,3
49-49 лет	14	2	14,3	3	21,4
50 лет и старше	17	–	–	–	
Итого:	173	5	2,19	9	5,2

Как видно из таблицы 3, ЦМВИ в ассоциации с ВПГ-I типа встречалась у женщин в возрастной группе 30-39 лет (6,7%), а в ВПГ-II типа у женщин в возрастной группе 30-39 лет (13,3%) и в возрастной группе 40-49 лет (21,4%).

Таблица 4.

**Соотношение пациенток по выявлению маркеров ЦМВИ (n=173)**

Маркер ЦМВИ	Абс. ч.	%
ДНК CMV в крови	40	23,1
Анти-CMV IgG в крови	83	47,9
Анти-CMV IgM в крови	45	26,0
Анти-CMV IgG (авидность)	47	27,2
Анти-CMV IgM (авидность)	45	26,0

При анализе данных с целью выявления маркеров ЦМВИ установлена наибольшая частота обнаружения анти-CMV IgG 83 (47,9%) случаев. Анти-CMV IgM были выявлены у 45 (26,0%) женщин. При этом авидность анти-CMV IgG составляла 27,2%, анти-CMV IgM 26,0%. Обнаружение антител класса G к CMV свидетельствовало как об инфицированности, так и о наличии в большинстве случаев сформированного специфического противовирусного иммунитета. Выявление антител класса M совместно с IgG было одним из признаков реактивации данной вирусной инфекции.

### **Выводы**

1. Установлено, что у женщин острая цитомегаловирусная инфекция диагностируется в 26,0% случаев. У женщин цитомегаловирусная инфекция больше определяется в возрастной группе 40-49 лет (28,6%).

2. У женщин серологические и молекулярно-биологические маркеры острой цитомегаловирусной инфекции в основном коррелируют между собой.
3. У женщин острая цитомегаловирусная инфекция встречается в ассоциации с ВПГ I и II типов (2,19% и 5,2% соответственно).

**Информированное согласие.** Письменное информированное согласие было получено от пациентов на публикацию этой статьи.

**Информация о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### *Список литературы*

1. Андриевская И.А., Луценко М.Т., Петрова К.К., Кочегарова Е.Ю., Приходько Н.Г. Плацентарный фактор роста как маркер угрозы ранних самопроизвольных выкидышей при цитомегаловирусной инфекции // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2017. №64. С. 55-59. [https://doi.org/10.12737/article\\_59360cc93f6447.76641762](https://doi.org/10.12737/article_59360cc93f6447.76641762)
2. Барычева Л.Ю., Голубева М.В., Кабулова М.А. Пороки развития у детей с врожденной цитомегаловирусной и токсоплазменной инфекциями // Современные проблемы науки и образования. 2014. №1. С. 115-121.
3. Короткова Н.А., Прилепская В.Н. Цитомегаловирусная инфекция и беременность // Акушерство и гинекология. 2016. № 3(22). С. 31-36.
4. Никитина А.В., Помелова В.Г., Осин Н.С., Марданлы С.Г. Мультиплексный иммуноанамнез для выявления иммуноглобулинов G к вирусам простого герпеса 1-го и 2-го типов и цитомегаловирусу на основе технологии ФОС-ФАН // Вопросы вирусологии. 2017. № 2. С. 87-90.
5. Покровский В.И., Аитов К.А., Покровский В.В. и др. Цитомегаловирусная инфекция у взрослых. Клинические рекомендации. М., 2014. 74 с.
6. Чешик С.Г., Кистенева Л.Б. Цитомегаловирусная инфекция и спонтанные аборт у женщин в I и II триместрах беременности // Вопросы вирусологии. 2016. № 2. С. 74-78.
7. Adler S., Finney J., Manganello A., Best A. Prevention of child-to-mother transmission of cytomegalovirus among pregnant women // J. Pediatr. 2014. Vol. 145(4). P. 485-491.
8. De Vries J., Van Zwet E., Dekker F. et al. The apparent paradox of maternal seropositivity as a risk factor for congenital cytomegalovirus infection: a population – based prediction model // Rev. Med. Virol. 2013. Vol. 17. P. 253-259.

9. Kim C. Congenital and perinatal cytomegalovirus infection // Korean J. Pediatr. 2010. Vol. 53, № 1. P. 14-20.
10. Leruez-Ville M., Macny J., Couderc S. et al. Risk factors for congenital cytomegalovirus infection following primary and nonprimary maternal infection: a prospective neonatal screening study using polymerase chain reaction in saliva // Clin. Infect. Dis. 2017. Vol. 65 (3). P. 398-404.
11. Leruez-Ville M., Selier Y., Salomon L. et al. Prediction of fetal infection in cases with cytomegalovirus immunoglobulin M in the first trimester of pregnancy: a retrospective cohort // Clin. Infect. Dis. 2013. Vol. 56(10). P. 1428-1435.
12. Luvira V., Chamnanchanunt S., Bussaratid V. et al. Seroprevalence of latent cytomegalovirus infection among elderly Thais // Southeast Asian J. Trop. Med. Publ. Hlth. 2012. Vol. 43(6). P. 1419-1425.
13. Manicklal S., Emery V., Lazzarotto T. et al. The «silent» global burden of congenital cytomegalovirus // Clin. Microbiol. Rev. 2013. Vol. 26. P. 86-102.
14. Schampera M., Schweinzer K., Abele H. et al. Comparison of cytomegalovirus – specific neutralization capacity of hyperimmunoglobulin versus standart intravenous immunoglobulin preparations: impact of CMV IgG normalization // J. Clin. Virol. 2017. Vol. 90. P. 40-45.
15. Sellier Y., Guilleminot T., Ville Y. et al. Comparison of the LIAISON CMV IgG Avidity II and the VIDAS CMV IgG Avidity VV assays for the diagnosis of primary infection in pregnant women // J. Clin. Virol. 2015. P. 46-48.

### References

1. Andrievskaya IA, Lutsenko MT, Petrova KK, Kochegarova EY, Prikhodko NG Placental growth factor as a marker of the threat of early spontaneous miscarriages in cytomegalovirus infection. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Respiratory Physiology and Pathology Bulletin], 2017, no. 64, pp. 55-59. [https://doi.org/10.12737/article\\_59360cc93f6447.76641762](https://doi.org/10.12737/article_59360cc93f6447.76641762)
2. Barycheva L.Yu., Golubeva M.V., Kabulova M.A. Developmental defects in children with congenital cytomegalovirus and toxoplasma infections. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 1, pp. 115-121.
3. Korotkova N.A., Prilepskaya V.N. Cytomegalovirus infection and pregnancy. *Akusherstvo i ginekologiya* [Obstetrics and Gynecology], 2016, no. 3(22), pp. 31-36.
4. Nikitina A.V., Pomelova V.G., Osin N.S., Mardanly S.G. Multiplex immunanalysis for the detection of immunoglobulins G to herpes simplex viruses types 1 and 2 and cytomegalovirus on the basis of FOSPHAN technology. *Voprosy virologii*, 2017, no. 2, pp. 87-90.

5. Pokrovsky V.I., Aitov K.A., Pokrovsky V.V. et al. *Cytomegalovirus infection in adults. Clinical recommendations*. M., 2014, 74 p.
6. Cheshik S.G., Kisteneva L.B. Cytomegalovirus infection and spontaneous abortions in women in the I and II trimesters of pregnancy. *Voprosy virologii*, 2016, no. 2, pp. 74-78.
7. Adler S., Finney J., Manganello A., Best A. Prevention of child-to-mother transmission of cytomegalovirus among pregnant women. *J. Pediatr.*, 2014, vol. 145(4), pp. 485-491.
8. De Vries J., Van Zwet E., Dekker F. et al. The apparent paradox of maternal seropositivity as a risk factor for congenital cytomegalovirus infection: a population – based prediction model. *Rev. Med. Virol.*, 2013, vol. 17, pp. 253-259.
9. Kim C. Congenital and perinatal cytomegalovirus infection. *Korean J. Pediatr.*, 2010, vol. 53, no. 1, pp. 14-20.
10. Leruez-Ville M., Mauny J., Couderc S. et al. Risk factors for congenital cytomegalovirus infection following primary and nonprimary maternal infection: a prospective neonatal screening study using polymerase chain reaction in saliva. *Clin. Infect. Dis.*, 2017, vol. 65 (3), pp. 398-404.
11. Leruez-Ville M., Selier Y., Salomon L. et al. Prediction of fetal infection in cases with cytomegalovirus immunoglobulin M in the first trimester of pregnancy: a retrospective cohort. *Clin. Infect. Dis.*, 2013, vol. 56(10), pp. 1428-1435.
12. Luvira V., Chamnanchanunt S., Bussaratid V. et al. Seroprevalence of latent cytomegalovirus infection among elderly Thais. *Southeast Asian J. Trop. Med. Publ. Hlth.*, 2012, vol. 43(6), pp. 1419-1425.
13. Manicklal S., Emery V., Lazzarotto T. et al. The «silent» global burden of congenital cytomegalovirus. *Clin. Microbiol. Rev.*, 2013, vol. 26, pp. 86-102.
14. Schampera M., Schweinzer K., Abele H. et al. Comparison of cytomegalovirus – specific neutralization capacity of hyperimmunoglobulin versus standart intravenous immunoglobulin preparations: impact of CMV IgG normalization. *J. Clin. Virol.*, 2017, vol. 90, pp. 40-45.
15. Sellier Y., Guilleminot T., Ville Y. et al. Comparison of the LIAISON CMV IgG Avidity II and the VIDAS CMV IgG Avidity VV assays for the diagnosis of primary infection in pregnant women. *J. Clin. Virol.*, 2015, pp. 46-48.

#### **ДАнные ОБ АВТОРЕ**

**Гусейнова Замина Ниязиевна**, ассистент кафедры эпидемиологии и биостатистики

*Азербайджанский Медицинский Университет*

*ул. М.Санани, 127, г. Баку, Азербайджан*

*zaminah@mail.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Zamina N. Huseynova**, Assistant of the Department of Epidemiology and Biostatistics

*Azerbaijan Medical University*

*127, M. Sanani Str., MBaku, Azerbaijan.*

*zaminah@mail.ru*

Поступила 24.05.2023

После рецензирования 13.07.2023

Принята 31.07.2023

Received 24.05.2023

Revised 13.07.2023

Accepted 31.07.2023



DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1067

УДК 616-031.22



Научная статья | Восстановительная медицина

## ОЦЕНКА УРОВНЯ БОЛИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПЛАНТАРНОГО ФАСЦИИТА МЕТОДОМ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ

*А.-М.Я. Мурадова, В.В. Козлов*

**Обоснование.** Дискомфорт в пяточной области вызван подошвенным фасциитом как у активных, так и у ведущих сидячий образ жизни людей любого возраста. Люди с ожирением и люди, которые проводят большую часть своего времени на ногах, более подвержены этому заболеванию. Большинство вмешательств, используемых для лечения подошвенного фасциита, не изучены должным образом.

**Цель работы:** доказать эффективность влияния ударно-волновой терапии и растяжения икроножных мышц на плантарный фасциит.

**Методы.** Экстракорпоральная ударно-волновая терапия в качестве единственного метода лечения и в сочетании с упражнениями на растяжение икроножных мышц на лестничной беговой дорожке; оценка уровня боли по шкалам VAS и AOFAS, метод статистического анализа.

**Результаты.** Получены статистически значимые различия оценок уровня боли по шкалам VAS и AOFAS при лечении пяточной боли при плантарном фасциите. При этом оценка боли по шкале AOFAS отражала статистически значимо более выраженный эффект от лечения при сочетании экстракорпоральной ударно-волновой терапии в сочетании с комплексом упражнений на растяжение икроножных мышц.

**Заключение.** Экстракорпоральная ударно-волновая терапия может эффективно использоваться при хронической боли, локализующейся в области пяточной кости и обусловленной плантарным фасциитом. Наибольший эффект наблюдается у пациентов, получающих ЭУВТ и упражнения на растяжения икроножных мышц в комплексе.

**Ключевые слова:** подошвенный фасциит; методы лечения; растяжение; ударно-волновая терапия

*Для цитирования:* Мурадова А.-М.Я., Козлов В.В. Оценка уровня боли при лечении плантарного фасциита методом экстракорпоральной ударно-волновой терапии // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 306-316. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1067

Original article | Regenerative Medicine

## ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY

*A.-M.Y. Muradova, V.V. Kozlov*

**Background.** Heel discomfort is caused by plantar fasciitis in both active and sedentary people of all ages. Obese people and people who spend most of their time on their feet are more susceptible to this disease. Most of the interventions used to treat plantar fasciitis have not been adequately studied.

**Purpose:** to prove the effectiveness of the impact of shock wave therapy and stretching of the calf muscles on plantar fasciitis.

**Methods.** Extracorporeal shock wave therapy as the sole treatment and in combination with calf stretching exercises on a stair treadmill; assessment of the level of pain according to the VAS and AOFAS scales, the method of statistical analysis.

**Results.** Statistically significant differences in the assessments of the level of pain according to the VAS and AOFAS scales were obtained in the treatment of heel pain in plantar fasciitis. At the same time, pain assessment on the AOFAS scale reflected a statistically significantly more pronounced effect of treatment when combined with extracorporeal shock wave therapy in combination with a set of exercises for stretching the calf muscles.

**Conclusion.** Extracorporeal shock wave therapy can be effectively used for chronic pain localized in the calcaneus and caused by plantar fasciitis. The greatest effect is observed in patients receiving ESWT and exercises for stretching the calf muscles in the complex.

**Keywords:** plantar fasciitis; treatment modalities; extracorporeal shock-wave therapy; stretching

**For citation.** Muradova A.-M.Y., Kozlov V.V. Assessment of the Level of Pain in the Treatment of Plantar Fasciitis by Extracorporeal Shock Wave Therapy.

*Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 306-316. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1067*

## **Введение**

Боль в медиально-подошвенной части пяточной кости негативно влияет на жизнь миллионов людей во всем мире [6]. Больные обычно жалуются на боли в переднемедиальной части пятки. Боль усиливается при пассивном тыльном сгибании пальцев стопы. Симптомы могут присутствовать в течение недель или месяцев. Боль усиливается после отдыха, особенно после сна [2]. Подошвенная фасция играет важную роль в нормальной биомеханике стопы и состоит из трех сегментов. Сама фасция важна для обеспечения подошвенной поддержки свода [11]. Несмотря на диагноз, включающий сегмент «itis», это состояние характеризуется отсутствием воспалительных клеток [10].

Поскольку этиология плантарного фасциита не ясна, диагноз обычно основывается на клинических признаках, основанная на боли, обнаруженная при пальпации стопы, а так же состоянию, которому способствует начальная активность, которая усиливается при ежедневной ходьбе [3, 15].

Подошвенный фасциит – многофакторное заболевание, но в большинстве случаев оно вызвано чрезмерной нагрузкой на свод стопы. В некоторых случаях может возникать боль в пятке. Подошвенный фасциит иногда нелегко лечить, и при большинстве видах лечения пациенты остаются недовольны полученными результатами.

Подошвенный фасциит представляет собой повторяющееся травматическое перенапряжение, которое часто приводит к микроразрывам подошвенной фасции, но так же может возникать в результате травмы или других многофакторных причин [8]. Некоторыми предрасполагающими факторами являются плоскостопие, высокий свод стопы, ограниченное тыльное сгибание голеностопного сустава и чрезмерная пронация или супинация стопы. Плоскостопие может вызывать повышенное напряжение подошвенной фасции. [1]. У пациентов с этим заболеванием также наблюдается напряженность икроножных, камбаловидных и/или других мышц задних конечностей. Нарушения в этих мышцах также могут изменить нормальную биомеханику. Около 50% больных этим заболеванием также имеют пяточные шпоры, но причина не только в наличии шпор. Хотя это чаще встречается у бегунов и пожилых людей, другие факторы риска включают ожирение, атрофию подушечки лодыжки, старение, занятия, требующие длительного стояния на ногах, и весовую нагрузку. Хотя было

обнаружено, что подошвенный фасциит связан с различными серонегативными спондилоартропатиями, примерно в 85% случаев известный системный фактор отсутствует.

Несмотря на то что, 80% пациентов с болью в пятке страдают от подошвенного фасциита, существует ряд других различных диагнозов, которые могут вызывать боль. Эти симптомы могут быть вызваны анкилозирующим спондилитом, синдромом Рейтера и остеоартритом. Ревматоидный артрит более вероятен у женщин, когда симптомы двусторонние. У мужчин следует подозревать анкилозирующий спондилоартрит или синдром Рейтера. Абсцесс мягких тканей более вероятен у больных сахарным диабетом.

Наличие таких симптомов, как потеря веса, ночная боль и лихорадка, особенно у пациентов с невропатией, является признаком неоплазии или инфекции. Первичная неоплазия в ноге встречается крайне редко. Другие дифференциальные диагнозы включают вовлечение первой ветви латерального подошвенного нерва или медиального подошвенного нерва [16]. Прежде всего, диагноз подошвенного фасциита ставится клинически. Дальнейшие исследования должны основываться на клинических наблюдениях. Плановое рентгенологическое исследование является наиболее востребованным методом диагностики. Рентгенологическое исследование выявляет отек пяточной области у 50% больных. Подошвенные пяточные шпоры считаются случайной находкой в 13% случаях травм голеностопного сустава, которые были исследованы в связи с другими заболеваниями [12].

У 70-80% пациентов боль уменьшается только с помощью консервативного лечения. Тем не менее, многим пациентам требуется сочетание консервативного лечения с другими видами терапии [17].

Поэтому краткосрочные методы лечения, такие как растяжение мышц, регулярно используются в этот переходный период для облегчения симптомов. Систематический обзор 28 рандомизированных исследований изучал влияние растяжения икроножных мышц на диапазон движений голеностопного сустава и обнаружил, что растяжение приводит к небольшому, но статистически значимому увеличению диапазона движений голеностопного сустава [14]. Было доказано, что специфическая для подошвенной фасции растяжка более эффективна, чем изолированная программа растяжения ахиллова сухожилия [5].

Для пациентов с болями при подошвенном фасциите, не реагирующих на остальные методы лечения, ЭУВТ, введенная в 1990-х годах, может

быть удачным вариантом лечения[4]. При этом лечении высокоэнергетические звуковые волны вызывают повреждение, которое способствует неоваскуляризации и заживлению с помощью местных факторов роста. Основным риском этого лечения является необратимое повреждение фасции при чрезмерном давлении. [9]

**Цель работы** – доказать эффективность влияния ударно-волновой терапии и растяжения икроножных мышц на плантарный фасциит.

### **Материалы и методы исследования**

Это научное исследование является проспективным, в нем были отобраны 80 пациентов с диагнозом «подошвенный фасциит», которые затем случайным образом были разделены на две группы (исследуемую и контрольную). Так как в клиническом наблюдении участвовало четное количество больных, то в обеих группах, оказалось по 40 пациентов. В клиническое наблюдение были включены: 51 женщин (63,8%) и 29 мужчин (36,2%), 14 мужчин и 26 женщин методом случайного отбора относились к исследуемой группе, 15 мужчин и 25 женщин к контрольной группе. Возраст пациентов, получавших лечение в амбулаторных условиях, находился между 42-67 лет. Различия по половой и-возрастной структуре в сопоставляемых группах не являлись статистически значимыми ( $p > 0,05$ )

В исследуемой группе проводилась низкоэнергетическая экстракорпоральная ударно-волновая терапия с интервалом 1 раз в неделю в течении 5 недель с использованием 2000 импульсов (давление 2,5-4,0 бар, частота 5/10 Гц) со средней плотностью потока энергии 0,01 до 0,23 мДж/мм<sup>2</sup>. Дополнительно выполнялись упражнения на растяжение икроножных мышц на лестничной беговой дорожке. Участникам активной группы был предоставлен деревянный клин (доска)-лестничная беговая дорожка для растяжения икроножных мышц (рис. 1), на котором выполняются растяжения всех типов и всех мышц. Этот клин был использован для стандартизации техника растяжки между участниками. Для правильного выполнение упражнений для растяжения икроножной мышцы было проведено обучение по использованию деревянной доски. Далее для выполнения упражнений в домашних условиях было рекомендовано приобретение такой же доски, ввиду того, что упражнения должны были выполняться в течение 5-ти недель каждый день с интервалом 2 раза в день в течение 20-ти минут. Техника растяжения должна была выполняться стоя. Участникам было предложено поднять переднюю часть стопы вверх по клину, пока не почувствуется растяжение в икроножной мышце, удерживая пятку на земле.

Им посоветовали растягивать мышцу не менее 5 минут в день (растяжения все участников был сохранен в ежедневный журнал). Им было разрешено растягиваться небольшими сеансами (например, 1 минута), до тех пор, пока в общей сложности не будет достигнуто 5 минут в день.



Рис. 1. Деревянная доска растяжения

Участников предупредили, не перенапрягать мышцы и уменьшить силу растяжения, опустив ногу на клин, если ощущалась боль в икроножной мышце во время растяжения.

В контрольной группе проводились только сеансы экстракорпоральной ударно-волновой терапии с интервалом 1 раз в неделю в течении 5 недель с использованием 2000 импульсов (давление 2,5-4,0 бар, частота 5/10 Гц) со средней плотностью потока энергии 0,01 до 0,23 мДж/мм<sup>2</sup>.

Всем пациентам в первый день терапии были представлены анкеты по измерению шкалы боли. Уровень боли отмечалась по VAS-visual analogue scale (ВАШ-визуальная аналоговая шкала), и AOFAS-American Orthopedic Foot and Ankle scale (Американская ортопедическая шкала ноги и голеностопного сустава). Аналогичная оценка уровня боли производилась после окончания лечения.

Статистическая обработка данных производилась при помощи компьютерной программы IBM SPSS v. 26 (США). В описательной статистике результатов исследования использовались медиана и квартили, учитывая отсутствие нормального распределения данных балльной оценки. Оценка характера распределения признаков оценивали по критерию Шапиро-Уилкса. Учитывая отсутствие нормального распределения большинства переменных, сравнения изменений показателей в динамике проводили при

помощи непараметрического критерия Вилкоксона для зависимых выборок. Для межгрупповых сравнений показателей балльной оценки использовали ранговый непараметрический критерий Манна-Уитни. Уровень статистической значимости для отвержения нулевых гипотез соответствовал  $p < 0,05$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

По результатам исследования уровень VAS до лечения по медиане в исследуемой группе составлял 8,0 (7,0; 9,0), после лечения 3,0(2,0; 3,0), что имело статистически значимые различия на уровне  $p < 0,001$ . В контрольной группе до лечения по медиане в исследуемой группе уровень VAS составлял 8,0 (7,0; 9,0), после лечения 3,0(3,0; 4,0), что также отличалось статистически значимо ( $p < 0,001$ ). AOFAS до лечения по медиане в исследуемой группе составлял 40,5(35,3; 53,8), после лечения 73,0(55,5; 78,8), уровень значимости различий составлял  $p < 0,001$ , в контрольной группе до лечения по медиане данного показателя в исследуемой группе составляла 45,5(36,5; 59,8), после лечения 65,5(52,5; 71,0), что также имело значимые различия -  $p < 0,001$  (таблица 1).

Таблица 1.

#### Оценка уровня боли до и после лечения плантарного фасциита в исследуемой и контрольной группе

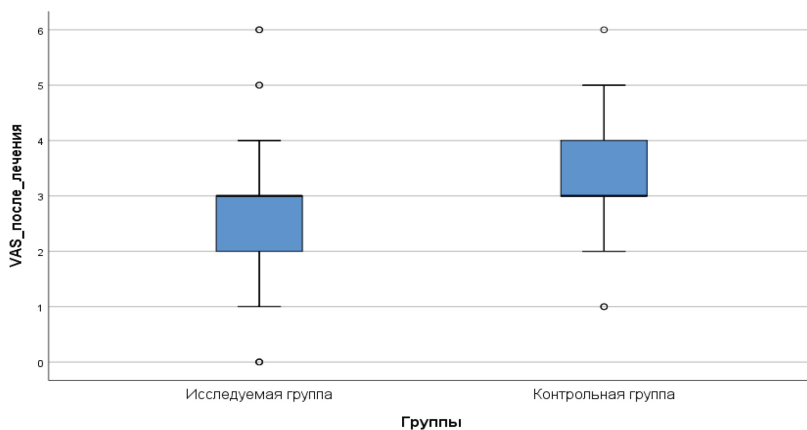
Группы	VAS (ВАШ)		р динамика	AOFAS (АОАНГ)		р динамика
	до	после		до	после	
Исследуемая	8,0 (7,0;9,0)	3,0 (2,0; 3,0)	$p < 0,001$	40,5 (35,3;53,8)	73,0 (55,5; 78,8)	$p < 0,001$
Контроль	8,0 (7,0; 9,0)	3,0 (3,0;4,0)	$p < 0,001$	45,5 (36,5; 59,8)	65,5 (52,5; 71,0)	$p < 0,001$
р межгрупп.	$p = 0,502$	$p = 0,197$		$p = 0,073$	$p = 0,038$	

Обращает на себя внимание, что уровни боли на основании оценки на старте лечения не имели статистически значимых различий ни по одной из использованных шкал.

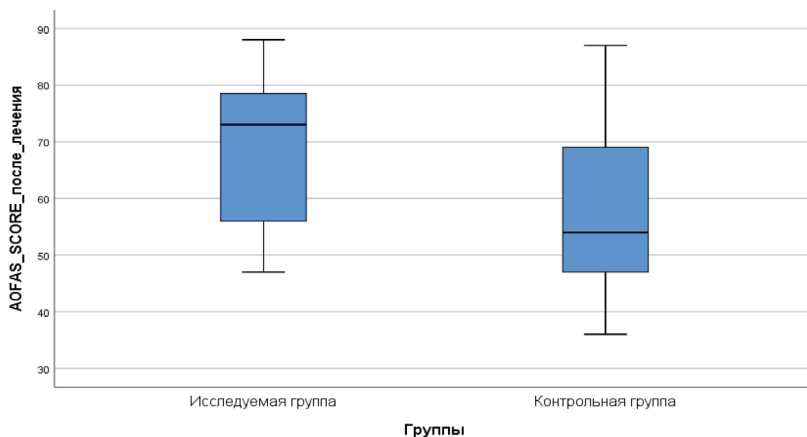
На рисунке 2 показана сравнительная оценка уровня боли по шкале VAS(ВАШ) после лечения пациентов. Средние уровни, оцененные по медиане в изучаемых группах не имели статистически значимых различий - 3,0(2,0; 3,0) против 3,0 (3,0; 4,0) ( $p = 0,197$ ).

На рисунке 3 видно, что при сравнительной оценке балльных показателей по шкале AOFAS(АОАНГ) после лечения плантарного фасциита

средний уровень данного показателя в исследуемой группе статистически значимо отличался от аналогичного в группе контроля – 73,0 (55,5; 78,8) против 65,5 (52,5; 71,0) ( $p=0,038$ ).



**Рис. 2.** Сравнительная оценка уровня боли по шкале VAS(ВАШ) после лечения пациентов исследуемой и контрольной групп



**Рис. 3.** Сравнительная оценка уровня боли по шкале AOFAS(АОАНГ) после лечения пациентов исследуемой и контрольной групп

Результаты исследования согласуются с данными систематического обзора [13] рандомизированных исследований, в котором изучалось влияние растяжения икроножных мышц на диапазон движений голеностопного



сустава и было обнаружено, что растяжение приводит к небольшому, но статистически значимому увеличению диапазона движений голеностопного сустава. Такое увеличение может уменьшить симптомы подошвенной боли в пятке за счет уменьшения напряжения в подошвенной фасции, которую оказывает на нее икроножная мышца во время стояния и ходьбы [2,7].

### **Заключение**

Таким образом, лечение в исследуемой группе было эффективнее, чем в контрольной группе. Экстракорпоральная ударно-волновой терапия в исследовании зарекомендовала себя как эффективный, нетравматичный, альтернативный метод лечения плантарного фасциита. Комбинирование экстракорпоральной ударно-волновой терапии с растяжением икроножных мышц показало наиболее положительный результат в исследовании.

### *Список литературы / References*

1. Arnold M.J., Moody A.L. Common Running Injuries: Evaluation and Management // *Am Fam Physician*, 2018, vol. 97, no. 8, pp. 510-516.
2. Carlson R.E., Fleming L.L., Hutton W.C. The biomechanical relationship between the tendoachilles, plantar fascia and metatarsophalangeal joint dorsiflexion angle. *Foot & Ankle International / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*. 2000, no. 21, pp. 18-25.
3. Cole C., Seto C., Gazewood J. Plantar Fasciitis: Evidence-based review of diagnosis and therapy // *Am Fam Physician*. 2005, no. 72, pp. 2237-2242.
4. Dahmen G.P, Meiss L, Nam VC, Skruodies B. Extrakorporale Stosswellentherapie (ESWT) im knochennahen Weichteilbereich an der Schulter. // *Extracta Orthopaedica*, 1992, no. 11, pp. 25-27.
5. Digiovanni BF, Nawoczinski DA, Malay DP, et al. Plantar fascia-specific stretching exercise improves outcomes in patients with chronic plantar fasciitis. A prospective clinical trial with two-year follow-up // *J Bone Joint Surg Am.*, 2006, no. 88, pp. 1775-1781.
6. Dunn J.E., Link C.L., Felson D.T. et al. Prevalence of foot and ankle conditions in a multiethnic community sample of older adults // *Am. J. Epidemiol.*, 2004, no. 159, pp. 491-498.
7. Erdemir A, Hamel AJ, Fauth AR, Piazza SJ, Sharkey NA: Dynamic loading of the plantar aponeurosis in walking // *J Bone Joint Surg Am.*, 2004, vol. 86, no 3, pp. 546-552.
8. Finkenstaedt T., Siriwanarangsun P., Statum S., Biswas R., Anderson K.E., Bae W.C., Chung C.B. The Calcaneal Crescent in Patients With and Without Plantar

- Fasciitis: An Ankle MRI Study // AJR Am J Roentgenol., 2018, vol. 211, no. 5, pp. 1075-1082.
9. Hsu RW, Hsu WH, Tai CL, et al. Effect of shock-wave therapy on patellar tendinopathy in a rabbit model // J Orthop Res., 2004, №22, pp. 221-227.
  10. Lee Y.K., Lee M. Treatment of infected Achilles tendinitis and overlying soft tissue defect using an anterolateral thigh free flap in an elderly patient: A case report // Medicine (Baltimore), 2018, vol. 97, no. 35, p. 119.
  11. Ling Y., Wang S. Effects of platelet-rich plasma in the treatment of plantar fasciitis: A meta-analysis of randomized controlled trials // Medicine (Baltimore), 2018, vol. 97, no 37, p. 110.
  12. McPoil T., Martin R., Cornwall M., Wukich D., Irrgang J., Godges J. Heel pain plantar fasciitis: Clinical practice guidelines linked to the International Classification of functioning, Disability, and health from the orthopaedic section of the American Physical Therapy Association // J Orthop Sports Phys Ther., 2008, no. 38, pp. 2-18.
  13. Radford JA, Burns J, Buchbinder R, Landorf KB, Cook C: Does stretching increase ankle dorsiflexion range of motion. A systematic review // Br J Sports Med., 2006, vol. 40, no. 10, pp. 870-875.
  14. Riddle D.L., Pulisic M., Pidcoe P., Johnson R.E. Risk factors for plantar fasciitis: a matched case-control study // J Bone Joint Surg Am., 2003, vol. 85, pp. 872-877.
  15. Shmokler R.L., Bravo A.A., Lynch F.R., Newman L.M. A new use of instrumentation in fluoroscopy controlled heel spur surgery // J. Am Podiatr Med Assoc., 1988, vol. 78, pp. 194-197.
  16. Tanz S.S. Heel pain // Clin Orthop Relat Res., 1963, no. 28, pp. 169-178.
  17. Thomas J.L., Christensen J.C., Kravitz S.R., et al. The diagnosis and treatment of heel pain: a clinical practice guideline-revision 2010 // J Foot Ankle Surg., 2010, vol. 49, no. 3, pp. 1-19.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Муратова Аху Мюджян Явуз**, докторант, врач-физиотерапевт

*Азербайджанская Государственная Академия Физической культуры и Спорта*

*ул. М.Ф. Хойского, 34, г. Баку, AZ1110, Азербайджан*

*ahu.mujgan1990@gmail.com*

**Козлов Василий Владимирович**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения имени Н.А. Семашко

*Первый Московский государственный медицинский университет  
имени И.М. Сеченова  
ул. Трубецкая, 8, стр. 2, г. Москва, 119991, Российская Федерация  
kvv.doc@gmail.com*

#### **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Akhu Myuzhgyan Yavuz Muradova**, PhD student of Azerbaijan State Academy of Physical Education and Sport, physiotherapist  
*Azerbaijan State Academy of Physical Education and Sport  
34 M.F. Khoisky Str., Baku, AZ1110, Azerbaijan  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1107-4112>  
ResearcherID: HOI-0280-2023*

**Vasily V. Kozlov**, Candidate of Medical Science, Associate Professor of the Public Health and Health Care Organization Department named after N.A. Semashko  
*I.M. Sechenov First Moscow State Medical University  
8-2, Trubetskaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation  
kvv.doc@gmail.com  
SPIN-code: 7703-0013  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2389-3820>  
Researcher ID: B-2647-2017  
Scopus Author ID: 57191536076*

Поступила 12.05.2023

После рецензирования 19.06.2023

Принята 25.06.2023

Received 12.05.2023

Revised 19.06.2023

Accepted 25.06.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1069

УДК 614.2



Научная статья | Организация здравоохранения

## ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНЯТИЙ ШКОЛЫ ЗДОРОВЬЯ ДЛЯ ФТИЗИОПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ (ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОГО КОМПЛЕКСА)

*И.Ю. Худонов, В.Т. Чубарян,  
Л.А. Якименко, Е.В. Шевченко*

**Цель** – исследовать диагностические морфофункциональные возможности сердечно-легочного комплекса для электрокардиографической оценки эффективности занятий школы здоровья (ШЗ) фтизиопульмонологических пациентов-мужчин с множественной/широкой лекарственной устойчивостью *Mycobacterium Tuberculosis* (МЛУ ШЛУ МБТ).

**Материалы и методы.** 74 мужчин-пациентов Ростовского Областного клинического центра фтизиопульмонологии (ГБУ РО «ОКЦФП») приняли участие в исследовании после подписания добровольного информированного согласия. Возраст пациентов находился в пределах от 26 до 67 лет. Исследование проводилось в 2018 г. 40 пациентов (основная группа) приняли участие в работе ШЗ и посетили от 1 до 6 занятий из 10. Интервал между занятиями составлял 7 дней. 34 пациента в работе ШЗ участия не принимали и составили контрольную группу. Медицинская эффективность ШЗ оценивалась по разнице углов альфа электрических осей предсердий, желудочков и сердца в целом до занятия (при поступлении в стационар) и после занятий (перед выпиской).

**Результаты и обсуждение.** Значимые корреляционные связи ( $p < 0,05$ ) были установлены между кратностью посещений ШЗ пациентами с МЛУ ШЛУ МБТ и показателями: «Угол альфа отклонения электрической оси желудочков (в градусах)» =  $-0,461$ ; «Угол альфа отклонения электрической оси сердца (в градусах)» =  $-0,408$ .

**Заключение.** Позитивная динамика электрокардиографических векторов позволяет рассматривать сердечно-лёгочный комплекс как универсальную

индикаторную систему, отражающую морфофункциональные и клинические изменения состояния фтизиопульмонологических пациентов в результате информационно-когнитивных воздействий.

**Ключевые слова:** школа здоровья; морфофункциональные особенности; сердечно-легочный комплекс; индикаторная система; электрокардиограмма

**Для цитирования.** Худоногов И.Ю., Чубарян В.Т., Якименко Л.А., Шевченко Е.В. Электрокардиографическая оценка эффективности занятий школы здоровья для фтизиопульмонологических пациентов (диагностические морфофункциональные возможности сердечно-легочного комплекса) // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 317-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1069

Original article | Health Care Organization

## ELECTROCARDIOGRAPHIC EVALUATION OF HEALTH SCHOOL FOR PHTHISIO-PULMONOLOGICAL PATIENTS EFFICIENCY (THE CARDIO-LUNG COMPLEX AS BASE OF MORPHOFUNCTIONAL DIAGNOSTIC)

*I.Yu. Khudonogov, V.T. Chubaryan,  
L.A. Yakimenko, E.V. Shevchenko*

**Purpose** – to investigate the diagnostic morphofunctional capabilities of the cardiopulmonary complex for electrocardiographic evaluation of the health school (HS) classes for phthisiopulmonological male patients MDR XDR MBT effectiveness.

**Materials and methods.** 74 male patients of the Rostov Regional Clinical Center for Phthisiopulmonology took part in the study after signing a voluntary informed consent. The age of the patients ranged from 26 to 67 years. The study was conducted in 2018. 40 patients (the main group) took part in the HS and attended from 1 to 6 classes out of 10. The interval between classes was 7 days. 34 patients did not participate in the work of the HS and made up the control group. The medical effectiveness of HS was assessed by the difference in the angles of the alpha electrical axes of the atria, ventricles and the heart as a whole before classes (on admission to the hospital) and after classes (before discharge).

**Results and discussion.** Significant correlations ( $p < 0.05$ ) were established between the frequency of visits to HS by patients with MDR XDR MBT and the following indicators: “Angle alpha deviation of the electrical axis of the ventricles (in degrees)” = -0.461; “Angle alpha deviation of the electrical axis of the heart (in degrees)” = -0.408.

**Conclusion.** The positive dynamics of electrocardiographic vectors allows us to consider the cardiopulmonary complex as a universal indicator system that reflects morphofunctional and clinical changes in the state of phthisiopulmonological patients as a result of informational and cognitive influences.

**Keywords:** health school; morphofunctional features; cardiopulmonary complex; indicator system; electrocardiogram

**For citation.** Khudonogov I. Yu., Chubaryan V.T., Yakimenko L.A., Shevchenko E.V. Electrocardiographic Evaluation of Health School for Phthiisio-Pulmonological Patients Efficiency (the Cardiolung Complex as Base of Morphofunctional Diagnostic). *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 317-336. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1069

## Введение

В соответствии с многочисленными исследованиями отечественных [1, 2] и зарубежных авторов [3, 4, 5] известно, что наряду со стабильной социально-экономической ситуацией в обществе большое значение для фтизиопульмонологических пациентов имеет активная реабилитационная и профилактическая работа, которая обеспечивает достижение заметного клинического эффекта благодаря систематическим занятиям, включающим определенный образовательный компонент и соответствующие физические упражнения.

В соответствии с рабочей гипотезой усвоение пациентами медицинской информации, формирующей наглядные образы правильно устроенных и нормально функционирующих органических структур (прежде всего сердца и легких), способствует не только моделированию их в сознании, но помогает восстанавливать их целостность и на периферии, т.е. снизить уровень заболеваемости и повысить уровень здоровья [6, 7]. Однако подтвердить подобные пошаговые изменения методами рентгенодиагностики не представлялось возможным, прежде всего по причине того, что пациенты с МЛУ ШЛУ МБТ отличаются персистентным характером клинической картины, кроме того, доза возможного экспериментального облучения при суммировании с дозой плановых обследований может превысить допустимые нормы. При этом из смежных областей медици-

ны известно, что во II и III триместрах беременности сердце смещается под воздействием увеличивающейся матки, что проявляется поворотом электрической оси сердца (ЭОС) влево во фронтальной плоскости. Перед родами же матка опускается и перестает давить на органы брюшной и грудной полости, в том числе на диафрагму, что сопровождается отклонением ЭОС вправо [8]. Состояние после новой коронавирусной инфекции (U09.9, МКБ-10) характеризуется поражением легочной ткани, которая находится в непосредственном соприкосновении с перикардом и также значительно изменяет положение ЭОС [9]. Кроме собственно ЭОС в диагностических целях целесообразно использовать определение положения электрических осей предсердий и желудочков, которые в норме имеют стабильную пространственную ориентацию у здоровых взрослых и детей школьного возраста [10]. Вместе с тем, сочетания патологии сердечной и легочной ткани, особенно во фтизиатрической практике, характеризуются наличием значительного количества вариантов локализации очагов обсеменения, инфильтрации или распада, каждый из которых меняет citoархитектонику грудной полости особым неповторимым образом, что снижает эффективность рентгенологического способа динамической диагностики и повышает радиационную нагрузку на организм пациентов при многократном изменении проекций. В указанном контексте взаимное расположение электрических осей предсердий, желудочков и сердца как единого целого, результирующие разнонаправленные воздействия на миокард со стороны легочной ткани, в особенности их электрокардиографическое (ЭКГ) отображение на фоне занятий в ШЗ, могут рассматриваться как интегративные характеристики процесса восстановления (или утраты) здоровья, индикативный потенциал которых исследован недостаточно. Рабочая гипотеза также предполагала, что существует нормальное для взрослых здоровых мужчин пространственное расположение ЭОС, равное  $50^\circ$ , которое полностью совпадает с анатомической осью сердца (АОС) и характеризует не только нормальную электрическую проводимость миокарда, но и интактную легочную ткань. При этом любое смещение ЭОС (АОС) как вправо, так и влево во фронтальной плоскости обусловлено возникновением патологического процесса не только в миокарде, но и/или в соответствующих участках легких. У фтизиопульмонологических пациентов чаще всего АОС и ЭОС смещаются вправо к вертикальному положению, что обусловлено инфильтративно-воспалительными изменениями в левом легком, или фиброзированием каверн в правом легком (рис. 1, 2).

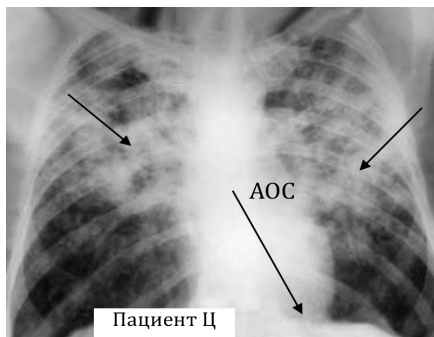


Рисунок 1. Правостороннее смещение АОС при подостром диссеминированном туберкулезе обоих легких

Figure 1. Right-sided displacement of the heart anatomical axis in subacute both lungs disseminated tuberculosis

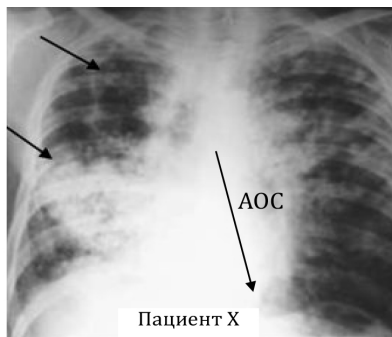


Рисунок 2. Правостороннее смещение АОС при фиброзно-кавернозном туберкулезе правого легкого осложненного казеозной пневмонией справа

Figure 2. Right-sided displacement of the heart anatomical axis in fibrous-cavernous tuberculosis of the right lung complicated by caseous pneumonia on the right

Однако возможно и обратное смещение к горизонтальному положению (т.е. влево), когда имеет место интенсивная правосторонняя инфильтрация, или ассиметричное диссеминированное воспаление преимущественно правого легкого (рис. 3, 4).

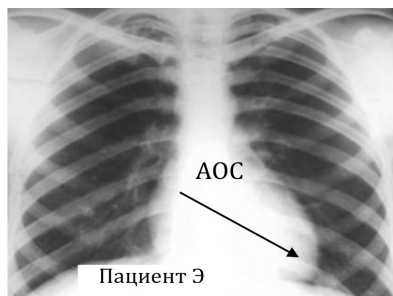


Рисунок 3. Очаговый туберкулез S1 правого легкого в фазе инфильтрации. Очаг Гона в нижних отделах правого легкого

Figure 3. Focal S1 tuberculosis of the right lung in the infiltration phase. Gon's focus in the lower parts of the right lung

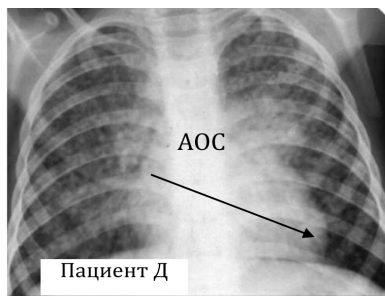


Рисунок 4. Диссеминированный туберкулез легких

Figure 4. Disseminated pulmonary tuberculosis



При этом отклонение от норы будет тем больше, чем более обширными и клинически значимыми будут очаги поражения. Справедливо и обратное высказывание – чем ближе ЭОС к нормальному положению – тем успешнее идет процесс выздоровления.

Вышесказанное определило **цель** нашей работы: исследовать диагностические морфофункциональные возможности сердечно-легочного комплекса для электрокардиографической оценки эффективности занятий ШЗ фтизиопульмонологических пациентов-мужчин с МЛУ ШЛУ МБТ.

Достижение цели исследования предполагало решение задач, связанных с объективной оценкой кумулятивного ЭКГ эффекта, вызванного различной локализацией основного патологического процесса в легких, его характером и динамикой, а также определением ЭКГ особенностей реагирования организма пациентов с МЛУ ШЛУ МБТ на социально-психологическую коррекцию (СПК), проводимую в ходе занятий ШЗ. Вместе с тем, работа предполагала обеспечить повышение значимости метода ЭКГ, т.е. использование её не только в качестве индикатора возможных кардиологических осложнений базовой химеотерапии, но и как относительно безопасного и недорогогостоящего динамического инструмента объективной оценки выраженности клинического эффекта СПК.

### **Материал и методы**

74 пациента-мужчины ГБУ РО «ОКЦФП» приняли участие в исследовании после подписания добровольного информированного согласия. Возраст пациентов находился в пределах от 26 до 67 лет. Исследование проводилось в 2018г. 40 пациентов (основная группа) приняли участие в работе ШЗ и посетили от 1 до 6 занятий из 10. Интервал между занятиями составлял 7 дней. 34 пациента в работе ШЗ участия не принимали и сформировали контрольную группу. Возраст основной группы характеризовался значением  $Me=38$  лет [LQ 26; UQ 67], в контрольной группе  $Me=41$  год [LQ 34; UQ 66], параметры Скоса и Экссесса в группах оказались меньше критических табличных значений. Применение непараметрических критериев U-теста Манна-Уитни проверки нулевой гипотезы о разнородности групп показало её несостоятельность:  $p=0,4269$  при  $p(x \leq Z)=0,2134$ . Другими словами, разница между случайно выбранным значением возраста в группе 1 и группе 2 недостаточно велика, чтобы быть статистически значимой. Также не было выявлено значимых различий в частоте встречаемости клинических форм туберкулеза и сопутствующих заболеваний, параметрах функционального состояния сердца и легких, статусе курения

(все участники эксперимента курили), базовых режимах фармакотерапии [11]. Для проверки рабочей гипотезы всем участникам экспериментальной группы в рамках занятий ШЗ была предоставлена возможность нормализовать психосоматическое состояние, достичь устойчивых морфофункциональных изменений и позитивизации клинической динамики на основе конструктивных мыслительных действий. Пациентам, посещавшим занятия ШЗ, проводилась рациональная психокоррекция, не связанная с ярко выраженными изменениями эмоционального фона, основанная на методе психотерапии, предложенном Полем Дюбуа для лечения психических расстройств путем разъяснения сути вещей (простейших понятий) и построения (из них) в сознании пациента логических конструкций [12, 13, 14], основное информационно-когнитивное воздействие проводилось в конференц-зале, лектор произносил учебный текст и синхронно менял соответствующие изображения, получаемые при помощи проектора на стандартном экране и позволяющие наглядно представить себе объект управления (систему органов, отдельный орган, ткань и т.д.). Лекции продолжались 40-60 мин – 1 раз в неделю в течение 10 недель, в ходе каждой лекции чередовались психотерапевтические (информационно-когнитивные) воздействия, формирующие в мозге идеальный образ моделируемого объекта (нормального, здорового органа или системы органов), и психофизические упражнения, проводимые с пациентами при минимальной физической нагрузке при их выполнении. Контроль адекватности нагрузки осуществлялся по индивидуальному самочувствию каждого пациента. Пациенты обучались ощущать рефлексорный эффект каждого упражнения, устанавливать управленческие коммуникации и обратную связь с моделируемым объектом посредством отраженных сигналов от собственных рецепторов. Каждая новая лекция включала новые объекты управления (части тела, органы и т.д.), уточняла их локализацию на основе использования следующих типов рецепторов: 1) экстерорецепторы (расположенные в коже, слизистых оболочках и органах чувств); 2) интерорецепторы (расположенные в сосудах, тканях и органах); 3) проприорецепторы (расположенные в мышцах, сухожилиях, связках, фасциях, надкостнице и суставных капсулах). Когнитивная часть занятий ШЗ начиналась с демонстрации базовых понятий, которые были в последствии использованы на каждой лекции («рецептор», «эффектор», «фермент», «субстрат», «рефлекс», «тонус», «мотивация», «управленческий цикл», «норма», «табу» и др.). Проведение групповых занятий включало непродолжительные дискуссии, дополнялось проведением индивидуальных бесед с отдельными

пациентами, ролевые тренинги с применением методов психотерапии, психофизические занятия пациентов по отработке навыков осознанной рецепции и дифференцирования получаемой от собственного организма информации с последующим ее использованием для саморегулирования объекта управления (системы органов, отдельного органа, ткани (части органа) и т.д.). Завершались психотерапевтические сеансы информационным блоком, посвященным обучению пациентов самостоятельному проведению психофизических занятий в период между лекциями (7 дней) и после выписки. Рекомендации содержали: описание методов релаксации и условно-рефлекторного подкрепления позитивного отношения к занятиям, связанного с расширением круга общения и получением новой актуальной информации; навыки использования зрительных образов актуального объекта управления, сформированных в ходе демонстрации презентации, и наполнения их реальными ощущениями, поступающими от всех соответствующих рецепторов в режиме онлайн; умения сочетать рецепторные взаимодействия с прямыми повелительными командами в адрес объекта управления, произносимые как вслух, так и «про себя». Самостоятельные психофизические занятия пациентам рекомендовалось выполнять в палате в позе «лежа на спине». Особое внимание уделялось выполнению дыхательных психофизических упражнений, направленных на релаксацию мышц грудной клетки и диафрагмы. Участники эксперимента концентрировались на выполнении медленного вдоха и выдоха с участием мышц живота и постепенным продлением комфортной паузы между противоположными фазами экскурсии легких с использованием методик медитации, позволяющей «услышать» неразличимые в обычном состоянии сигналы от экстерорецепторов, интерорецепторов и проприорецепторов. Элементы аутогенной тренировки позволяли пациентам сосредоточиться на позитивном образе будущего (ПОБ) для конкретной ткани, органа или системы органов. Формирование ПОБ для каждого объекта управления облегчалось благодаря демонстрации в ходе лекции на экране структуры и функций различных частей здорового человеческого организма. Кроме того, тематический план занятий ШЗ включал основные медицинские понятия рациональной самосохранительной психотерапии, самосохранительные компоненты основных мировых религий, основы здорового образа жизни, нравственность и здоровье, смысл жизни человека, особое внимание уделялось сердцу. Пациенты были ознакомлены с представлениями древних врачей о кровеносной системе, о методах управления сердечной деятельностью, о нервной системе – её воз-

никновении, развитии, структуре, функциях; о пищеварительной системе, о регионарной системе лимфооттока; о системе иммунитета; о легких; о мочеполовой системе. Также в ходе занятий были обсуждены инфекции, передаваемые половым путем, меры их профилактики, актуальные данные о ВИЧ-инфекции и СПИДе, изучены меры профилактики ВИЧ-инфекции, алкоголизма, наркомании, табакокурения, особенности жизнедеятельности лиц пожилого и старческого возраста, самосохранительные ритуалы, организация стиля жизни, труда, отдыха и быта пациентов, в том числе достижения психологического комфорта и концептуальной осмысленности существования, отрабатывалась первая рефлексотерапевтическая помощь при неотложных состояниях (инфаркт миокарда, инсульт, приступ бронхиальной астмы), профилактика бронхитов, пневмоний, туберкулеза, сахарного диабета, мочекаменной болезни и др.

Медицинская эффективность ШЗ оценивалась по величине градиента угла альфа ЭОС ( $\Delta@QRS^\circ$ ), равного разнице величин зубцов QRS ( $@QRS_{\text{исход}}$ ) до занятий (при поступлении в стационар) и после занятий (перед выпиской) ( $@QRS_{\text{оконч}}$ ). Кроме того, анализировалась динамика изменения угла альфа электрической оси предсердий ( $@P$ ) и желудочков ( $@T$ ). Технически запись ЭКГ проводилась при стандартном положении пациента – лежа на спине, в стандартных отведениях – с помощью отечественного аппарата «ЭК 12Т-01-“РД”», выпущенного в г. Ростове-на-Дону (изготовитель ООО «НПП «Монитор»). Угол альфа электрической оси сердца ( $@QRS$ ), предсердий ( $@P$ ) и желудочков ( $@T$ ) определялся аппаратом автоматически в диапазоне от  $-180^\circ$  до  $+180^\circ$  с погрешностью вычисления  $\pm 1^\circ$ . Величина градиента угла альфа электрической оси сердца  $\Delta@QRS$  рассчитывалась по формуле (1):

$$\Delta@QRS^\circ = @QRS_{\text{оконч}}^\circ - @QRS_{\text{исход}}^\circ \quad (1).$$

Дальнейшее исследование потребовало расчета эмпирического референтного значения (РЗ)  $\Delta@QRS$ , соответствующего экспериментальным данным, отражающим ЭКГ реакцию на СПК (на каждое отдельное занятие ШЗ) основной группы наблюдения [15].

Количественная оценка клинической эффективности СПК выражалась посредством коэффициента  $k_e$ , который рассчитывался по величине изменения угла альфа ЭОС ( $\Delta@QRS$ ), отнесенного к его РЗ, равному  $7^\circ$  [15], и прибавляемого к 1 в случае значения  $@QRS_{\text{исход}}$  больше  $50^\circ$  и отнимаемого от 1 в случае, если значение  $@QRS_{\text{исход}}$  было меньше  $50^\circ$ , что выражено в формулах (2,3):

$$k_e = 1 + (\Delta@QRS^\circ / 7,48^\circ) \quad \text{при } @QRS_{\text{исход}}^\circ > 50^\circ \quad (2),$$

$$k_e = 1 - (\Delta @QRS^\circ / 7,48^\circ) \quad \text{при } @QRS^\circ_{\text{исход.}} < 50^\circ \quad (3),$$

где  $@QRS^\circ_{\text{оконч.}}$  – угол альфа электрической оси сердца перед выпиской из стационара, в град.;

$@QRS^\circ_{\text{исход.}}$  – угол альфа электрической оси сердца при поступлении в стационар, в град.;

$k_e$  – коэффициент клинической эффективности.

При значении  $k_e > 1$  клинический результат СПК пациентов с МЛЮ ШЛУ МБТ свидетельствовал о положительной клинической динамике, при значении  $k_e < 1$  клинический результат гипотетически мог свидетельствовать об отрицательной клинической динамике, значение  $k_e = 1$  свидетельствовало об отсутствии клинического эффекта.

Статистическая обработка результатов выполнялась с помощью приложения Microsoft Excel (Microsoft Office 2016 MSO версия 16.6.10223.20104). Рассчитывалась ошибка представительности (s) для коэффициента ранговой корреляции (КРК) Спирмена, относительных и средних величин (m). Для определения достоверности сравниваемых относительных величин использовался критерий Стьюдента (t). Результаты вычислений, вероятность ошибки которых превышала критическую величину ( $p = 0,05$ ), рассматривались как подтверждение нулевой гипотезы об отсутствии связи.

### Результаты исследования

Вся когорта участников исследования получала химеотерапию, соответствующую стандартным режимам, которые не менялись в течение медико-социального эксперимента. По данным выписных эпикризов группа «1+» (принимавшая участие в работе ШЗ) достигла более высокого клинического результата [15].

Необходимо отметить, что данные, полученные в ходе групповых занятий ШЗ, подтвердили гипотезу о наличии связи между степенью приверженности к занятиям и величиной угла альфа ЭОС, т.е. динамика клинической картины значимо соответствовала динамике электрокардиографической картины и динамике приращения учебной нагрузки в часах. Пространственный анализ доступных ЭКГ параметров когорты (@P, @T и @QRS) после прохождения курса занятий в ШЗ, выполненный при помощи КРК с кратностью посещений, позволил утверждать, что связи средней силы характерны динамике вращения желудочков и сердца в целом при том, что предсердия смещались не значимо и в противоположную сторону (табл. 1).

Таблица 1.

**Характеристика корреляционных связей между кратностью посещений ШЗ пациентами с МЛУ ШЛУ МБТ и величинами отклонений основных ЭКГ векторов**

Параметр	КРК (r)	p
Угол альфа отклонения электрической оси предсердий (в градусах)	+0,212	>0,05
Угол альфа отклонения электрической оси желудочков (в градусах)	-0,461	<0,05
Угол альфа отклонения электрической оси сердца (в градусах)	-0,408	<0,05

Таблица 2.

**Отдельные характеристики представителей основной и контрольной групп**

Пациент Отдельные характеристики единиц наблюдения	С (основная группа)		Н (контрольная группа)		Э (основная группа)	
	Поступил	21.02.2018		28.02.2018		17.01.2018
Выписан		23.05.2018		30.05.2018		15.06.2018
Режим химеотерапии	V		V		V	
Группа диспансерного учета	2А		2А		2А	
Возраст (полных лет)	37	37	34	34	26	26
Рост (см)	178	178	174	174	173	173
Масса тела (кг)	61	61	62	62	50	60
Систолическое давление (мм. рт.ст.)	120	110	115	115	110	120
Диастолическое давление (мм. рт.ст.)	80	85	75	80	70	80
Прослушал лекций в часах	2		0		5	
@QRS (град.) <sub>исхол.</sub> – @QRS(град.) <sub>окин</sub>	93	79	96	96	29	34
$\Delta$ @QRS(град.)	14		0		-5	
$k_e$	3,00		1,00		1,71	

При этом несмотря на то, что в основной группе преобладала тенденция к смещению ЭОС влево к медианному значению коридора здоровья – возрастной нормы для мужчин по мере роста приверженности занятиям в ШЗ, имел место случай противоположно направленной динамики – пациент Э (табл. 2).

Клиническое объяснение указанного случая было связано со специфическим поражением правого легкого, которое изначально приводило почти к горизонтальному положению АОС (рис. 4).

Из табл. 2 видно, что при равных прочих условиях определяющую роль для оценки клинической эффективности СПК играет исходный  $@QRS(-град.)_{исход.}$ , который в зависимости от каждого конкретного случая туберкулеза легких, локализации инфильтратов или очагов распада, сдвигающих сердце, может находиться как выше-правее, так и ниже-левее нормального своего положения [16].

Количественный анализ пространственного расположения векторов электрической активности (ВЭА) предсердий, желудочков и сердца в целом, измеренных с помощью аппарата «ЭК 12Т-01-“РД”» в основной и контрольной группах, включал подсчет количества случаев, скалярные величины которых превышали верхнюю границу нормы (ВГН), равную  $70^\circ$ . Далее определялся удельный вес ВЭА, превышающих ВГН, в соответствующей группе (табл. 3).

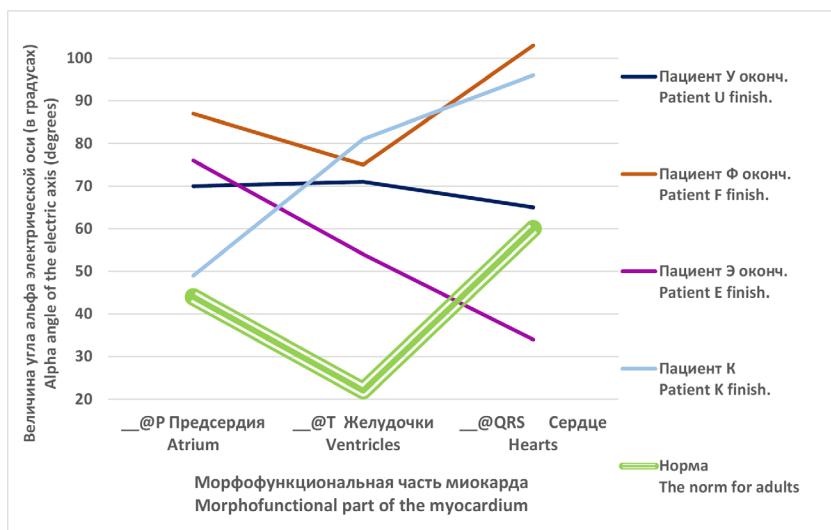
Таблица 3.

**Удельный вес всех случаев превышения верхней границы нормы со стороны ВЭА предсердий, желудочков и сердца в целом по отношению к общему количеству случаев измерения всех ВЭА (в %)**

Группы наблюдения	Данные при поступлении		Данные при выписке		Критерий Стьюдента t
	P	$\pm m$	P	$\pm m$	
Основная (n=40)	88,46	5,05	68,75	7,33	2,21
Контрольная (n=34)	89,74	5,13	76,04	7,21	1,55

Кроме количественных характеристик ВЭА большой интерес представляли и пространственные конфигурации ВЭА, которые были подвергнуты процедуре типирования как в контрольной, так и в основной группах вне зависимости от объема знаний, полученных в ШЗ, и амплитуды сдвигов ВЭА. Иными словами, окончательные результаты измерения соответствующих углов перед выпиской, определенные вне зависимости от уровня учебной нагрузки, были классифицированы и разделены

на 4 основных типа (рис. 5), отражающих пространственные искривления ВЭА предсердий, желудочков и сердца в целом, характеризующие анатомические искривления соответствующих осей.



**Рис. 5.** Индивидуальные типичные пространственные соотношения электрических и анатомических осей предсердий, желудочков и сердца в целом у пациентов с МЛУ ШЛУ МБТ [9]

**Figure 5.** Individual typical spatial relationships of the electrical and anatomical axes of the atria, ventricles and the heart as a whole in patients with MDR XDR MBT [9]

Так, первый тип характеризовался V-образным графиком, где минимальный угол соответствовал электрической оси желудочков (пациент Ф). Второй, третий и четвертый типы были отнесены к линейным графикам и отличались тем, что у пациента К отмечалось последовательное восхождение угловых величин, пациент У имел практически равные величины измеренных углов, а у пациента Э график был нисходящим. Интерпретация динамики пространственного расположения основных ВЭА позволила установить, что при V-образном графике расположения ВЭА наибольшую чувствительность к занятиям в ШЗ имеет ВЭА желудочков, а при линейном графике сильнее всего смещаются предсердия и ЭОС в целом. Значительный диагностический и прогностический интерес представляет сопоставление скалярных значений ВЭА, которое может рассматриваться как коэффициент пространственной деформации миокарда  $k_d$ , представ-



ляющий из себя сумму взятых по модулю взаимных разниц электрических осей предсердий, желудочков и сердца в целом согласно формуле:

$$k_d = |@QRS^\circ - @P^\circ| + |@P^\circ - @T^\circ| + |@T^\circ - @QRS^\circ| \quad (4),$$

где  $k_d$  – коэффициент пространственной деформации миокарда;

@QRS<sup>°</sup> – угол ЭОС;

@P<sup>°</sup> – угол электрической оси предсердий;

@T<sup>°</sup> – угол электрической оси желудочков.

При этом нормальное значение  $k_d$ , не было отмечено ни у одного пациента как в основной, так и в контрольной группах (табл. 4).

Таблица 4.

**Скалярная характеристика пространственной деформации миокарда отдельных фтизиопульмонологических пациентов с МЛУ ШЛУ МБТ и здоровых взрослых (отсортировано по увеличению  $k_d$ )**

Пациент	$k_d$
Пациент У оконч. Patient U finish.	12
Пациент Ф оконч. Patient F finish.	56
<b>Норма The norm for adults</b>	<b>76</b>
Пациент Э оконч. Patient E finish.	84
Пациент К оконч. Patient K finish.	94

### Заключение

Позитивная динамика электрокардиографических векторов позволяет рассматривать сердечно-лёгочный комплекс как интегральную индикаторную систему, отражающую клиническую и морфофункциональную динамику состояния фтизиопульмонологических пациентов, а также объем соответствующих информационно-когнитивных воздействий. При помощи методики интегральной ЭКГ оценки состояния пациентов было показано, что клиническая эффективность СПК будет тем выше, чем на большую величину @QRS<sup>°</sup><sub>оконч.</sub> сдвинется к своему нормальному положению в 50°. Иными словами, положение сердца, зафиксированное на ЭКГ после занятий в ШЗ при выписке, будет количественно характеризовать состояние окружающей легочной ткани, т.е. клинический результат.

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

### Список литературы

1. Алексо Е. Н. Воспитание у студентов патриотизма и ответственности за собственное здоровье на занятиях по фтизиопульмонологии / Е. Н. Алексо,

- О. Е. Русских // Актуальные вопросы современного медицинского образования: совершенствование подготовки медицинских кадров: Материалы III научно-практической международной конференции, Ижевск, 25-26 ноября 2022 года. Ижевск: Ижевская государственная медицинская академия, 2022. С. 99-102.
2. Лебедев, Ю. И. Интеграция проблемно ориентированного и проектноориентированного обучения фтизиатрии на основе современной парадигмы патогенеза туберкулеза / Ю. И. Лебедев, С. Н. Новикова, И. Ю. Лебедев // Современные вызовы для медицинского образования и их решения: Сборник трудов по материалам Всероссийской учебно-методической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Н.Ф. Крутько и Году педагога и наставника. В 2-х томах, Курск, 02 февраля 2023 года / Под редакцией В.А. Лазаренко. Том 1. Курск: Курский государственный медицинский университет, 2023. С. 334-336.
  3. Bolton C.E., Bevan-Smith E.F., Blakey J.D., et al. British Thoracic Society Pulmonary Rehabilitation Guideline Development Group; British Thoracic Society Standards of Care Committee. British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults // *Thorax*. 2013. Vol. 68 Suppl 2, pp. ii1-30. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-203808>
  4. Сартаева Г. Ш. Фтизиопульмонология балалар оңалту орталығында жоғары қауіп-қатер тобындағы балаларды сауықтыру нәтижелері / Г. Ш. Сартаева, А. А. Рахышева, М. А. Абланова // *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2020. № 3. Р. 128-133.
  5. Алексю Е. Н. Влияние ковид-пандемии на преподавание фтизиопульмонологии в Гродненском государственном медицинском университете // Актуальные проблемы медицины: Сборник материалов итоговой научно-практической конференции, Гродно, 27 января 2022 года / Отв. редактор С.Б. Вольф. Гродно: Гродненский государственный медицинский университет, 2022. С. 12-15.
  6. Элланский Ю. Г. Структурированность представлений о строении и функциях человеческого организма как инструмент управления общественным здоровьем / Ю. Г. Элланский, И. Ю. Худоногов, Т. В. Данилевская // *В мире научных открытий*. 2016. № 3(75). С. 85-100. <https://doi.org/10.12731/wsd-2016-3-7>
  7. Балльно-рейтинговая система (БРС) оценки медицинской эффективности школы здоровья (на примере пациентов с множественной лекарственной устойчивостью *Mycobacterium tuberculosis*) / В. Т. Чубарян, Г. И. Саенко, И. Ю. Худоногов, Э. А. Пустошилова // *Siberian Journal of Life Sciences and*

- Agriculture. 2020. Т. 12. № 3. С. 55-69. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-3-55-69>.
8. Akinwusi P., Oboro V., Adebayo R. et al. Cardiovascular and electrocardiographic changes in Nigerians with a normal pregnancy // *Cardiovasc J Afr.* 2011. Vol. 22 (2). P. 71-75. <https://doi.org/10.5830/cvja-2010-043>
  9. Изменения электрической оси сердца и нарушения липидного обмена как возможные маркеры поражения сердечно-сосудистой системы у пациентов, перенесших COVID-19 / Н. Т. Мирзоев, Г. Г. Кутелев, В. В. Иванов [и др.] // *Доктор.Ру.* 2023. Т. 22, № 2. С. 15-20. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2023-22-2-15-20>
  10. Основные особенности нормальной ЭКГ у детей / В. С. Задионченко, Г. Г. Шехян, А. М. Щикота, А. А. Ялымов // *Медицинский совет.* 2013. № 2-3. С. 19-27.
  11. Калькулятор теста Манна-Уитни U (ранговая сумма Уилкоксона) [Mann Whitney U test calculator (Wilcoxon rank-sum)]. URL: [https://www.statskingdom.com/170median\\_mann\\_whitney.html](https://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html) (дата обращения: 28.06.2023).
  12. Дюбуа П. О психотерапии / Р. Dubois; [Предисл.: О. Фельцман]. Москва: Наука, 1911. VI, 131 с. (Психотерапевтическая библиотека / Под ред. д-ров Н. Е. Осипова и О. Б. Фельцмана; Вып. 2).
  13. Дюбуа П. О влиянии духа на тело: Публ. лекция / П. Дюбуа, проф. Бернун-та; Авториз. пер. Л. Б. Хавкиной-Гамбургер. Санкт-Петербург: тип. Б. М. Вольфа, 1911. 42 с.
  14. Дюбуа П. Воображение как причина болезни / Prof. dr. P. Dubois; Авториз. пер. д-ра М. Б. Шапиро; [Предисл.: О. Фельцман]. Москва: Наука, 1912. 76 с.
  15. Клинические и лабораторные эффекты увеличения кратности посещения Школы здоровья / А. Д. Чумаян, А. С. Иванов, И. Ю. Худоногов, Н. С. Краевская // *Кардиология в Беларуси.* 2020. Т. 12, № 5. С. 688-699. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.12.5.007>
  16. Вахненко Ю.В., Черных М.А. Основные элементы нормальной ЭКГ. Электронное методическое пособие для студентов V-VI курсов. ФГБОУ ВО АГМА Минздрава России. Благовещенск. 2019. С. 15.

### References

1. Alekso E.N., Russkikh O.E. Education of students patriotism and responsibility for their own health at classes on phthisiopulmonology. *Actual issues of modern medical education: improving the training of medical personnel: Proceedings of the III scientific and practical international conference, Izhevsk, November 25-26, 2022.* Izhevsk: Izhevsk State Medical Academy, 2022, pp. 99-102.

2. Lebedev Y.I., Novikova S.N., Lebedev I.Y. Integration of problem-oriented and project-oriented teaching of phthiophysiology on the basis of the modern paradigm of tuberculosis pathogenesis. *Modern challenges for medical education and their solutions: Proceedings of the All-Russian educational and methodological conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor N. F. Krutko and the Year of the teacher and mentor*. In 2 volumes, Kursk, February 02, 2023 / Edited by V.A. Lazarenko. Vol. 1. Kursk: Kursk State Medical University, 2023, pp. 334-336.
3. Bolton C.E., Bevan-Smith E.F., Blakey J.D., et al. British Thoracic Society Pulmonary Rehabilitation Guideline Development Group; British Thoracic Society Standards of Care Committee. British Thoracic Society guideline on pulmonary rehabilitation in adults. *Thorax*, 2013, vol. 68 suppl 2, pp. ii1-30. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2013-203808>
4. Sartaeva G.Sh., Rakhysheva A.A., Ablanova M.A. *Bulletin of the Kazakh National Medical University*, 2020, no. 3, pp. 128-133.
5. Alexo E. N. Impact of the COVID-pandemic on the teaching of phthiophysiology at Grodno State Medical University. *Actual problems of medicine: Proceedings of the final scientific-practical conference, Grodno, January 27, 2022* / Editor-in-Chief S.B. Wolf. Grodno: Grodno State Medical University, 2022, pp. 12-15.
6. Ellansky Yu.G. Structurization of ideas about the structure and functions of the human body as a tool to manage public health / Yu.G. Ellansky, I.Yu. Khudonogov, T.V. Danilevskaya. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2016, no. 3(75), pp. 85-100. <https://doi.org/10.12731/wsd-2016-3-7>
7. Score-rating system (BRS) of medical efficiency assessment of health school (on the example of patients with multidrug-resistant mycobacterium tuberculosis) / V. T. Chubaryan, G. I. Saenko, I. Yu. Khudonogov, E. A. Pustoshilova. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 55-69. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-3-55-69>
8. Akinwusi P., Oboro V., Adebayo R. et al. Cardiovascular and electrocardiographic changes in Nigerians with a normal pregnancy. *Cardiovasc J Afr.*, 2011, vol. 22 (2), pp. 71-75. <https://doi.org/10.5830/cvja-2010-043>
9. Changes in the electrical axis of the heart and lipid metabolism disorders as possible markers of cardiovascular system damage in patients who underwent COVID-19 / N. T. Mirzoev, G. G. Kutelev, V. V. Ivanov [et al.]. *Doctor.Ru*, 2023, vol. 22, no. 2, pp. 15-20. <https://doi.org/10.31550/1727-2378-2023-22-2-15-20>
10. The main features of normal ECG in children / V. S. Zadionchenko, G. G. Shekhyan, A. M. Shchikota, A. A. Yalymov. *Medical Council*, 2013, no. 2-3, pp. 19-27.

11. Mann Whitney U test calculator (Wilcoxon rank-sum). URL: [https://www.statskingdom.com/170median\\_mann\\_whitney.html](https://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html)
12. Dubois P. *On psychotherapy*. Moscow: Nauka Publ., 1911. VI, 131 p. (Psychotherapeutic library / Edited by Drs. N. E. Osipov and O. B. Feltsman; Vol. 2).
13. Dubois P. On the influence of the spirit on the body: Publ. lecture. St. Petersburg: B.M. Wolf Publ., 1911, 42 p.
14. Dubois P. *Imagination as a cause of disease*. Moscow: Nauka Publ., 1912, 76 p.
15. Clinical and laboratory effects of increasing the multiplicity of visits to the School of Health / A. D. Chumayan, A. S. Ivanov, I. Y. Khudonogov, N. S. Kraevskaya. *Cardiology in Belarus*, 2020, vol. 12, no. 5, pp. 688-699. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.12.5.007>
16. Vakhnenko Y.V., Chernykh M.A. *Basic elements of normal electrocardiography*. Electronic methodical manual for students of V-VI courses. Blagoveshchensk, 2019, p. 15.

### **ВКЛАД АВТОРОВ**

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Худоногов И.Ю.:** автор идеи, разработал основную гипотезу, читал лекции в школе здоровья.

**Чубарян В.Т.:** организационная и методическая поддержка исследования, участие в подготовке лекционного материала для занятий в школе здоровья.

**Якименко Л.А.:** статистическая и графическая обработка первичного материала, синтез выводов и практических рекомендаций.

**Шевченко Е.В.:** чтение ЭКГ, интерпретация первичного материала, подготовка литературного обзора.

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE.

### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Igor Yu. Khudonogov:** the author of the idea, developed the main hypothesis, lectured at the health school.

**Vartan T. Chubaryan:** organizational and methodological support of the research, participation in the preparation of lecture material for classes at the health school.

**Liliya A. Yakimenko:** statistical and graphic processing of primary material, synthesis of conclusions and practical recommendations.

**Evgenia V. Shevchenko:** ECG reading, interpretation of primary material, preparation of a literature review.

All authors confirm that their authorship complies with the international IC-MJE criteria.

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Худоногов Игорь Юрьевич**, к.м.н., старший преподаватель кафедры истории ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России  
Нахичеванский пер., 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация  
fux1@ya.ru

**Чубарян Варган Тарасович**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой фтизиатрии, пульмонологии и инфекционных болезней ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России  
Нахичеванский пер., 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация  
ppinf@rostgmu.ru

**Якименко Лилия Альбертовна**, старший преподаватель кафедры медицинского права, общественного здоровья и здравоохранения ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава России  
Нахичеванский пер., 29, г. Ростов-на-Дону, 344022, Российская Федерация  
yakimenko\_la@rostgmu.ru

**Шевченко Евгения Валерьевна**, врач – детский кардиолог  
ГБУ РО «Детская городская поликлиника №17 в г. Ростове-на-Дону» просп. Космонавтов, 5Б, г. Ростов-на-Дону, 344092, Российская Федерация  
dpol17@bk.ru

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Igor Yu. Khudonogov**, Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer of the Department of History

*Rostov State Medical University of the Ministry of Health of Russia  
29, Nakhichevan lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation  
fux1@ya.ru*

*SPIN-code: 8063-0786*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1781-5495>*

*Scopus Author ID 57224778837*

*ResearcherID: B-4399-2016*

**Vartan T. Chubaryan**, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Phthysiology, Pulmonology and Infectious Diseases

*Rostov State Medical University of the Ministry of Health of Russia  
29, Nakhichevan lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation  
ppinf@rostgmu.ru*

**Liliya A. Yakimenko**, Senior Lecturer of the Department of Medical Law, Public Health and Health

*Rostov State Medical University of the Ministry of Health of Russia  
29, Nakhichevan lane, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation  
yakimenko\_la@rostgmu.ru*

**Evgenia V. Shevchenko**, pediatric cardiologist

*Children's City Polyclinic No. 17 in Rostov-on-Don  
5B, prosp. Kosmonavtov, Rostov-on-Don, 344092, Russian Federation  
dpoll17@bk.ru*

Поступила 03.07.2023

После рецензирования 30.07.2023

Принята 02.08.2023

Received 03.07.2023

Revised 30.07.2023

Accepted 02.08.2023

## НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ

## SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-705

UDC 579.64



Scientific Review | Microbiology

THE INFLUENCE OF RHIZOBACTERIA  
ON SOME SECONDARY METABOLITES  
OF FERULA: A REVIEW

M.A. Nematova, S.S. Murodova

*Ferula L.* plants are of great importance in a number of fields such as agriculture, veterinary, medicine and food industry. Medicinal properties of *Ferula L.* species are explained by the variety of secondary metabolites they produce, in which the activity of root rhizobacteria occupies a special place.

This article presents the research-based analysis of some biological properties, agrotechnology, secondary metabolites (ferulin A,D; diversolid A,D,F,G; kuhistanicaol A,B,C,D,G; kuhistanol (A-H); fucanefuromarin (A-G); fucanemarin A,B; fesumtuorin (A-H); ferulagol A,B; pallidon (A-F); sinkiangenorin D and others) of the species of genus *Ferula L.*, the influence of the microbial communities (new species belonging to the genera *Porphyrobacter*, *Paracoccus* and *Amycolatopsis*, as well as *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, *Gemmatimonadet* and *Bacteroides*) living in the roots of *Ferula L.* on the synthesis of some secondary metabolites of the plant, based on scientific sources.

**Keywords:** microbiology; *Ferula*; endophytic bacterial community; rhizobacteria; secondary metabolites; terpenoid; kuhferin; ferulin; kufestrol; review

**For citation.** Nematova M.A., Murodova S.S. The Influence of Rhizobacteria on Some Secondary Metabolites of *Ferula*: A Review. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 337-360. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-705

**Introduction**

Species of the genus *Ferula L.*, which belongs to the family *Apiaceae*, are a source of biologically active substances, coumarins, ethers, flavonoids, ter-



penoids, and other natural compounds, which are the research object of many native and foreign scholars all over the world. By now, 180-185 species of *Ferula* L. have been identified on Earth, in particular, 106 species in CIS countries, 105 species in Central Asia and 48 species in Uzbekistan [8], 19 species in Jizzakh region [21].

The glue (resine, tar) obtained from the roots of many species belonging to the genus *Ferula* L. (*F. kuhistanica*, *F. foetidissima*, *F. kokanica*, *F. foetida*, *F. kopetdagensis*, *F. soongarica*, *F. persika*, *F. sumbul*, *F. kapsica*, *F. badrakema*, *F. diversivittata*, *F. varia*, *F. karatavika*, *F. gummoza*, *F. karelini*) has long been called Kovrak, Kinna, Ushturghoz, Sumbul Sassi, Kovrak, Galbanum, Spagen, and other names. This special glue was used in the treatment of spleen, kidney, stomach, liver diseases, as well as gynecological diseases; furthermore, it was applied as an appetite suppressant, joint pain reliever, diuretic medicine, against asthma, sclerosis, bronchitis, jaundice, diabetics, whooping cough, urinary and kidney pain, even to stop bleeding [62].

In recent years, due to the unplanned use of these medicinal plant resources, their reserves have decreased, and some species are under threat of complete disappearance. There is a high demand in world markets for the resin extracted from the root of the plant. It takes an average of 5 years for one seedling to produce resin.

Using the biotechnological potential of rhizobacteria, which accelerates the growth and development of plants, is one of the urgent problems in the cultivation of *ferula*.

In this research work, we aimed to study analytically the biological properties, agrotechnology, secondary metabolites, and microbial communities of the *Ferula* L. genus and the effect of rhizobacteria on plant terpenoids based on scientific articles published in authoritative databases.

### **Particular biological properties of the species belonging to the genus *Ferula* L.**

*Ferula* L. occupies a special place in the flora of the desert and mountain regions of Uzbekistan. The systematics, distribution, carpology, biology, ecology, reserves, chemical and pharmacological properties of the species of this genus were initially studied by Korovin E.P. (1947, 1951, 1959), Nikonov G.K. (1971), Nishanbaeva H. (1972), Pimenov M.G. (1977, 1983), Vinogradova V.M. (1990), Meliboev S. (1985), Saidkhodzhaev A.I. (1985), Nikolayeva. M (1948) Kurmukov A.G, Akhmedkhodzhaeva Kh.S. (1994) Safina LK. (2015) Rahmankulov. U. (1999; 2016) and many other scientists.

In recent years, scientific researches based on a number of modern approaches have been carried out in the study of the species belonging to the genus *Ferula* L.

Avalbojev O.N. studied and developed measures for their protection of the species belonging to the genus *Ferula* L., which are widespread in the Western Pamir-Aloy range and have economic value and important medicinal properties. Furthermore, recommendations on methods of propagation of *Ferula foetida* species were developed and introduced into processing practice. The current states of populations of 10 monocarp and polycarp species belonging to the genus *Ferula* L. found in the Western Pamir-Aloy range (*F. samarkandica* Korovin, *F. kuhistanica* Korovin, *F. diversivittata* Regel et Schmalh., *F. heleanae* Rakhmankulov et Melibaev, *F. foetida* (Bunge) Regel, *F. kokanica* Regel et Schmalh., *F. penninervis* Regel et Schmalh., *F. dshizakensis* Korovin, *F. ovina* (Boiss.) Boiss., *F. angrenii* Korovin) were studied, and their distributional GAT maps were developed [8].

Muqumuv I.U. et al. found the presence of 0.6% mixture of complex ethers in the above-ground part of *Ferula kuhistanica* at the beginning of vegetation, the main of which are ferutinin, ferutin and teferin, while the total amount of ethers gradually increases to 2% during the fruiting period as the plants grow [40].

Ahmedov E.T. et al. studied the composition of fatty acids in the resin of *Ferula assa-foetida* L. According to the research results, there are various types of fats in plant resine, and the main content of saturated fatty acids is 61.1%, and the amount of unsaturated fatty acids is 38.9%. Based on the results, it was noted that there is a possibility of wide use of these medicinal plant resources on an industrial scale [3]

Turginov O.T. and others analyzed endemics of the flora of Uzbekistan on the basis of samples stored in the literature and herbarium funds and found out that there are 22 species belonging to 13 genus of the *Apiaceae* family, which are endemic to the flora of Uzbekistan. Among them, 5 species belong to the *Ferula* L. genus, and they found that they make up 8.47% of the species of the genus in the flora. Analyzing the index of endemism among other Asian countries, it was found that 23 species are distributed in the flora of Turkey, 13 of which have the status of endemic, and endemics make up 56.52% of the species of the genus in the flora. In the flora of the Islamic Republic of Iran, there are 32 species of the genus, 30 of which are endemic to the region. This made up 93.75% of the species of the general category. There are 26 species distributed in the Chinese flora, 7 species are endemic and make up a quarter of the total species in the flora. Based on the results of the analysis, it was determined that the regions of Asia and the Mediterranean correspond to the centers of origin of the species of the group [69].

Khalkuzieva. M.A. studied the biology, growth, development, biomorphology of *F. tadshikorum* and *F. foetida* species, and analyzed the characteristic features of the embryonic (*se*- seeds), virginal (*r* - grass, *j* - juvenile, *im* - im-

mature, *v* - virginal) and generative periods in the ontogeny of these species. As a result of the research, it was found that *F. tadshikorum* and *F. foetida* species do not have complete ontogenesis periods, and at the same time, senile period is not observed in these species, flowering and seeding periods are very short [26].

Yusupov O.Sh. analyzed the chemical composition of *Ferula assafoetida*, which is common in Kyzylkum region, during the growing season, and scientifically substantiated the negative effect of the sap obtained from the root and stem of the plant and the grain on the body of korakul sheep. During the study, the sap of the stem and root of *Ferula assafoetida* was given to korakul sheep in 100 ml for 14 days, from the 8th day of the experiment, 150 grams of its grain was given to each sheep for 60 days, and the clinical signs of poisoning appeared on the 28th day of the experiment. Also, information about the occurrence of changes in some morphological, biochemical and immunological indicators in the blood of sheep is given [76].

Abdulmyanova L.I and others isolated 10 communities of endophytic fungi from the *Ferula foetida* plant growing in the southwestern part of Kyzylkum. When the samples were tested for antimicrobial activity and the content of growth stimulants, it was found that the antimicrobial properties of *Fusarium sambucinum* - FF59S are the highest among the selected endophytes. The growth-restricted zone for *Staphylococcus aureus* is similar to that of the antibiotic gentamicin and is found to be greater than 15 mm. When the growth promoting activity was studied, all tested endophytes were found to contain indole acetic and gibberellic acid, with the highest titers of indole acetic and gibberellic acid being *Alternaria sp.*- FF63L - 280 mcg/ml and 40 mcg/ml and *Fusarium sambucinum*-FF59S - 300 mcg/ml and 50 mcg/ml, respectively[1].

Najimitdinova N.N. studied the chemical composition of two representatives (*Ferula tatarica* Fish. ex Spreng va *Ferula soongorica* Pall. ex Spreng) of the genus *Ferula*. L and analyzed their pharmacological properties. Furthermore, a method of obtaining a drug with estrogen properties has been developed [43].

Representatives of the genus *Ferula* L have attracted the attention of many world scientists due to their high medicinal properties and wide range of pharmaceutical possibilities.

In particular, N. Hadi et al. analyzed the growth of zygotic embryos of *Ferula gummosa* Boiss. *in vitro* and noted that zygotic embryos of galbanum are not suitable for germination *in vitro*.

However, it was found that embryos formed better callus in nutrient medium containing 0,3 mg l-1 GA<sub>3</sub>, 2 mg l-1 BA and 10 mg l-1 NAA, ¼ MS (¼ macro elements MS) [15].

Mostafavi K. studied the allelopathic effect of the aqueous extract prepared from the seeds, roots and stems of *F. gummosa* Boiss at three different concentrations on the germination and seedling growth of three weeds (common amaranth, purslane and wild barley). All components significantly inhibited seed germination rate, percentage, hypocotyl and root length at the highest concentration when applied before germination. When *F. gummosa* extract was applied after germination, it had an effect on root and stem length, wet and dry weight of plants. Based on the results, it was determined that *F. gummosa* is a source of allelochemical substances, and these substances cause dormancy of *F. gummosa* seeds [40].

Hassani B. et al. for the first time succeeded in obtaining plant seedlings from *Ferula assa-foetida* through direct and indirect somatic embryogenesis. About 40-50% of the obtained somatic embryos turned into full-fledged plants. After 12 weeks, undamaged seedlings without callus phase were obtained in direct somatic embryogenesis in a hormone-free medium. During embryo induction, it was observed that the hypocotyl parts are the most on the entire seedling surface. More than 50% of cotyledon embryos formed plant seedlings and rooted [16].

Koorki Z. and others studied the high insecticidal activity of essential oils obtained from *Ferula assa-foetida* L., toxicity and anti-activity of essential oils obtained from *Achillea wilhelmsii* L. and *Ferula assa-foetida* L. against two-day-old *Aphis gossypii* larvae. Mortality rates were found to increase with increasing concentrations of essential oils and exposure time from 12 to 24 hours. When the composition of the essential oil was analyzed, (E)-1-propenyl sec-butyl disulfide (43.16%) and (Z)-1-propenyl sec-butyl disulfide (27.45%) were found in *Ferula assa-foetida* L., camphor (29.03%) and 1,8-Cineol (12.86%) were found in *Achillea wilhelmsii* L.. These compounds have insecticidal activity against various insects, and it was noted that they can be an important resource in the fight against *A. gossypii* [30].

Popova O.A. and others extracted a dry extract of *Ferula assa-foetida* L. Resin. Based on the extract, a thymogar preparation was developed. Ethers were qualitatively determined by vanillin solution in conc.  $H_2SO_4$  (1%), polysaccharides were determined using conc.  $H_2SO_4$  and phenol, coumarins were determined by TLC using the umbelliferone standard. Also, the content of thymogar, total phenolic compounds and flavonoids was quantitatively determined. Based on the results, an anti-diabetic formula was developed [52].

Azizov D.Z. and others extracted different groups of polysaccharides from the roots of *Ferula tenuisecta*, and compositions were created from their monosaccharides. It was determined that the extracted pectin substances have an esterification level of 56.25%. The activity of water-soluble polysaccharides

against gram-positive (*Staphylococcus aureus*) and gram-negative (*Escherichia coli* and *Klebsiella oxitoca* 1) and spore-forming bacteria (*Bacillus subtilis*) has been determined [9].

Rakhmanov H.S. determined the ontomorphogenesis of *Ferula tadshikorum*, an endemic of Southern Tajikistan, the ecological conditions of the environment where the species is distributed, the morphological characteristics of the species and the ontogenetic structure of its senopopulations. Phenology and reproductive biology were studied under natural growth conditions, and natural reserves of medicinal raw materials were identified. Also, the total area of ferulas distributed in the territory of Southern Tajikistan and their productivity have been determined [56].

Furthermore, the use of *Ferula* L. species in the national economy, systematics, ethers, tar, secondary metabolites and chemical composition of volatile compounds, cultivation and tar collection methods, based on scientific sources were deeply analyzed by Yaqoob U. et al. (2016), Upadhyay P.K. (2017), Sun L. et al. (2013), Mohammadhosseini M. (2019), Sood R. (2020), Shah N.C. (2019), Salam N (2019), Salehi M. (2019).

#### **Agrotechnology of the species of the genus *Ferula* L.**

During 2016-2019, Rakhmankulov U et al. studied the morphology and germination dynamics of *F. foetida* and *F. tadshikorum* seeds collected from different regions of the Republic in room conditions. According to the results of the research, it was found that the latent period of plants is more than 4 years, *F. tadshikorum* germinated 89% in the newly harvested year (2019), and 25% of the seeds stored for 4 years germinated. The germination rate of *F. foetida* was 59-12 percent, respectively. It is recommended to use freshly collected or second-year seeds for planting ferulas [55].

Avalbaev O.N. and others studied the germination of the seeds of some species of the genus *Ferula* L. found in the West Pamir-Oloy at different temperatures, by keeping them for different periods. The seeds of the studied 10 species of *Ferula* L. were collected in summer, and the seeds were stored at room temperature for 3-4 months. After that, it was grown in a Petri dish at a temperature of 0-+4°C. It has been found that harvesting freshly collected seeds at a temperature of 0 - +4 °C is also effective. Saving seeds for two years and harvesting them under snow also gave good results, and it was recommended to use this method for planting seeds of monocarpic species that do not bear fruit every year [7].

In 2018, Hamrayeva D.T. and others conducted a research on *Ferula tadshikorum* by sowing them in two variants and phenological observation was carried out in the experimental plot of the Tashkent Botanical Garden. According to the results of the experiment, the growth rate of *Ferula tadshikorum*, like

most introduced plants, was accelerated. Compared to the natural environment, *Ferula tadshikorum* grown in plantations has positive economic efficiency due to the shortening of its life cycle and the possibility of obtaining raw materials from underground bodies in a short period of time. Also, the optimal planting period for growing *Ferula tadshikorum* has been determined [27].

According to the recommendation of Khojimatov O.K, since spring comes much earlier in the southern regions of the republic, it is advisable to sow the seeds of *F. tadshikorum* in the autumn-winter period, from the beginning of November to the first ten days of December. In this case, the seeds undergo a period of natural stratification for 80-90 days. The researchers noted that in the conditions of Tashkent, after the air temperature reaches + 5°C, it is necessary to start planting, and the seedlings appear at the end of the first ten days of February or at the end of February and the beginning of March. It is also recommended to sow *F. tadshikorum* seeds in natural conditions at a depth of 2-3 cm on soils with various grass cover and on eroded, crushed and rocky slopes at a depth of 1.0-2 cm [29].

Khalkuziyeva M.A., U. Rakhmonkulov U. studied the germination of *F. tadshikorum* in soils with different composition, under natural and moisture-preserved conditions. In December, 100 plant seeds were sown separately in sandy, gray and potash-rich soils at a depth of 0.5-1.0 cm in 2 different options. According to the results, in the 1st variant of the experiment, the fertility of *F. tadshikorum* seeds in soil enriched with potassium was significantly higher than in other soils, and the fertility of seeds planted in 62% sandy soil was equal to 32%. In the 2nd version of the experiment, the seeds were harvested by providing water. The germination rate of seeds in soil enriched with potash and other organic fertilizers was 80%, and the germination rate of seeds planted in sandy soil was 26%. When the seeds of *F. tadshikorum* and *F. foetida* were planted and grown in the same soil conditions for three years in two variants, it was found that their vegetation lasts longer in agrotechnically treated and irrigated environment compared to plants grown in natural conditions [25].

Allayarov M.U. et al. developed a recommendation on the establishment of *Ferula L.* plantations. According to the research, it is recommended to sow 1 ripened and cleaned *Ferula L.* seeds in depth of 5-10 cm, and at a time of drought, in the depth of 3.5 cm, and cover the top with soil. To increase productivity, it is recommended to use 200 - 300 kg of potassium sulfate per hectare. It was determined that 5-6 kg of seeds are spent on 1 hectare of land, and on average 2500 seedlings can be grown, and after 7 years, on average, 100-125 kg of sap can be obtained from each seedling. At the same time, it is recommended to plow the field, clean it from weeds and stones, and sow selected seeds in autumn and early spring [4].

Various experiments were conducted in order to improve the fertility of the seeds of *Ferula* L. species. Cold storage of seeds followed by treatment with 6-benzylaminopurine (BAP) [48] or using cytokinin[16] kinetin[75] have been found to increase the germination of seeds. Washing seeds for 14 days and cooling at 5° C [42] has also been found to give effective results. Providing plants with mineral fertilizers during the growing season is another factor that increases productivity. In the first year, it is recommended to use 15-20 t/ha of natural fertilizers, and chemical fertilizers of 20 g N, 18 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 25 g K<sub>2</sub>O per seedling. This amount was gradually increased, and from the tenth year, 200 g N, 180 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 200 g K<sub>2</sub>O were applied per plant.[65,5].

During the period of germination, seedlings have a high need for moisture, and during the remaining periods, excess moisture in the ground can damage the roots. Reza et al (2015) recommended watering the mats once a week. The resin yield, vegetation and viability of *Asafoetida* are also related to the number of irrigations. Therefore, it is recommended that the relative humidity of the soil be 40-75%. It has been found that weeding twice a year until the seedlings are four to five years old has a positive effect on increasing its productivity [65].

#### **Secondary metabolites of plants belonging to the genus *Ferula* L.**

Many species of *Ferula* L. are known for their resins and secondary metabolites with different phytochemical properties. The derivatives of many ferula species *F. latisecta* Rech. f. & Aell., *F. gummosa* Boiss., *F. assa-fetida* L., *F. sinkiangensis* KM Shen., *F. fukanensis* K.M.Shen., *F. kuhistanica* Korovin, *F. penninervis* Rgl. et Schmalh., *F. ferulaeoides* (Steud.) Korovin, *F. badrakema* Koso.- Pol., *F. sinaica* Boiss., *F. persica* Willd. and others are the main raw materials of the pharmaceutical industry. All over the world, many scientific researchers have been conducted on the secondary metabolites produced by these plants. The main derivatives of *Ferula* species are gummosin, farnesiferol A, farnesiferol C and badrakemon, umbelliprenin [28], ferulin A, D; diversolid A,D,F,G; kuhistanicaol A,B,C,D,G; kuhistanol (A-H); fucanefuomarin (A-G); fucanemarin A,B; fesumtuorin (A-H); ferulagol A,B; pallidone (A-F); sinkingenorin D [39] and a number of other chemical compounds.

According to Swargiary G. et al., secondary metabolites are chemicals produced by plants that are not directly important for plant growth. These compounds are usually produced by fungi, bacteria and other microorganisms. Although secondary metabolites are found in almost all plants, they are seasonal. Because they are synthesized only in selected special cells and at a certain stage of growth. Secondary metabolites are divided into certain groups (Table 1).

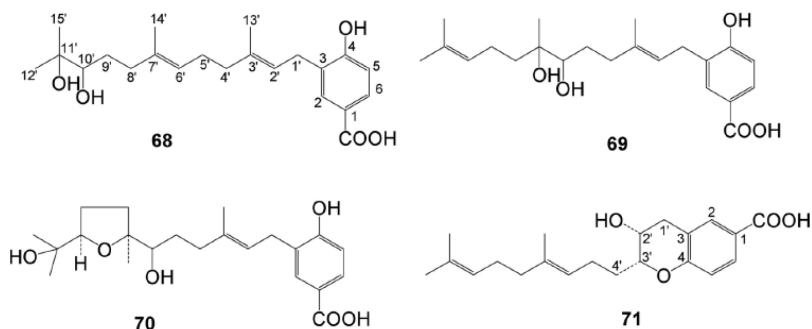
The presence of various secondary metabolites is one of the main criteria that ensure the medicinal properties of plants [67].



Table 1.

Classification of secondary metabolites [67]		
Categories	Species	Examples
Terpenes	Monoterpenes	Farnesol
	Sesquiterpenes	Limonene
	Diterpenes	Taxol
	Triterpenes	Digitogenin
	Tetraterpenoids	Carotene
	Sterols	Spinasterol
Phenols	Lignan	Lignin
	Tannins	Gallotanin
	Flavonoids	Anthocyanin
	Coumarins	Umbelliferone
Nitrogen and sulfur containing compounds	Alkaloids	Nicotine
	Atropine	
	Glucosinolates	Sinigrin

Chen B. et al. isolated 13 known daucan ethers along with seven daucane-type sesquiterpenes named kuhistanol A-G from methanol extracts of air-dried roots and stems of *Ferula kuhistanica* (Figure 2). Their structures are studied on the basis of spectroscopic evidence and the results of chemical reactions [14].

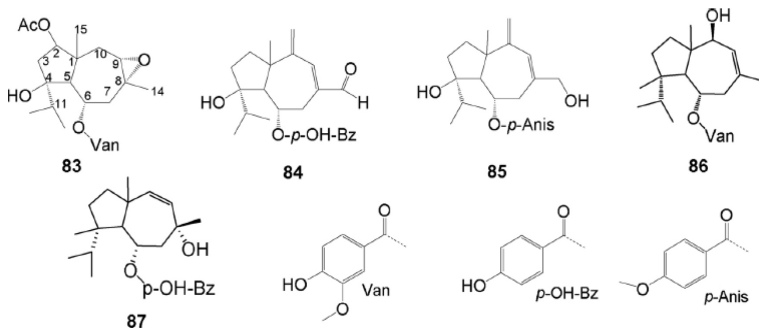


**Figure 1.** The molecular structures of kuhistanols A-D (68-71) of *F. kuhistanica* Korovin [14,39]

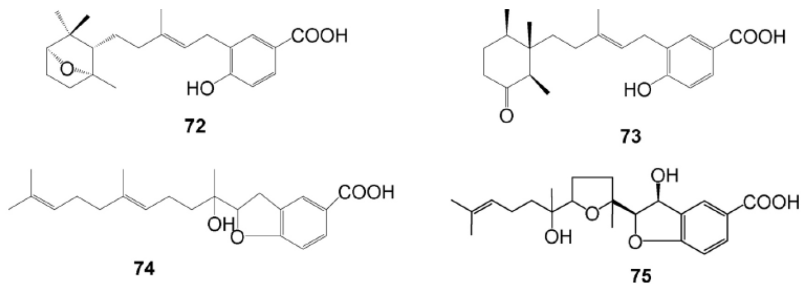
Chen B. et al. extracted four new prenylated benzoic acid derivatives, kuhistanols A-D, and one known compound, 3-farnesyl-p-hydroxybenzoic acid from the roots of *Ferula kuhistanica* (Fig. 1,3). Their structure was studied on the basis of chemical and spectral evidence. Kuhistanol D significantly coun-



tered the cytokine production of human peripheral mononuclear cells stimulated with lipopolysaccharides [13].



**Figure 2.** The molecular structures of five daucane-type sesquiterpenes (83-87) characterized from methanol extract (stem and root) of *F. kuhistanica* Korovin [14,39]

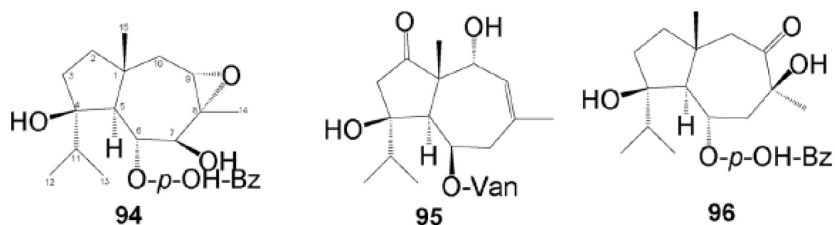


**Figure 3.** The molecular structures of farnesyl hydroxybenzoic acid derivatives (72-75) in the MeOH extract of *F. kuhistanica* Korovin roots [13,39]

Tamemoto K. et al. extracted three daucan ethers: kuhistanicaol H, I and J along with nine other known compounds from ethyl acetate extracts of air-dried fruits of *Ferula kuhistanica* (Figure 4). Their structures were studied on the basis of spectroscopic evidence. The antibacterial activity of these isolated compounds and previously isolated compounds from roots and stems of *F. kuhistanica* was tested. Some of them were toxic to gram-positive bacteria, including methicillin-sensitive and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [68].

Khazaei A. et al evaluated the effect of different treatment with gibberellic acid ( $GA_3$ ) on the germination of *Ferula pseudalliacea* seeds. According to the results, treatment with 500 micromolar  $GA_3$  and 8 weeks of cooling was more effective. Also, explants from young leaves, stems, cotyledons and embryos of *F. pseudalliacea* were inoculated with five strains of *Agrobacterium rhizogenes*

ATCC 15834, 1724, A4, LB9402 and Ar318. Although the transformation efficiency of strain ATCC 15834 (4%) was higher than that of 1724 (2%), root hairs were formed using strains ATCC 15824 and 1724 only in 10-12-day-old embryonic explants. The maximum frequency of root hair changes was found to be 10 minutes (25%), 20 minutes (20%) and 30 minutes (5%). In addition, the transformation percentage was 6% at 24 hours, 22% at 48 hours, and 29% at 72 hours, depending on the time of inoculation. Transgenic root hairs were confirmed by PCR amplification of the *rolB* gene. Root hair networks were found to produce higher biomass in half B5 (Hamborg) medium than in half MS (Murashige and Skoog 1962), and it was found that the number and dry biomass of root hairs from strain ATCC 15834 was higher than strain 1724. When cross-analyzing transgenic root hairs and natural root extracts, all transgenic root hair branches were found to produce farnesiferol B[28].



**Figure 4.** The main daucane esters (94-96) of *F. kuhistanica* Korovin, which were extracted from the EtOAc extract (dried fruits) [68,39]

For the first time, Asilbekova D.T. and others studied the essential oil and lipids of the leaves of *Ferula kuhistanica* Korovin using GC-MS, and it was determined that the composition of the essential oil contains 51 components (mainly 72.9%  $\alpha$ -pinene, 99.8% in total). The composition of the essential oil was analyzed enantioselectively and the enantiomeric excess of (+/-)- $\alpha$ -pinene (61.9/38.1), (+/-)- $\beta$ -pinene (28.6/71.4), (+/-)-sabinene (13.2/86.8) and (+/-)-limonene (82.7/17.3) was determined. Hexadeca-7Z, 10Z, 13Z-trienoic acid in lipids confirmed that *F. kuhistanica* belongs to the 16:3 plant group [6].

Khalilova E.Kh. and others analyzed the secondary metabolites in the aerial part of *Ferula foetida* by GC-MS, and found out that the main components in *F. foetida* sap are 2,3,4,5-tetramethylthiophene and 2-ethylthiopyridine. Furthermore, 1,3-dimethyltrisulfan, 1,8-cineole (eucalyptol), S-methylmethanethiosulfonate, 2,3,4,5-tetramethylthiophene, (+)-trans-chrysanthenyl acetate, (+)-calarin, bulnesol, etc. were determined in the content of extract [24].

By using spectroscopic methods, Iranshahi M. et al. revealed that methanolic extract of *Ferula persica* dried roots contains four sesquiterpene coumarin glycosides, persicaosides A-D, and two known phytosterol glucosides, sitosterol 3-O- $\beta$ -glucoside and stigmasterol 3-O- $\beta$ -glucoside [20].

Saidkhoyayev A.I. and Nikonov G.K. obtained ferutidin ( $C_{23}H_{32}O_4$ ) by extracting silicagelda from the roots of *F. kuhistanica* Eug. Kor. collected during the growing season and ferutinin ( $C_{20}H_{30}O_4$ ) by washing the roots with petroleum ether-ethyl acetate (3:1) [59].

Babekov A.U. and others studied the essential oils of sesquiterpene alcohols from the roots of *Ferula kuhistanica* Eug. Kor. collected from the Haydarkon mining area of Fergana region and determined teferin, tenuferin, ferutin, ferutinin, tenuferidine and tenuferinins by extracting on a silico-gel column. They also identified a new substance characteristic of terpenoid esters with the composition  $C_{30}H_{42}O_8$  and named it kuhferin. (Figure 5) [10].

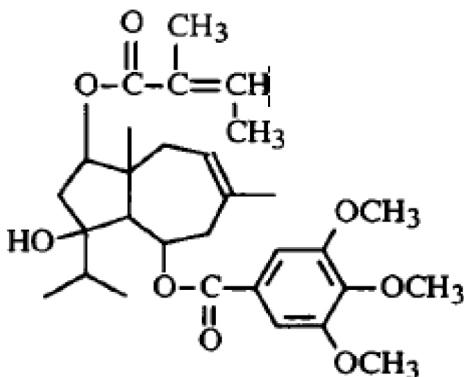


Figure 5. Kuhferin [10]

Khalifaev P.D. and others obtained essential oils by hydrodistillation from three samples of *Ferula kuhistanica* collected from two different regions in the central part of Tajikistan. In the experiments, a total of 77 compounds were identified, making up 95.8-99.9% of the total oil content. The essential oils of *F. kuhistanica* roots contain monoterpene hydrocarbons and it was determined that  $\alpha$ -pinene (57.7-70.6%),  $\beta$ -pinene (8.2-27.1%),  $\beta$ -phellandrene (0.1-7.2%) and myrcene (1.5-2%) prevails [23].

Nazrullaev S.S. et al. compared the estrogenic and reproductive activity of a total terpenoid alcohol ether compound extracted from the aerial parts of *Ferula kuhistanica* Korov (kufestrol) and the roots of *Ferula tenuifida* (tefestrol).

Research results have shown that kufestrol is close to tefestrol. Kufestrol is mainly a mixture of three compounds ferutin (75-80%), ferutin (10-15%) and akicheinin (7-10%), while tefestrol is composed of ferutin (95%), tenuferidine (2-3%) and fertidine (residues). Kufestrol and tefestrol have been found to have slightly less estrogenic effects than diethylstilbestrol and ethinyl estradiol [44].

Hoseinpour F. and Lorigooini Z. reported about secondary metabolites such as coumarin, sulfur-preserving compounds, stigmaterol, sitosterol, monoterpene and sesquiterpene, as well as anti-Alzheimer, anti-inflammatory, antibacterial properties of *F. persica* [18]

Xing Y. et al. found that sesquiterpene coumarins in *Ferula sinkiangensis* have anti-neuroinflammatory effects [73].

### **Microbial communities in the roots of the species belonging to the genus *Ferula* L.**

Researches based on a number of biotechnological approaches have been carried out in order to plant and grow, to increase the fertility and productivity of *Ferula* L. species, which has gained industrial importance in recent years.

Researching the activity of microbial communities living on the root surface of the plant and in the soil layer is one of the promising areas of biotechnology.

According to Lucy M. et al., PGPR increases plant germination rate, root growth, yield, magnesium content, leaf size, chlorophyll content, protein content, nitrogen content, drought tolerance, shoot and root mass, and hydraulic activity. It slows down the aging of leaves. It also increases the plant's resistance to diseases [37].

*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Stenotrophomonas*, *Micrococcus*, *Pantoea*, *Microbacterium* are the most common endophytes in the plant rhizosphere [63].

Information on the study of microbial communities in the rhizosphere of *Ferula* L. plants was originally published by Zhu J. et al., *Ferula fukanensis* K.M. Shen. and *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen [77,78].

Liu Y.H. and others analyzed the diversity of cultured bacteria isolated from the medicinal plant *Ferula songorica* collected from Hebukesai, Xinjiang. A total of 170 endophytic bacteria belonging to three phyla, 15 orders, 20 families and 27 genera were isolated and characterized by 16S rRNA gene sequencing. The order *Actinobacteria* was the main group of endophytic microbes isolated from *F. songorica* plant (107 isolates). It was found that endophytes are more present in the root tissues of the plant compared to the leaf and stem tissues. Of these endophytic strains, 88% can grow in nitrogen-free environments, 19% are phosphate soluble, and 26 and 40% are protease and cellulose producing, respectively [36].

Liu Y. and others analyzed the endophytic bacterial community of *Ferula sinkiangensis* for plant growth promoting properties, and a total of 125 endophytic bacteria belonging to 3 phyla, 13 orders, 23 families and 29 genera were identified based on 16S rRNA gene sequence data. Among the different isolates, three strains isolated from roots identified potentially new species of the genera *Porphyrobacter*, *Paracoccus* and *Amycolatopsis*. In this study, 79.4% and 57.1% of the total isolates were reported to produce indole-3-acetic acid and siderophore, respectively. 40.6% of the strains inhibited the growth of the fungal pathogen *Alternaria alternata*, 17.2% and 20.2% of the strains showed properties against *Verticillium dahlia* 991 and *V. dahlia* 7 [35].

Wang X. et al. conducted a research on 4 types of ferulas growing in Xinjiang region of China [*F. gracilis* (Ledeb.) Ledeb., *F. syreitschikowii* K.-Pol., *F. lehmannii* Boiss., and *F. ferulaeoides* (Steud.) Korov.] in order to determine the richness and diversity of rhizosphere bacterial communities. According to the results of the analysis, the soil depth affected the structure of the bacterial community, some rhizosphere bacteria were sensitive to the soil depth and the medicinal value of the plant, and as the soil depth decreased, the medicinal value of *Ferula* species and the number of the unique rhizosphere bacteria increased [72].

Zhang T. et al. studied the diversity of rhizosphere bacteria of the desert ephemeral plant *Ferula sinkiangensis*, and determined that it contains *Actinobacteria* (25.5%), *Acidobacteria* (16.9%), *Proteobacteria* (16.6%), *Gemmatimonades* (11.5%) and *Bacteroides* (5.8%). They also studied the trends in the diversity of the bacterial community on mountain slopes and soil depths at different altitudes [78].

### **Effect of rhizobacteria on plant terpenoids**

According to Zehra A. et al., aromatic and medicinal plants contain biologically active secondary metabolites such as flavonoids, alkaloids, steroids, sesquiterpenes, terpenes, saponins, phenolic substances and diterpenes. These secondary metabolites have anti-helminthic, anti-inflammatory, anti-malarial, analgesic, anti-microbial, anti-fungal, anti-arthritic, anti-oxidant, anti-hypertensive, anti-diabetic, anti-cancer, anti-histaminic and cardio-protective properties. Secondary metabolites play an important role in the adaptation of plants to changes in the external environment and stress. Abiotic and biotic stress that can occur in plants affects the production of secondary metabolites. Abiotic (heat, cold, salinity, drought) stress has been found to induce the production of reactive oxygen species in plant cells [77].

Khadka D. et al. suggested that plants can produce secondary metabolites using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). PGPR in the rhizosphere en-

hances plant development by synthesizing the cytokine, gibberellin hormones, and indole-3-acetic acid; enriches the soil with mineral nitrogen, and also fights disease-causing microorganisms to protect plants. Based on scientific sources, it is proved by researchers that treatment of plants with PGPR increases the synthesis of secondary metabolites in them, which have the properties of treating diabetes [22].

Cappellari L.R. et al analyzed the effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and exogenous application of salicylic acid or methyl jasmonate on plant total phenolic content and monoterpenes in *Mentha x piperita* plants. The results showed an increase in total phenolic content associated with increased phenylalanine ammonia lyase enzyme activity. Also, the use of methyl jasmonate in combination with PGPR at different concentrations resulted in an increase in total phenolic content. A synergistic effect was observed. The concentration of the main monoterpene present in peppermint essential oil was also significantly increased when salicylic acid or methyl jasmonate was applied. It has been proved that methyl jasmonate or salicylic acid together with PGPR is effective in improving the production of secondary metabolites from *M. piperita* [11].

Ibrahim A. et al. conducted field tests and laboratory experiments to evaluate the effectiveness of treatment with rhizobacteria in controlling *Meloidogyne incognita* in eggplant. In the experiment, the total phenol content of the plants was significantly different between the control (0,3 g/kg) and RB5 (3.4 g/kg, treated with rhizobacteria RB). Peroxidase content was determined in control (0.6 g/kg) and treated plants (2.54 g/kg), and the content of peroxidase in different rhizobacterial treated plants had different results. The amount of terpenoids in the control (0.29 g/kg) and RB1 (0.54 g/kg) RB2 (0.83 g/kg), RB3 (1 g/kg) and RB4 (1.02 g/kg). The highest amount of terpenoids was observed in RB5 (1.23 g/kg). The results confirmed that this process is significantly more effective than the use of ascorbic acid and polyphenol oxidase enzyme. It has also been proven that treatment with rhizobacteria activates the defense properties of eggplant plants faster against *M. incognita* [19].

Carlson R. et al. treated *Sorghum bicolor* (L.) Moench under greenhouse conditions with rhizobacterial isolates (*Bacillus* and *Pseudomonas*) and found that there was a significant difference in the characteristics of resistance to rust between the control groups. In *S. bicolor* plants inoculated with rhizobacteria, the main metabolic changes that ensure stress tolerance in severe drought conditions are (1) increase in antioxidant content; (2) high control of root development by indole acetic acid, gibberellic acid, and cytokinin hormones; (3) activation of early systemic tolerance signaling hormones brassinolides,

salicylic acid and jasmonic acid and signaling molecules by psychosine and sphingosine; (4) production of glutamic acid, proline and choline osmolytes; (5) production of epicuticular wax docosanoic acid; (6) reduction of ethylene as a result of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase activity [12].

Based on behavioral, chemical, and gene-transcription studies, Pangesti N. et al. investigated the importance of the rhizobacterium *Pseudomonas fluorescens* WCS417r in indirect plant defense against the leaf-feeding insect *Mamestra brassicae*. As a result of research, it has been found that beneficial microbes in the rhizosphere change the physiological state of plants and increase their protection against insects directly and indirectly [49].

Ahmadzadeh M. et al analyzed the effect of probiotic bacteria on the amount of alkaloids in *Catharanthus roseus* and the expression of genes of terpenoid indole alkaloids (vinblastine, vincristine) with strong anticancer activity by biosynthesis. The individual and collective effects of *A. brasilense* Ab-101 and *P. fluorescens* 169 strains were evaluated. Furthermore, the content of vinblastine and vincristine was determined in the roots of *C. roseus*, and compared to the control, it was observed that it increased sharply to 174 and 589 mcg/g, respectively. According to molecular analysis, *P. fluorescens* increased the expression of the CrPRX gene by 47.9 times compared to the control. Analogical results were observed in *A. brasilense* strains. Based on the evidence obtained, it has been proven that there is a correlation between transcription and metabolic outcomes [2].

## Conclusions

Plants belonging to the genus *Ferula* L., the family *Apiaceae* are important in a number of fields such as agriculture, medicine, food industry and veterinary medicine [62,56], to study the biological, ecological, healing properties of the representatives of the genus, and to protect the endangered species are one of today's urgent issues.

Planting seeds in the late autumn, weeding seedlings, watering once a week, using natural and mineral fertilizers in the cultivation of *Ferula* L. helps to increase productivity [4,57].

As a result of components farnesiferol A, farnesiferol C, gummosin, and badrakemon, umbelliprenin, ferulin A, D; kuhistanicol A,B,C,D,G; diversolid A,D,F,G; kuhistanol (A-H); fucanefuromarin (A-G); fesumtuorin (A-H); fucanemarin A,B; ferulagol A,B; zinciangenorin D; pallidon (A-F) [39,28] and a number of other secondary metabolites creates the potential of using *Ferula* L. species on a large scale in the pharmaceutical industry.

New species of *Porphyrobacter*, *Paracoccus* and *Amycolatopsis* genera, as well as *Actinobacteria*, *Acidobacteria*, *Proteobacteria*, *Gemmatimonadet* and *Bacteroides* were extracted from the root rhizosphere of representatives of *Ferula* L. [35,78]. These bacteria stimulate the growth and flexibility of *Ferula* L.

Plant growth-stimulating rhizobacteria have a positive effect on the production of secondary metabolites, activate the protective properties of plants, increase a number of properties such as resistance to stress in drought conditions and protection against insects [12]. Also, the use of rhizobacteria is effective in increasing the amount of terpenoids and alkaloids in medicinal plants [22].

**Acknowledgments.** This study was supported by Jizzakh branch of the National University of Uzbekistan, Department of Biotechnology.

### References

1. Abdulmyanova L.I., Fayzieva F.K., Ruzieva D.M., Karimov F.A. Antimicrobial activity of endophytic fungi from *Ferula foetida*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2015, vol. 4(11), pp. 154-159.
2. Ahmadzadeh M., Keshtkar A.H., Moslemkhany K., Ahmadzadeh M. Effect of the plant probiotic bacteria on terpenoid indole alkaloid biosynthesis pathway gene expression profiling, vinblastine and vincristine content in the root of *Catharanthus roseus*. *Molecular Biology Reports*, 2022, vol. 49, pp. 10357-10365. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07841-z>
3. Akhmedov E.T., Berdiev E.T., Kholmurotov M.Z., Ulashev B. *Ferula asafetida* L. is a medicinal plant of the forest. *Bulletin of Agrarian Science of Uzbekistan*, 2019, vol. 3 (77), pp. 151-153.
4. Allayarov M.U., Mamatkarimov A.I., Idriskhodjaev U.M. Methodological guide on the technology of cultivation and raw material preparation of *Ferula* L. plant. 2018, 12 p.
5. Anonymous *Asafoetida*, Retrieved on November 15 2020. <https://innovativeagriculture.in/horticulture/spices/asafoetida/>
6. Asilbekova D.T., Ozek G., Ozek T., Bobakulov Kh. M., et al. Essential oil and lipids from leaves of *Ferula kuhistanica*. *Chemistry of Natural Compounds*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 993-998. <https://doi.org/10.1007/s10600-019-02877-3>
7. Avalbaev O.N., Yunusov H.A., Doniyorova Sh.O. Seed germination of *Ferula* L. species. Proceedings of the republican scientific conference on the topic «Prospects of the development of Biology in the 21st century and the importance of innovations in them». 2021, 498 p.



8. Avalbaev O.H. Bioecology of *Ferula L.* species of the Western Pamir-Aloy range and improvement of their rational use methods. Dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) on Biological Sciences. 2020, 120 p.
9. Azizov D.Z., Rakhmanberdieva R.K., Elova H.A. Polysaccharides from roots of *Ferula tenuisecta* and their antimicrobial activity. *Chemistry of Natural Compounds*, 2022, vol. 58, no. 4, pp. 589-592. <https://doi.org/10.1007/s10600-022-03747-1>
10. Babekov A.U., Saidkhodzhayev A.I., Keneshov B.M. Esters of *Ferula kuhistanica*. *Chemistry of Natural Compounds*, 2000, vol. 36, no. 2, pp. 219-219.
11. Cappellari L.R., Santoro M.V., Schmidt A., Gershenson J. et al. Improving phenolic total content and monoterpene in *Mentha x piperita* by using salicylic acid or methyl jasmonate combined with rhizobacteria inoculation. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, vol. 21(1), 50. <https://doi.org/10.3390/ijms21010050>
12. Carlson R., Tugizimana F., Steenkamp P.A., Dubery I.A. et al. Rhizobacteria-induced systemic tolerance against drought stress in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Microbiological Research*, 2019, vol. 232, 126388, PII: S0944-5013(19)30837-7. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2019.126388>
13. Chen B., Kawazoe K., Takaishi Yo., Honda G., et al. Prenylated benzoic acid derivatives from *Ferula kuhistanica*. *J. Nat. Prod.*, 2000, vol. 63, pp. 362-365.
14. Chen B., Teranishi R., Kawazoe K., Takaishi Y, et al. Sesquiterpenoids from *Ferula kuhistanica*. *Phytochemistry*, 2000, vol. 54, no. 7, pp. 717-722. PII: S0031-9422(00)00197-7
15. Hadi N., Omidbaigi R., Moieni A., Responses of zygotic embryos of galbanum (*Ferula gummosa* Boiss.) in *in vitro* conditions. *Basic Research Journal of Agricultural Science and Review*, 2015, vol. 4(2), pp. 049-055.
16. Hassani B., Saboor A., Radjabian T., and Fallah Hussein H. Effects of temperature, GA<sub>3</sub> and Cytokinins on breaking seed dormancy of *Ferula assa-foetida* L. *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*, 2009, vol. 33 (1), pp. 75-85.
17. Hassani B., Saboor A., Radjabian T., Fallah Hussein H. Somatic Embryogenesis of *Ferula assa-foetida*. *Journal of Science/University of Tehran*, 2008, vol. 33(4), pp. 15-23.
18. Hoseinpour, F., & Lorigooini, Z. Botany, secondary metabolites, therapeutic effects and toxicity of *Ferula persica*: A review. *Journal of Medicinal Herbs*, 2023, vol. 13(4), pp. 1-15.
19. Ibrahim A., Shahid A. A., Noreen S., Ahmad A., Physiological changes against *Meloidogyne incognita* in rhizobacterial treated eggplant under organic conditions *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 2016, vol. 26(3), pp. 805-813.

20. Iranshahi M., Mojarab M., Sadeghian H., Hanafi-Bojd M.Ya. Polar secondary metabolites of *Ferula persica* roots. *Phytochemistry*, 2008, vol. 69, pp. 473-478. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.001>
21. Shamsiddin S., Zulaiho Y. The Genus *Ferula* L. in the Flora of Jizzakh Region. *International Journal of Biological Engineering and Agriculture*, 2022, vol. 1(5), pp. 36-40. <https://doi.org/10.51699/ijbea.v1i5.382>
22. Khadka D., Pandey K. Exploring the crucial role of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) in plant secondary metabolite production and diabetes management. Antifungal metabolites of rhizobacteria for sustainable agriculture. Springer, 2022, pp. 351-373.
23. Khalifaev D.P., Sharopov F.S., Safomuddin A., Numonov S. et al. Chemical composition of the essential oil from the roots of *Ferula kuhistanica* growing wild in Tajikistan. *Natural product communications*, 2018, vol. 13(2), pp. 219-222.
24. Khalilova E.Kh., Bobakulov Kh.M., Aripova S.F., Abdullaev N.D. Secondary metabolites of *Ferula foetida*. *Chemistry of Natural Compounds*, 2013, vol. 49, no. 1, pp. 141-142.
25. Khalkuzieva M. Rakhmonkulov U. Morphology and Germination Biology of the Seeds of *Ferula foetida* (Bunge) Regel.) and *F. tadshikorum* (Pimen)). *Scientific Bulletin of Namangan State University*, 2020, no. 4, pp. 69-73.
26. Khalkuzieva M.A. Biomorphological characteristics of resine-bearing *Ferula tadshikorum* Pimenov and *Ferula foetida* (Bunge) Regel and prospects for establishing their plantations in Uzbekistan. Dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) on Biological Sciences. 2022, 124 p.
27. Khamraeva D., Khojimatov O., Uralov A. Growth and development of *Ferula tadshikorum* Pimenov in culture. *Acta Biologica Sibirica*, 2019, vol. 5(3), pp. 172-177. <https://doi.org/10.14258/abs.v5.i3.6588>
28. Khazaei A., Bahramnejad B., Mozafari A.A., Dastan D. Hairy root induction and Farnesiferol B production of endemic medicinal plant *Ferula pseudalliacea*. *3 Biotech*, 2019, vol. 9, 407. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1935-x>
29. Khojimatov O.K., Bussmann R.W., Khamraeva D.T. Some aspects of morphology, conservation of resource potential, crop cultivation and harvesting of raw materials of promising *Ferula* species. *Ethnobotany Research and Applications*, 2021, vol. 22, pp. 1-8. <http://dx.doi.org/10.32859/era.22.31.1-8>
30. Koorki Z., Shahidi-Noghabi Sh., Smaghe G., Mahdian K. Insecticidal activity of the essential oils from yarrow (*Achillea wilhelmsii* L.) and sweet asafetida (*Ferula assa-foetida* L.) against *Aphis gossypii* Glover. (Hemiptera: Aphididae) under controlled laboratory conditions. *International Journal of Tropical Insect Science*, 2022, vol. 42(4), pp. 2827-2833. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00766-x>

31. Korovin E.P. Illustrative monograph of the genus *Ferula* L. (Tourn.). Tashkent, 1947, 93 p.
32. Korovin E.P. Genus *Ferula* L. Flora of the USSR. Ed. Academy of Sciences of the USSR. M. L.1951, no. 17, pp. 62-155.
33. Korovin S.E. On some anthropogenic changes in the cover of the western Tien Shan Botan. *Journal of Botany*, 1969, vol. 44, no. 4, pp. 475-482.
34. Kurmukov A.G., Akhmedkhodzhaeva Kh.S. Estrogen drugs from plants of the genus *Ferula* . Ibn Sino Publishing and Printing Association. Tashkent, 1994, 69 p.
35. Liu Y, Guo J, Li Li, Mipeshwaree D. A. et al. Endophytic bacteria associated with endangered plant *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen in an arid land: diversity and plant growth-promoting traits. *J Arid Land.*, 2017, vol. 9(3), pp. 432-445. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0015-5>
36. Liu Y.H., Guo J.W., Salam N., Zhang Yo.G., et al. Culturable endophytic bacteria associated with medicinal plant *Ferula songorica*: molecular phylogeny, distribution and screening for industrially important traits. *3 Biotech*, 2016, vol. 6, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0522-7>
37. Lucy M., Reed E and Glick B.R. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2004, vol. 86, pp. 1-25.
38. Melibaev S. Biology and resources of *Ferula tenusecta* and *Ferula kuhistanica* - sources of estrogen drugs: Abstract of the dissertation for obtaining the degree of candidate of biological sciences. Tashkent, 1985, 131 p.
39. Mohammadhosseini M., Venditti A., Sarker S.D., Nahar L. et al. The genus *Ferula*: Ethnobotany, phytochemistry and bioactivities: A review. *Industrial crops and products*, 2019, vol. 129, pp. 350-394.
40. Mostafavi K. Inhibitory effects of aqueous extracts of *Ferula gummosa* Boiss. (Galbanum) on germination and growth of some weeds. *International journal of Agronomy and Plant Production*, 2010, vol. 1 (4), pp. 147-154.
41. Mukumov I.U., Normukhammedova F.Sh. *Ferula kuhistanica* Korov. in the Samarkand region (chemical composition and reserves). *Bulletin of Science*, 2019, vol. 1, no. 6 (15), pp. 73-77.
42. Nadjafi F., Bannayan M., Tabrizi L and Rastgoo M. Seed germination and dormancy breaking techniques for *Ferula gummosa* and *Teucrium polium*. *Journal of Arid Environments*, 2006, vol. 64, pp. 542-547. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.009>
43. Nazhimitdinova N. N. Phytochemical study of plant roots *Ferula tatarica* fish.ex spreng. and *Ferula soongorica* pall.ex spreng. Thesis for obtaining the degree of Candidate of Pharmaceutical Sciences. Tashkent, 2007, p. 129.

44. Nazrullaev S.S., Khushbaktova Z.A., Syrov V.N. The estrogen activity of the sum of terpenoid alcohol esters isolated from *Ferula kuhistanica* and *Ferula tenuifida*. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2000, vol. 34, no. 10, pp. 25-27.
45. Nikolaeva M.G. On the biology of germination of some species of *Ferula* L. *Experimental botany*. M. L., 1948, vol. 6. p. 228.
46. Nikonov G.K. The structure of mogoltine-coumarin in the roots of *Peucedanum mogoltavicum*. *Chem. connect.*, 1971, no. 5, pp. 572-576.
47. Nishanbayeva H.A. Genus *Ferula* L. in the vegetation cover in the flora of Uzbekistan: Abstract of the dissertation for obtaining the degree of candidate of biological sciences. Tashkent, 1972, 22 p.
48. Otroshy M., Zamani A., Khodambashi M., Ebrahimi M., and Struik P.C. Effect of exogenous hormones and chilling on dormancy breaking of seeds of *Asafoetida* (*Ferula assa-foetida* L.). *Research Journal of Seed Science*, 2009, vol. 2(1), pp. 9-15.
49. Pangesti N., Weldegergis B.T., Langendorf B., van Loon J.J.A., et al. Rhizobacterial colonization of roots modulates plant volatile emission and enhances the attraction of a parasitoid wasp to host-infested plants. *Oecologia*, 2015, vol. 178, pp. 1169-1180. <https://doi.org/10.1007/s00442-015-3277-7>
50. Pimenov M.G. Family *Umbelliferae*. Key to plants of Central Asia. Tashkent, 1983. Vol. 7. P. 276-313.
51. Pimenov M.G., Baranova Y.V. A new species of the genus *Ferula* L. from South Kazakhstan. *Bull. Goab. Bot. Garden*, 1977, pp. 43-45.
52. Popova O.A., Bunyatyan N.D., Bobizoda G.M., Remezova I.P. et al. Standardization of a formulation of timogar and *Ferula assa-foetida* dry resin extract and its biological activity. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2021, vol. 55, no. 8, pp. 34-39. <https://doi.org/10.1007/s11094-021-02495-w>
53. Rakhmonkulov U., Avalboyev O.N. *Ferulas of Uzbekistan* (monograph) Publishing House "Fan and Technology". Tashkent, 2016, 62 p.
54. Rakhmankulov U. Terpenoid-containing plants of the Western Tien Shan and their use: Abstract of the dissertation for obtaining the degree of candidate of biological sciences. Tashkent, 1999, 43 p.
55. Rakhmonkulov U., Khalkuzieva M.A., The latent period of the species *Ferula tadshicorum* Pimenov and *Ferula foetida* (Bunge) Regel. *Proceedings of the republican scientific conference on the topic "Prospects of the development of Biology in the 21st century and the importance of innovations in them"*. 2021, 498 p.
56. Rakhmonov X.C. Biology and resources of *Ferula tadshicorum* M. Pimen. in southern Tajikistan. Dissertation for obtaining the degree of candidate of agricultural sciences. 2017. 179 p.

57. Reza P.M., Moghaddam M. and Yazdani N. The effect of different irrigation treatments on resin yield, essential oil content, morphological traits and survival of better asafoetida (*Ferula asafoetida* L.). *Journal of Rangeland and watershed management*, 2015, vol. 68(1), pp. 25-34. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2015.53876>
58. Saidkhodzhaev A.I. Terpenoid plants of the genus *Ferula*: Abstract of the dissertation for obtaining the degree of candidate of biological sciences. Tashkent, 1985, 126 p.
59. Saidkhodzhaev A.I., Nikonov G.K. Esters of the roots of *Ferula kuhistanica*. *Plenum Publishing Corporation*, 1974, vol. 227, pp. 525- 526.
60. Salam N., Asem M.D., Liu Y.H., Xiao M. et al. Endophytic Microbial Diversity in the Halophytic Medicinal Plant *Ferula* and Their Bioapplicable Traits / Egamberdieva, D., Tiezzi, A. (eds). *Medically Important Plant Biomes: Source of Secondary Metabolites*, 2019, vol. 15, pp. 265-276. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9566-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9566-6_11)
61. Salehi M., Naghavi M.R., Bahmankar M. A review of *Ferula* species: Biochemical characteristics, pharmaceutical and industrial applications, and suggestions for biotechnologists. *Industrial Crops and Products*, 2019, vol. 139, 111511. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111511>
62. Salimova D., Khujanov A., Ferula L. the importance of generations in folk medicine. *Academic research in educational sciences*, 2021, vol. 2, pp. 38-44.
63. Santoyo G, Moreno-Hagelsieb G, del Carment Orozco-Mosqueda M, Glick BR Plant growth-promoting bacterial endophytes. *Microbiol Res.*, 2016, vol. 183, pp. 92-99.
64. Shah N.C. Heeng (*Asafoetida*): An Exotic Condiment and Traditional Medicine of India. *Asian Agri – History*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 133-145.
65. Sood R. Asafoetida (*Ferula asafoetida*): A high-value crop suitable for the cold desert of Himachal Pradesh, India. *Journal of Applied and Natural Science*, 2020, vol. 12(4), pp. 607-617. <https://doi.org/10.31018/jans.v12i4.2418>
66. Sun L., Shi S.B., Zhu J., Li X.J. Traditional use and modern research review of *Ferula* in China. *Mod Chinese Med.*, 2013, vol. 15, pp. 620-626.
67. Swargiary G., Rawal M., Singh M., Mani Sh. Molecular approaches to screen bioactive compounds from medicinal plants. *Plant-derived bioactives production, properties and therapeutic applications*. Springer Nature Singapore, 2020, pp. 1-32.
68. Tamemoto K., Takaishi Yo., Chen B., Kawazoe K. et al. Sesquiterpenoids from the fruits of *Ferula kuhistanica* and antibacterial activity of the constituents of *F. kuhistanica*. *Phytochemistry*, 2001, vol. 58, pp. 763-767. PII: S0031-9422(01)00307-7.

69. Turginov O., Djamalova D., Batoshov A., Aminova M. Endemic species of the genus *Ferula* L. (*Apiaceae*) in flora of Uzbekistan. *Scientific Bulletin of Namangan State University*, 2019, vol 1, issue 2, pp. 46-57.
70. Upadhyay, P.K., Singh, S. Agarwal, G. and Vishwakarma, V.K. Pharmacological activities and therapeutic uses of resins obtained from *Ferula asafoetida* Linn.: A review. *International Journal of Green Pharmacy*, 2017, vol. 11(2), pp. 240-247.
71. Vinogradova V.M. Genus *Ferula* L. (*Apiaceae*) in Central Asia. *System News high rast. L.*, 1990, no. 27, pp. 113-120.
72. Wang X., Wang Z., Jiang P., He Y. et al. Bacterial diversity and community structure in the rhizosphere of four *Ferula* species. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8(1), pp. 1-10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22802-y>
73. Xing Y., Li N., Zhou D., Chen G. et al. Sesquiterpene coumarins from *Ferula sinkiangensis* act as neuroinflammation inhibitors. *Planta Med.*, 2017, vol. 83, pp. 135-142.
74. Yaqoob Ubaid and Nawchoo, Irshad Ahmad. Distribution and Taxonomy of *Ferula* L: A Review. *Research & Reviews: Journal of Botany*, 2016, vol. 5(3), pp. 15-23.
75. Yaqoob, U., Nawchoo, I.A. Conservation and Cultivation of *Ferula jaeschkeana* Vatke: A species with deep complex morphophysiological dormancy. *Proc. Natl. Acad. Sci. India Sect. B - Biol. Sci.*, 2017, vol. 87, pp. 315-325.
76. Yusupov O.Sh Effect of *Ferula assofoetida* plant on the organism of Karakol sheep. Dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) on Veterinary Sciences. 2020, 45 p.
77. Zehra A., Choudhary S., Naeem M., Masroor M. et al. A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 2019, vol. 7(3), pp. 99-106.
78. Zhang T., Wang Z., Xinhua Lv., Dang H. et al. Variation of rhizosphere bacterial community diversity in the desert ephemeral plant *Ferula sinkiangensis* across environmental gradients. *Scientific Reports*, 2020, vol. 10(1), 18442. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75591-8>
79. Zhu, J., Sun, L., Fan, C. and Li, X. Study on the dynamic variation of the population and the number of rhizosphere microorganism communities of *Ferula fukanensis* K. M. Shen. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2015, vol. 1, pp. 203-205.
80. Zhu, J., Sun, L., Zhao, L. and Li, X. Study on the dynamic variation of the population and the number of rhizosphere microorganism communities of *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2015, vol. 38, pp. 265-266.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS**

The authors contributed equally to this article.

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Maloxat A. Nematova**, Doctoral Student

*Jizzakh branch of the National University of Uzbekistan named after  
Mirzo Ulug'bek*

*259, Sh. Rashidov, Jizzakh 130100, Uzbekistan*

*malohat.biotex@jbnuu.uz*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5320-1725>*

**Sayyora S. Murodova**, Doctor of Biological Science, Professor of the Department of Biotechnology

*Jizzakh branch of the National University of Uzbekistan named after  
Mirzo Ulug'bek*

*259, Sh. Rashidov, Jizzakh 130100, Uzbekistan*

*ssmuradova@rambler.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7106-3234>*

Поступила 29.04.2023

После рецензирования 26.06.2023

Принята 19.07.2023

Received 29.04.2023

Revised 26.06.2023

Accepted 19.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-720

УДК 616.24



Научный обзор | Заболевания дыхательной системы

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИБРОЗА ЛЕГКИХ И РАЗВИТИЕ ХРОНИЧЕСКОЙ ЛЕГОЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У БОЛЬНЫХ ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19

*Д.Б. Балянян, О.А. Ефремова, Л.А. Камышникова,  
В.А. Дуброва, А.Ю. Благов*

*После выздоровления от COVID-19 многие пациенты жалуются на здоровье. Перенести COVID-19 еще не значит, что теперь можно забыть про больницы. Большинство людей как раз про них вспоминают. Осложнения после вируса не менее опасны, чем само заболевание. Поэтому пациенты перенесшие коронавирус проходят углубленную диспансеризацию. Пока лихорадочно мы будем разрабатывать эффективное лечение острой фазы вируса, не стоит забывать о серьезных последствиях перенесенного COVID-19. Для этого мы рассмотрим и попытаемся проанализировать наиболее опасные осложнения после COVID-19.*

**Цель исследования.** *Описать результаты пандемии COVID-19 для поправившихся, с заострением внимания на большой потребности в идентификации биомаркеров, способствующих на начальной стадии заболевания определять пациентов, у которых может развиваться фиброзная интерстициальная легочная патология (фиброз легких).*

*При обнаружении проявлений COVID-19 и выполнении дальнейшего лечения следует учитывать, что инфекционный процесс после устранения вируса из организма в большинстве случаев не прекращается и может перейти в длительное поражение легких, в частности, фиброзное интерстициальное заболевание легких.*

*В литературном обзоре выполнен анализ современных российских и зарубежных (исключительно на английском языке) научных работ, значимых относительно темы обзора и представленных в базах данных eLibrary, PubMed, Scopus и в научной электронной библиотеке «КиберЛенинка» (Cyberleninka).*

**Ключевые слова:** *обзор; COVID-19; SARS-CoV-2; идиопатический фиброз легких*



*Для цитирования.* Балинян Д.Б., Ефремова О.А., Камышников Л.А., Дуброва В.А., Благов А.Ю. Прогнозирование фиброза легких и развитие хронической легочной недостаточности у больных перенесших COVID-19 // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 361-380. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-720

Scientific Review | Respiratory Diseases

## PREDICTION OF PULMONARY FIBROSIS AND THE DEVELOPMENT OF CHRONIC PULMONARY INSUFFICIENCY IN PATIENTS WHO HAVE UNDERGONE COVID-19

*D.B. Balinyan, O.A. Efremova, L.A. Kamishnikova, V.A. Dubrova, A.Y. Blagov*

*After recovering from COVID-19, many patients complain about their health. Transferring Covid-19 does not mean that you can now forget about hospitals. Most people just remember about them. Complications after the virus are no less dangerous than the disease itself. Therefore, patients who have undergone coronavirus undergo in-depth medical examination. While we are feverishly developing an effective treatment for the acute phase of the virus, we should not forget about the serious consequences of the COVID-19. To do this, we will consider and try to analyze the most dangerous complications after COVID-19.*

**Purpose.** *To describe the results of the COVID-19 pandemic for the recovered, with a focus on the great need to identify biomarkers that contribute to identifying patients who may develop fibrous interstitial pulmonary pathology (pulmonary fibrosis) at the initial stage of the disease.*

*When detecting COVID-19 manifestations and performing further treatment, it should be borne in mind that the infectious process after the virus is eliminated from the body in most cases does not stop and can turn into long-term lung damage, in particular, fibrous interstitial lung disease.*

*In the literary review, the analysis of modern Russian and foreign (exclusively in English) scientific works significant in relation to the topic of the review and presented in the databases eLibrary, PubMed, Scopus and in the scientific electronic library "Cyberleninka" (Cyberleninka) is carried out.*

**Keywords:** *review; COVID-19; SARS-CoV-2; idiopathic pulmonary fibrosis*

**For citation.** Balinyan D.B., Efremova O.A., Kamishnikova L.A., Dubrova V.A., Blagov A.Y. Prediction of Pulmonary Fibrosis and the Development of Chronic Pulmonary Insufficiency in Patients Who Have Undergone COVID-19. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 361-380. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-720

## **Введение**

Фиброз лёгких (ПФ), патологический исход хронических и острых интерстициальных заболеваний легких, связанных с ослабленным заживлением ран, является ключевым компонентом «постострого синдрома COVID-19», который может серьезно осложнить клиническое течение пациентов. Хотя имеющиеся данные неубедительны, у более трети госпитализированных пациентов с COVID-19 развиваются фиброзные аномалии легких после выписки из больницы.

Патогенез ПФ у пациентов, выздоравливающих после тяжелого острого случая COVID-19, является сложным, и было сформулировано несколько гипотез, объясняющих его развитие. Анализ имеющихся в настоящее время данных показывает, что биомаркеры восприимчивости могут помочь выявить субъектов с повышенной вероятностью развития ПФ и могут представлять собой средство персонализации управления долгосрочными последствиями COVID-19. Наш обзор подчеркивает важность факторов риска, связанных как с пациентом, так и с болезнями, способствующих ПФ у выживших после COVID-19, и ясно дает понять возможное использование острой фазы и последующих биомаркеров для выявления пациентов, подверженных наибольшему риску развития этого заболевания.

Легочный фиброз имеет прямое отношение к увеличению случаев летального исхода вследствие гипоксии жизненно важных органов, поэтому предварительное установление группы пациентов, у которой может начаться ФЛ, имеет огромное значение. Поскольку на ранних этапах прогрессирования заболевания еще нет надежных клинических или лабораторных показателей, мы можем использовать биомаркеры восприимчивости для выявления пациентов с повышенной вероятностью развития фиброза легких.

## **Полиморфизмы генов при идиопатическом фиброзе легких**

Полиморфизмы генов про- и антифиброзных цитокинов могут влиять на экспрессию идиопатического фиброза легких (IPF). В одном исследовании, целью которого было изучение полиморфизмов генов IL-6, трансформирующего фактора роста (TGF) бета 1, фактора некроза опухоли (TNF) альфа

и интерлейкина-1 (IL-1) Ra у пациентов с IPF (n = 22) по сравнению со здоровыми контрольными группами (n = 140). Генотипирование проводили на ДНК, выделенной из лимфоцитов периферической крови, с использованием полиморфизма длины рестрикционного фрагмента с использованием полиморфизмов генов, определенных в соответствии с опубликованными методами. Были исследованы следующие участки: (i) IL-1Ra\*1-5 (интрон 2 с переменным тандемным повтором 86 п.н.), (ii) IL-6 (-174G>C), (iii) TNF-альфа (-308G>A) и (iv) TGF-бета 1 (Arg25Pro). Аллель TNF-альфа (-308 A) был чрезмерно представлен в группе IPF (p(сorr) = 0,004) по сравнению с контролем. Риск ИПФ был значимым для гетерозигот по: (i) аллелю ФНО-альфа (-308 A) (A/G) (отношение шансов (ОШ) 2,9; 95% доверительный интервал (ДИ) 1,2-7,2; P = 0,02), (ii) гомозиготам (A/A) (ОШ 13,9; 95%ДИ 1,2-160; P = 0,04) и (iii) носительству аллеля (A/A + A/G) (ИЛИ 4; 95%ДИ 1,6-10,2; P = 0,003). Распределение аллелей и генотипов IL-6, TGF-бета 1 и IL-1Ra между двумя группами существенно не отличалось. Это третье исследование, независимо подтверждающее, что существует значительная ассоциация аллеля TNF-альфа (-308 A) с IPF. Необходимы дальнейшие исследования для оценки полезности полиморфизмов генов цитокинов в качестве маркеров восприимчивости к заболеванию [26].

Также в двух крупных исследованиях были выявлены несколько общих генетических вариантов, которые связаны с предрасположенностью к идиопатическому фиброзу легких. Идентифицированные гены участвуют в защитных реакциях, межклеточной адгезии и репарации ДНК [23].

Однонуклеотидный полиморфизм в промоторной области гена муцина 5В (MUC5B) участвует в защите дыхательных путей. Полиморфизм муцина 5В- промотера не связан с фиброзом легких при склеродинамии или саркоидозе и специфичен для идиопатического фиброза легких [29]. Таким же образом несколько однонуклеотидных полиморфизмов, ответственные за предрасположенность к идиопатическому фиброзу легких, были выявлены в TOLLIP-локусе [23]. У больных идиопатическим фиброзом легких ген TOLLIP кодирует уменьшение экспрессии белка и регулирует часть врожденной иммунной системы, опосредованной толл-подобными рецепторами и TФР-β-сигнальными путями.

В исследованиях семейных форм идиопатического фиброза легких были выявлены редкие варианты генов, кодирующих белки сурфактанта, включая сурфактантные белки С (SFTPC) и А2 (SFTPA2), несколько генов, связанных с функцией теломер. Короткие теломеры свидетельствуют о ремоделировании паренхимы легких и эпителиальной дисфункции, кото-

рые выявлены у бессимптомных родственников больных идиопатическим фиброзом легких и могут представлять ранние стадии болезни. Даже при отсутствии полиморфизма TERT в моноцитах периферической крови или альвеолярных эпителиальных клетках у больных идиопатическим фиброзом легких обнаруживают короткие теломеры, которые указывают на неблагоприятный прогноз заболевания [19, 30].

Полный анализ РНК микрочипов легочной ткани у пациентов с различными проявлениями заболевания позволил идентифицировать болезнь-специфическую экспрессию генов. При сравнении профилей экспрессии генов в легких у больных со стабильным или быстро прогрессирующим идиопатическим фиброзом легких было выявлено 134 транскрипта, которые активируют болезнь или приводят к негативной регуляции ее течения. При анализе транскриптома периферической крови были идентифицированы гены с различной экспрессией у больных идиопатическим фиброзом легких, здоровых лиц и у пациентов с разной тяжестью заболевания. Выявлена экспрессия мРНК на лизокардиолипин-ацилтрансферазе (LYCAT), а также сильные корреляционные связи содержания кардиолипинредеплирующего фермента в моноцитах периферической крови с показателями легочной функции и выживаемостью больных фиброзом легких [12].

Метилирование ДНК, модификации гистонов и некодирующие микроРНК являются эпигенетическими механизмами, которые вносят вклад в различия экспрессии генов, наблюдаемые при идиопатическом фиброзе легких. Эти регуляторные механизмы находятся под влиянием различных агентов, включая факторы окружающей среды (сигаретный дым и инфекции), генетический профиль, пол и возраст. При полногеномном анализе метилирования ДНК легочной ткани было выявлено 2130 значимых дифференциальных метилированных областей в образцах от больных идиопатическим фиброзом легких, из которых примерно 1/3 ассоциировались со значительными изменениями экспрессии генов [34].

МикроРНК оказывает влияние на экспрессию белка путем связывания с мРНК. При микроРНК-пролифилеровании легочной ткани были выявлены значимо повышенные или низкие уровни ряда регуляторных микроРНК у больных идиопатическим фиброзом легких, что отличало нормальное легкое от легкого с фиброзом и быстро прогрессирующее заболевание от медленно прогрессирующего. Трансформирующий фактор роста  $\beta$  играет важную роль в повышении регуляции профибротических микроРНК и подавлении антифиброзных микроРНК [5]. Кроме того, уровни экспрессии микроРНК-21, микроРНК-155 и микроРНК-101-3р в

сыворотке крови могут коррелировать с ФЖЕЛ и МСКТ-картиной при идиопатическом фиброзе легких [20].

### **Полиморфизм генов цитокинов**

Еще в одном исследовании была найдена связь между полиморфизмами генов цитокинов и риском развития идиопатического фиброза легких. В исследовании участвовали 60 пациентов с идиопатическим фиброзом легких и 150 здоровых лиц контрольной группы. Генотипирование цитокинов проводили с использованием метода праймера, специфичного для последовательности полимеразной цепной реакции (PCR-SSP). У подгруппы пациентов и контрольной группы уровни цитокинов в сыворотке крови определяли методом иммуноферментного анализа.

По результатам исследования не было различий между пациентами с ИПФ и контрольной группой в распределении генотипов и аллелей полиморфизмов TNF- $\alpha$ , IFN- $\gamma$ , IL-6, IL-10 и TGF- $\beta_1$  (все  $p > 0,05$ ). TNF- $\alpha$  (-308) GG, IL-6 (-174) GG и CG и IL-10 (-1082, -819, -592) Генотипы ACC ATA были достоверно связаны с показателями HRCT (все  $p < 0,05$ ). IL-10 (-1082, -819, -592) Гаплотип ACC был связан со способностью легких к диффузии монооксида углерода, а гаплотип ATA был связан с парциальным давлением кислорода ( $\text{PaO}_2$ ) (все  $p < 0,05$ ). Генотипы TGF- $\beta_1$  (кодоны 10 и 25) TC GG, TC GC, CC GG и CC GC были достоверно связаны с показателями  $\text{PaO}_2$  и HRCT ( $p < 0,05$ ). Генотип TGF- $\beta_1$  (кодоны 10 и 25) CC GG (у 5 пациентов) был достоверно связан с более высоким значением  $\text{PaO}_2$  и меньшим поражением паренхимы (т.е. более низким общим показателем распространенности) по сравнению с другими генотипами TGF- $\beta_1$  ( $81,5 \pm 11,8$  мм рт. ст. против  $67,4 \pm 11,1$  мм рт. ст.,  $p = 0,009$  и  $5,60 \pm 1,3$  по сравнению  $8,51 \pm 2,9$ ,  $p = 0,037$  соответственно). Были отмечены значительные различия между пациентами ( $n = 38$ ) и контрольной группой ( $n = 36$ ) в сывороточных уровнях IL-6 и IL-10 (обоих,  $p < 0,0001$ ), но не в уровнях TNF- $\alpha$  и TGF- $\beta_1$  (оба,  $p > 0,05$ ).

По итогу был сделан вывод, что изученные генотипы и аллели не располагают к развитию идиопатического фиброза легких, но в тоже время играют важную роль в тяжести заболевания.

### **Полиморфизмы гена трансформирующего фактора роста $\beta_1$**

Трансформирующий фактор роста  $\beta_1$  (TGF- $\beta_1$ ) представляет собой цитокин, который играет ключевую роль в развитии идиопатического легочного фиброза.

Идиопатический фиброз легких является генетически сложным заболеванием, и его патогенез, вероятно включает взаимодействие между

множеством аллелей, расположенных в разных генах [6]. Тем не менее, идентификация генетических факторов, предрасполагающих к идиопатическому фиброзу легких, улучшит наше понимание патогенеза заболевания и может привести к разработке новых терапевтических стратегий. Было высказано предположение, что существует потенциальная связь между вариациями генов, расположенных на хромосоме 14, и основных генов гистосовместимости и IPF [7, 8].

Исследования *in vitro* и на животных моделях легочного фиброза показали, что провоспалительные медиаторы и факторы роста имеют решающее значение в процессах воспаления, заживления ран и репарации при легочном фиброзе [28]. Имеются описания присутствия генетических вариантов в генах, кодирующих эти медиаторы и их рецепторы, что делает эти гены кандидатами для патогенеза идиопатического фиброза легких [6]. Антагонист рецептора интерлейкина (IL)-1 и полиморфизмы гена фактора некроза опухоли  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) были связаны с повышенным риском развития идиопатического фиброза легких [33]. Напротив, другие авторы не обнаружили никакой связи между этими полиморфизмами и идиопатическим фиброзом легких [13, 24]. Другими изученными полиморфизмами являются полиморфизмы рецепторов IL-8 и IL-8, IL-6, лимфотоксина- $\alpha$ , рецептора TNF II, IL-1 $\alpha$  и IL-1 $\beta$ , хотя никакой связи с развитием идиопатического фиброза легких обнаружено не было [24, 25]. Однако наличие полиморфизмов гена IL-6, особенно в сочетании с полиморфизмами рецептора TNF II, было связано со снижением диффузионной способности легких к монооксиду углерода ( $D_{LCoabt}$ ) с течением времени [24].

Было показано, что TGF- $\beta_1$  играет ключевую роль в развитии идиопатического фиброза легких, и повышенная экспрессия TGF- $\beta_1$  была обнаружена в легочной ткани пациентов с этим заболеванием и на животных моделях легочного фиброза [17, 27]. Потенциальная роль генетических вариантов TGF- $\beta_1$  в патогенезе идиопатического фиброза легких была предложена Мори и его коллегами [21], которые продемонстрировали наличие микросателлитной нестабильности в гене рецептора II типа TGF- $\beta_1$  в гиперпластических поражениях эпителиальных клеток альвеолярной выстилки в легочной ткани у пациентов с этим заболеванием. В последовательности ДНК, кодирующей лидерную последовательность TGF- $\beta_1$ , присутствуют два генетических полиморфизма, расположенных в кодоне 10 (либо Leu, либо Pro) и в кодоне 25 (либо Arg, либо Pro). Гомозиготный генотип Arg/Arg по полиморфизму гена TGF- $\beta_1$  в кодоне 25 и наличие аллеля Leu в кодоне 10 были связаны с повышением уровня производства TGF- $\beta_1$  [3].

На сегодняшний день не было описаний ассоциаций между полиморфизмами TGF- $\beta_1$  либо с восприимчивостью к идиопатическому фиброзу легких, либо с прогрессированием заболевания. В этом исследовании не было обнаружено различий между пациентами с идиопатическим фиброзом легких и здоровыми субъектами в отношении генотипа и частот аллелей кодонов 25 и 10 полиморфизмов TGF- $\beta_1$ . Таким образом эти полиморфизмы, по-видимому, не предрасполагают к развитию идиопатического фиброза легких.

Основным выводом является то, что наличие аллеля Pro в кодоне 10 гена TGF- $\beta_1$  независимо ассоциировалось с усиленным ухудшением газообмена у пациентов с идиопатическим фиброзом легких после контроля за эффектом лечения. Ранее об этом открытии не сообщалось, и это позволяет предположить, что полиморфизмы TGF- $\beta_1$  могут быть связаны с прогрессированием идиопатического фиброза легких.

Также была исследована роль полиморфизмов TGF- $\beta_1$  в прогрессировании других заболеваний легких. Сообщалось, что носительство аллеля Leu в кодоне 10 связано с быстрым ухудшением функции легких у пациентов с муковисцидозом. Кроме того, было показано, что гомозиготность по аллелю 25 Arg кодона в сочетании с аллелем 10 Leu кодона является маркером плохого посттрансплантационного прогноза и выживаемости реципиента. Результаты этих исследований предполагают, что полиморфизмы TGF- $\beta_1$  могут влиять на развитие чрезмерного повреждения легких и фиброза.

Взаимосвязь полиморфизмов гена TGF- $\beta_1$  с прогрессированием заболевания подчеркивает важность ингибирования активности TGF- $\beta_1$  как потенциальной терапевтической стратегии при идиопатическом фиброзе легких. Было обнаружено, что перенос гена *Smad7* для ингибирования клеточной сигнализации, опосредованной TGF- $\beta_1$ , предотвращает индуцированный блеомицином фиброз легких у мышей [22]. Кроме того, потенциальная эффективность интерферона  $\gamma$ -1b при лечении идиопатического фиброза легких была связана со снижением уровней мРНК TGF- $\beta_1$  в легочной ткани [35].

### **Биомаркеры риска во время острой фазы COVID-19 [2]**

С-реактивный белок ( СРБ)

Лимфоциты

Интерферон-гамма

Матриксная металлопротеиназа-9

Растворённый супрессор туморогенности 2

Лактатдегидрогеназа



## ИЛ-6

Трансформирующий фактор роста- $\beta$  (TGF- $\beta$ )

Фактор роста тромбоцитов (PDGF)

Рецептор эпидермального фактора роста (EGFR)

### **Биомаркеры риска во время острого COVID-19**

Более высокое СРБ и более низкое количество лимфоцитов - это лабораторные параметры, которые считались потенциальными факторами риска фиброзных изменений во время острой фазы COVID-19. Согласно ретроспективному исследованию, с участием 32 подтвержденных пациентов с COVID-19, которые были классифицированы в зависимости от признаков или отсутствия признаков фиброза при их последней последующей компьютерной томографии, у этих двух групп были значительно разные уровни СРБ (53,4 мг/л против 10,0 мг/л,  $p=0,002$ ) и количество лимфоцитов [0,6 (0,4–0,9) против 1.1 (0,8–1.3);  $p=0.003$ ]. Наблюдательное когортное исследование сравнивающее группы фиброза, показало, что уровни показателей были заметно выше нормы в течение четырех недель подряд во время острой фазы и что более высокие уровни СРБ сохранялись после этой даты в группе фиброза. В частности, повышенный ЛДГ отражает разрушение тканей и рассматривается как прогностическое повреждение легких, а уровень интерферон-гамма в плазме в два раза меньше чем у пациентов без фиброза. Поэтому мягкий ответ интерферона может быть фактором риска для фиброза лёгких.

Растворённый супрессор туморогенности 2 (sST2), который является членом семейства интерлейкина-1 (ИЛ-1), может являться биомаркером для пациентов с легочным фиброзом на фоне сердечной недостаточности. Повышенные показатели sST2 были выявлены у пациентов с воспалительным процессом в легочной ткани. Циркулирующие уровни sST2 могут быть использованы в качестве биомаркера риска для прогнозирования начала ЛФ после выписки у пациентов, которые перенесли COVID-19.

## ИЛ-6

ИЛ-6 - центральный игрок цитокинового шторма, резко повышается при тяжелых манифестациях COVID-19. В мета-анализе показано, что при осложненном COVID-19 концентрация ИЛ-6 в 2,9 раза выше, чем при неосложненном. Это указывает на необходимость измерения ИЛ-6 при поступлении. У критических пациентов уровни ИЛ-6  $> 80$  пг/мл - прогнозируют развитие ОРДС и являются показанием назначения ИВЛ. ИЛ-6 - это провоспалительный и профиброзный цитокин, который индуцирует активацию нейтрофилов и их накопление в месте повреждения, что приводит



к высвобождению протеаз и безкислородных радикалов. Таким образом, этот путь включает в себя интерстициальный отек легких и тяжелую воспалительную реакцию [10, 36]. IL-6 также считается предиктором прогрессирования к тяжелому COVID-19, который подтверждает гипотезу о том, что антагонисты рецепторов IL-6 могут контролировать цитокиновый шторм, вызванный SARS-CoV-2 [10, 36]. В недавнем клиническом исследовании (REMAP-CAP) было установлено, что анти-[IL-6, тоцилизумаб и сарилумаб могут улучшить эволюцию тяжелобольных пациентов с тяжелой пневмонией COVID-19 [9]. Лечение либо тоцилизумабом, либо сарилумабом и глюкокортикостероидами в сочетании было более полезным, чем ожидалось, для любого вмешательства само по себе, и взаимодействие между антагонистами рецепторов IL-6 и глюкокортикостероидами можно считать немного синергетическим, но с существенной изменчивостью [9]. Хотя результаты обнадеживают в отношении 90-дневного выживания, времени пребывания в отделении интенсивной терапии и выписки из больницы, группа тоцилизумаба привлекла внимание к некоторым неблагоприятным событиям, таким как вторичная бактериальная инфекция, кровотечение, сердечные события и ухудшение зрения по сравнению с арилумабом, при этом серьезных побочных явлений не сообщалось [9].

### **TGF- $\beta$**

Трансформирующий фактор роста-0 (TGF-0) многофункциональный цитокин, играющий ключевую роль в процессе восстановления тканей повреждения. Важными источниками TGF-0 являются  $\alpha$ -гранулы тромбоцитов и макрофагов в альтернативном пути. Три изоформы TGF-0 встречаются у млекопитающих: TGF-0 1, 2 и 3. TGF-0 стимулирует образование внеклеточного матрикса. TGF-0 1 преимущественно экспрессируется в патогенезе легочного фиброза. TGF-0 регулирует образование всех молекул ЕСМ: коллагена, фибронектина, упругих волокон и наземных веществ. Три рецептора TGF-0, I, II и III, находятся на поверхности всех клеток, опосредующие его эффект. Последующий эффект трансформируется через путь (пути) серинтреонинкиназы, ведущий к транскрипции генов, участвующих в формировании ЕСМ (внеклеточный матрикс). TGF-0 обладает фиброгенным потенциалом, стимулируя миграцию и пролиферацию фибробластов, индуцируя осаждение коллагена и фибронектина, и ингибируя деградацию ЕСМ (внеклеточный матрикс) матричными металлопротеиназами. Стимуляция осаждения ЕСМ и ингибирование распада имеет основополагающее значение для чрезмерного накопления рубцовой ткани при фиброзе.

## **PDGF**

Фактор роста тромбоцитов (PDGF) играет ключевую роль в процессе восстановления после повреждения тканей. Семейство PDGF имеет четыре различные полипептидные цепи: PDGF -A, PDGF -B, PDGF- C и PDGF-D. Цепи функционируют как димеры, связанные дисульфидной связью. Эффект PDGF опосредован двумя аналогичными рецепторами тирозинкиназы PDGF: PDGFR -а и PDGFR - $\beta$ , которые могут образовывать гомо - или гетеродимеры. Взаимодействие PDGF и PDGFR приводит к димеризации рецепторов с аутофосфорилированием остатков тирозина между рецепторами. Дальнейший последующий эффект опосредован различными молекулами, включая адаптерные белки, фосфатидилинозитол-3 киназу и фосфолипазу C- $\alpha$ . PDGF являются мощными стимулами для миграции и пролиферации фибробластов, а также гладких мышц. Ингибирует апоптоз фибробластов и других мезенхимальных клеток. Было показано, что PDGF -C и D стимулируют ангиогенез путем прямой стимуляции сосудистых стволовых клеток и путем регуляции других ангиогенных факторов. PDGF был зарегистрирован как один из факторов роста, играющих ключевую роль при фиброзе легких. Блемицин - индуцированный легочный фиброз связан с повышенной экспрессией PDGF в моделях животных. Повышенная экспрессия PDGF также была задокументирована при IPF и прогрессирующем фиброзе легких при ревматоидном артрите.

## **EGFR**

Рецептор эпидермального фактора роста (EGFR) играет роль в восстановлении тканей после травмы. Лиганды для этого рецептора включают TNF- $\alpha$ , EGF, амфиреглин (AREG), гепарин - связывающий EGF- подобный фактор роста (HB-EGF), эфиреглин (EREG), бетацеллин (BTC) и эпиген (EGN). EGFR - это мембранный рецептор тирозинкиназы, принадлежащий к подсемействам HER1/EGFR /ERBB1, HER2 /NEU/ERBB2, HER3/ERBB3 и HER4 /ERBB4. Взаимодействие между лигандами и EGFR приводит к димеризации рецепторов с аутофосфорилированием остатков тирозина во внутриклеточном домене рецептора. Дальнейшая передача сигнала ниже по течению активирует клеточные сигнальные каналы, участвующие в росте, пролиферации и выживании эпителиальных клеток. EGFR был вовлечен в патогенез легочного фиброза. Экспериментальные исследования показывают увеличение экспрессии TNF- $\alpha$  и EGFR при фиброзе блеомицина легких, а также после воздействия асбестоза легких. Доксикалин-регулируемые трансгенные мышинные модели экспрессии TNF- $\alpha$  в легких показывают прогрессирующий фиброз после индукции TNF- $\alpha$ .

Кроме того, аналогичная модель показывает, что регуляция AREG и HB-EGF приводит к легочным патологиям.

### **KL-6**

KL-6 - это высокомолекулярный гликопротеин, классифицируемый как трансмембранный муцин 1 (MUC1) человека, с поверхностной экспрессией на пневмоцитах II типа, спровоцированной разрушением воздушно-кровяного барьера и его регенерацией и, следовательно, повышенный уровень KL-6 в сыворотке крови [11, 18]. Таким образом, повышение уровня KL-6 в сыворотке крови связан с различными респираторными заболеваниями, особенно при ОРДС, интерстициальных заболеваниях легких (ILDs) или фиброзе лёгких [4]. Ретроспективное исследование, проведенное в 2020 году, показало, что более высокие концентрации KL-6 в сыворотке крови наблюдались у тяжелых пациентов с COVID-19 с признаками легочного фиброза, что может быть клинически значимым при прогнозировании фиброзного поражения легких.

### **SP-A, SP-D**

Поверхностно-активные белки А и D - это сиалогликопротеиновые комплексы, синтезированные и выделяемые альвеолярными клетками II типа, которые уменьшают напряжение воздух-жидкость и обеспечивают локальный иммунитет. SP-A может подавлять синтез ДНК и ингибировать секрецию медиаторов воспаления [32]. Когортное исследование, проведенное в Японии в 2020 году, показало эффективность пирфенидона в IPF на основе снижения концентрации SP-D в сыворотке крови, придавая к выводу, что этот биомаркер может иметь прогностическую и информативную ценность [14].

### **COVID-FIBROTIC**

В 2020 году в Испании проводилась COVID-FIBROTIC - это многоцентровое перспективное наблюдательное когортное исследование, направленное на оценку изменений в функции легких у пациентов, госпитализированных с пневмонией SARS-CoV-2, из 12 центров в Испании. Все взрослые пациенты, выписанные из больницы после пневмонии из-за COVID-19, были подходящими для исследования. Определение случая было подтверждено, что случаи COVID-19 были с положительным образцом мазка из носа и глотки, полученным при поступлении с использованием обратной транскриптазы полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (РТ-ПЦР) и клинического и визуального диагноза, совместимого с пневмонией. Пациенты проходили наблюдение в амбулаторной клинике после COVID-19, и их попросили принять участие, если

у них нет критериев исключения (возраст <18 лет, продолжительность жизни менее года, предварительный диагноз интерстициального заболевания легких или ХОБЛ).

### **ММР 1 и 7**

ММР - это семейство цинк-зависимых протеаз, ответственных за деградацию ЕСМ, играющих ключевую роль в легочном фиброзе. Провоспалительные цитокины могут увеличить экспрессию ММР и, как следствие, стимулировать ремоделирование дыхательных путей [15]. Концентрация ММР-7 коррелирует с функциональными и клиническими предикторами тяжести заболевания и смертности. Он может быть точно использован для различения ЛФ от других хронических заболеваний легких [31]. Высокие значения ММР-7, ММР-1 и периостина наблюдались у пациентов с ранними фиброзными изменениями при компьютерной томографии. ММР-7 и ММР-1 описываются как потенциальные биомаркеры периферической крови при идиопатическом легочном фиброзе. Уровни ММР-7 в сыворотке крови были связаны с ранними фиброзными изменениями при компьютерной томографии у бессимптомных пациентов с семейной интерстициальной пневмонией. Уровни периостина в сыворотке крови были выше у пациентов с идиопатическим легочным фиброзом и обратно коррелировали с легочной функцией у этих пациентов.

Биомаркеры, связанные с легочным фиброзом, такие как KL-6, SP- D, ММР-7, IL-6, обладают большим прогностическим потенциалом в ранней диагностике и лечении реакции у пациентов с легочным фиброзом после COVID-19. Антифиброзные препараты, такие как Nintedanib и Pirfenidone, проходят клинические испытания. Следует поощрять подробное наблюдение и протоколы реабилитации для улучшения качества жизни таких пациентов. Важность биомаркеров, упомянутых выше, неоспорима при мониторинге пациентов с легочным фиброзом после COVID-19, включая их потенциал в ранней диагностике и лечении.

### **Выводы**

Новые варианты в TOLLIP и SPPL2C связаны с восприимчивостью к IPF. Один новый вариант TOLLIP, rs5743890, также связан со смертностью. Эти ассоциации и сниженная экспрессия TOLLIP у пациентов с IPF, которые являются носителями SNP TOLLIP, подчеркивают важность этого гена при заболевании.

Было выяснено, что при внутривенном введении мышам синтетического микроРНК-29 при блеомициндукцированном фиброзе легких

способствует восстановлению функции эндогенной микроРНК-29, это сопровождается уменьшением экспрессии коллагена и легочного фиброза. Описанные изменения в экспрессии микроРНК у больных фиброзом легких указывают на их важную регуляторную роль при фиброзе легких и на то, что они могут служить в качестве потенциальных диагностических и прогностических биомаркеров, в том числе терапевтических мишеней.

Изученные генотипы и аллели не предрасполагают к развитию идиопатическому фиброзу легких. Результаты показывают, что генотип TGF- $\beta_1$  (кодоны 10 и 25) CC GG может быть полезным генетическим маркером для выявления подгруппы пациентов с идиопатическим фиброзом легких с благоприятным прогнозом; однако требуется валидация в более крупной выборке.

Фиброз легких является одним из основных долгосрочных осложнений у пациентов с COVID-19. Кроме того, такие факторы риска, как пожилой возраст с ограниченной функцией легких, ранее существовавшие сопутствующие заболевания, такие как диабет, сердечно-сосудистые заболевания, гипертония и ожирение, повышают риск развития фиброзных изменений легких у выживших, у которых была снижена переносимость физической нагрузки.

Биомаркеры, связанные с легочным фиброзом, такие как KL-6, SP-D, MMP-7, IL-6, обладают большим прогностическим потенциалом в ранней диагностике и эффективности лечения у пациентов с пост-COVID-19 легочным фиброзом. В настоящее время проводятся клинические испытания антифиброзных препаратов, таких как нинтеданиб и пирфенидон. Следует поощрять подробное последующее наблюдение и протоколы реабилитации для улучшения качества жизни таких пациентов.

### *Список литературы / References*

1. Игнатова Г.Л., Антонов В.Н. Терапевтические возможности реабилитации пациентов, перенесших COVID-19, с остаточными изменениями легочной ткани // *Consilium Medicum*. 2022. Т. 24, № 3. С. 177-181 (Ignatova G.L., Antonov V.N. Therapeutic possibilities of rehabilitation of patients who have undergone COVID-19 with residual changes in the lungs: A review. *Consilium Medicum*, 2022, vol. 24(3), pp. 177-181). <https://doi.org/10.26442/20751753.2022.3.201427>
2. Aneta A., Gianfranco S., Antonio P.B., Alessandro P., Federico F., Milijana J., Giulia G. Biomarkers in the management of acute heart failure: state of the art and role in COVID-19 era. *ESC Heart Failure*, 2021, vol. 8(6), pp. 4465-4483. <https://doi.org/10.1002/ehf2.13595>

3. Awad M.R., El-Gamel A., Hasleton P., Turner D.M., Sinnot P.J., Hutchinson I.V. Genotypic variation in the transforming growth factor- $\beta$ 1 gene. *Transplantation*, 1998, vol. 66(8), pp. 1014-1020. <https://doi.org/10.1097/00007890-199810270-00009>
4. Awano N., Inomata M., Kuse N., et al. Serum KL-6 level is a useful biomarker for evaluating the severity of coronavirus disease 2019. *Respir Investig*, 2020, vol. 58(6), pp. 440-447. <https://doi.org/10.1016%2Fj.resinv.2020.07.004>
5. Cui H., Xie N., Thannickal V.J., Liu G. The code of non-coding RNAs in lung fibrosis. *Cell Mol Life Sci*, 2015. vol. 72(18), pp. 3507-3519. <https://doi.org/10.1007/s00018-015-1939-6>
6. Du Bois R. M. The genetic predisposition to interstitial lung disease. *Chest*, 2002. vol. 121, pp. 14-20.
7. Fulmer J.D., Sposovska M.S., von Gal F.R., Crystal R.G., Mittal K.K. Distribution of HLA antigens in idiopathic pulmonary fibrosis. *Am Rev Respir Dis*, 1978. vol. 118(1), pp. 141-147. <https://doi.org/10.1164/arrd.1978.118.1.141>
8. Geddes D.M., Webley M., Brewerton D.A., Turton C.W., Turner-Warwick M., Murphy A.H., Ward A.M.  $\alpha_1$ -Antitrypsin phenotypes in fibrosing alveolitis and rheumatoid arthritis. *Lancet*, 1977, pp. 1049-1051. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(77\)91883-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(77)91883-9)
9. Gordon A.C., Mouncey P.R., Al-Beidh F., et al. Interleukin-6 receptor antagonists in critically ill patients with Covid-19. *N Engl J Med.*, 2021, vol. 384(16), pp. 1491-1502. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2100433>
10. Grifoni E., Valoriani A., Cei F., et al. Interleukin-6 as prognosticator in patients with COVID-19. *J Infect*, 2020. no. 81(3), pp. 452-482. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2020.06.008>
11. Hamai K., Iwamoto H., Ishikawa N., et al. Comparative study of circulating MMP-7, CCL18, KL-6, SP-A, and SP-D as disease markers of idiopathic pulmonary fibrosis. *Dis Markers*, 2016, pp. 47-59. <https://doi.org/10.1155/2016/4759040>
12. Huang L.S., Mathew B., Li H., Zhao Y., Ma S.F., Noth I., Reddy S.P., Harijith A., Usatyuk P.V., Berdyshev E.V., Kaminski N., Zhou T., Zhang W., Zhang Y., Rehman J., Kotha S.R., Gurney T.O., Parinandi N.L., Lussier Y.A., Garcia J.G., Natarajan V. The mitochondrial cardiolipin remodeling enzyme lysocardiolipin acyltransferase is a novel target in pulmonary fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, vol. 189(11), pp. 1402-1415. <https://doi.org/10.1164/rccm.201310-1917oc>
13. Hutyrová B., Pantelidis P., Drábek J., Zurková M., Kolek V., Lenhart K., Welsh K., du Bois R. M., Petrek M. Interleukin-1 gene cluster polymorphisms in sarcoidosis and idiopathic pulmonary fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med*, 2002, vol. 165(2), pp. 148-151. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.165.2.2106004>

14. Ikeda K., Chiba H., Nishikiori H., et al. Serum surfactant protein D as a predictive biomarker for the efficacy of pirfenidone in patients with idiopathic pulmonary fibrosis: a post-hoc analysis of the phase 3 trial in Japan. *Respir Res*, 2020, vol. 21 (1), 316. <https://doi.org/10.1186/s12931-020-01582-y>
15. Inoue Y., Kaner R. J., Guiot J., et al. Diagnostic and prognostic biomarkers for chronic fibrosing interstitial lung diseases with a progressive phenotype. *Chest*, 2020, vol. 158(2), pp. 646-659. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.03.037>
16. Kaufmann C.C., Ahmed A., Burger A.L., Muthspiel M., Jäger B., Wojta J., Huber K. Biomarkers Associated with Cardiovascular Disease in COVID-19. *Cells*, 2022 Mar 8, vol. 11(6), 922. <https://doi.org/10.3390/cells11060922>
17. Khalil N., O'Connor R.N., Unruh H.W., Warren P.W., Flanders K.C., Kemp A., Berezney O.H., Greenberg A.H. Increased production and immunohistochemical localization of transforming growth factor- $\beta$  in idiopathic pulmonary fibrosis. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 1991, vol. 5(2), pp. 155-162. <https://doi.org/10.1165/ajrcmb/5.2.155>
18. Ko U.W., Cho E.J., Oh H.B., Koo H.J., Do K.H., Song J.W. Serum Krebs von den Lungen-6 level predicts disease progression in interstitial lung disease. *PLoS One*, 2020, vol. 15(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244114>
19. Kropski J.A., Blackwell T.S., Loyd J.E. The genetic basis of idiopathic pulmonary fibrosis. *Eur Respir J*, 2015, vol. 45(6), pp. 1717-1727. <https://doi.org/10.1183/09031936.00163814>
20. Li P., Li J., Chen T., Wang H., Chu H., Chang J., Zang W., Wang Y., Ma Y., Du Y., Zhao G., Zhang G. Expression analysis of serum microRNAs in idiopathic pulmonary fibrosis. *Int J Mol Med*, 2014, vol. 33(6), pp. 1554-1562. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2014.1712>
21. Mori M., Kida H., Morishita H., Goya S., Matsuoka H., Arai T., Osaki T., Tachibana I., Yamamoto S., Sakatani M., et al. Microsatellite instability in transforming growth factor- $\beta_1$  type II receptor gene in alveolar lining epithelial cells of idiopathic pulmonary fibrosis. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 2001, vol. 24(4), pp. 398-404. <https://doi.org/10.1165/ajrcmb.24.4.4206>
22. Nakao A., Fujii M., Matsumura R., Kumano K., Saito Y., Miyazono K., Iwamoto I. Transient gene transfer and expression of Smad7 prevents bleomycin-induced lung fibrosis in mice. *J Clin Invest*, 1999, vol. 104(1), pp. 5-11. <https://doi.org/10.1172/jci6094>
23. Noth I., Zhang Y., Ma S. F., Flores C., Barber M., Huang Y., Broderick S. M., Wade M. S., Hysi P., Scuirba J., Richards T. J., Juan-Guardela B. M., Vij R., Han M. K., Martinez F. J., Kossen K., Seiwert S. D., Christie J. D., Nicolae D., Kaminski N., Garcia J. G. Genetic variants associated with idiopathic pulmonary fibrosis sus-



- ceptibility and mortality: a genome-wide association study. *Lancet Respir Med*, 2013, vol. 1(4), pp. 307-309. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(13\)70045-6](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(13)70045-6)
24. Pantelidis P., Fanning G. C., Wells A. U., Welsh K. I., du Bois R. M. Analysis of tumor necrosis factor- $\alpha$ , lymphotoxin- $\alpha$ , tumor necrosis factor receptor II, and interleukin-6 polymorphisms in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001, vol. 163(6), pp. 1432-1436. <https://doi.org/10.1164/ajrcm.163.6.2006064>
  25. Renzoni E., Lympany P., Sestini P., Pantelidis P., Wells A., Black C., Welsh K., Bunn C., Knight C., Foley P., et al. Distribution of novel polymorphisms of the interleukin-8 and CXC receptor 1 and 2 genes in systemic sclerosis and cryptogenic fibrosing alveolitis. *Arthritis Rheum*, 2000, vol. 43(7), pp. 1633-1640. [https://doi.org/10.1002/1529-0131\(200007\)43:7%3C1633::aid-anr29%3E3.0.co;2-9](https://doi.org/10.1002/1529-0131(200007)43:7%3C1633::aid-anr29%3E3.0.co;2-9)
  26. Riha R. L., Yang I. A., Rabnott G. C., Tunnicliffe A. M., Fong K. M., Zimmerman P. V. Cytokine gene polymorphisms in idiopathic pulmonary fibrosis. *Intern Med J*, 2004, vol. 34(3), pp. 126-129. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0903.2004.00503.x>
  27. Santana A., Saxena B., Noble N. A., Gold L. I., Marshall B.C. Increased expression of transforming growth factor  $\beta$  isoforms ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ) in bleomycin induced pulmonary fibrosis. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 1995, vol. 13(1), pp. 34-44. <https://doi.org/10.1165/ajrcmb.13.1.7541221>
  28. Selman M., King T. E., Pardo A. Idiopathic pulmonary fibrosis: prevailing and evolving hypotheses about its pathogenesis and implications for therapy. *Ann Intern Med*, 2001, vol. 134(2), pp. 136-151. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-134-2-200101160-00015>
  29. Stock C.J., Soto H., Fonseca C., Banya W.A., Molyneaux P.L., Adam ali H., Russell A.M., Denton C.P., Abraham D.J., Hansel D.M., Nicholson A.G., Mahler T.M., Wells A.U., Lindahl G.E., Renzoni E.A. Mucin 5B promoter polymorphism is associated with idiopathic pulmonary fibrosis but not with development of lung fibrosis in systemic sclerosis or sarcoidosis. *Thorax*, 2013, vol. 68(5), pp. 436-441. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2012-201786>
  30. Stuart B.D., Lee J.S., Kozlitina J., Noth I., Devine M.S., Glazer C.S., Torres F., Kaza V., Girod C.E., Jones K.D., Elicker B.M., Ma S.F., Vij R., Collard H.R., Wolters P.J., Garcin C.K. Effect of telomere length on survival in patients with idiopathic pulmonary fibrosis: an observational cohort study with independent validation. *Lancet Respir Med*, 2014, vol. 2(7), pp. 557-565. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(14\)70124-9](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(14)70124-9)
  31. Tzouveleakis A., Herazo-Maya J. D., Slade M., et al. Validation of the prognostic value of MMP-7 in idiopathic pulmonary fibrosis. *Respirology*, 2017, vol. 22(3), pp. 486-493. <https://doi.org/10.1111%2Fresp.12920>



32. Vázquez de Lara L., Becerril C., Montaña M., et al. Surfactant components modulate fibroblast apoptosis and type I collagen and collagenase-1 expression. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2000, vol. 279(5). <https://doi.org/10.1152/ajplung.2000.279.5.1950>
33. Whyte M., Hubbard R., Meliconi R., Whidborne M., Eaton V., Bingle C., Timms J., Duff G., Facchini A., Pacilli A., et al. Increased risk of fibrosing alveolitis associated with interleukin-1 receptor antagonist and tumor necrosis factor- $\alpha$  gene polymorphisms. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000, vol. 162(2 Pt 1), pp. 755-758. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.162.2.9909053>
34. Yang I.V., Schwartz D.A. Epigenetics of idiopathic pulmonary fibrosis. *Transl Res*, 2015, vol. 165(1), pp. 48-60. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2014.03.011>
35. Ziesche R., Hofbauer E., Witmann K., Petkov V., Block L. H. A preliminary study of long-term treatment with interferon  $\gamma$ -1b and low-dose prednisolone in patients with idiopathic pulmonary fibrosis. *N Engl J Med*, 1999, vol. 341(17), pp. 1264-1269. <https://doi.org/10.1056/nejm199910213411703>
36. Zou J. N., Sun L., Wang B. R., et al. The characteristics and evolution of pulmonary fibrosis in COVID-19 patients as assessed by AI-assisted chest HRCT. *PLoS One*, 2021, vol. 16(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248957>

### ВКЛАД АВТОРОВ

**Балинян Д.Б.:** подготовка текста статьи, общее руководство направлением исследования.

**Ефремова О.А.:** обработка полученных результатов, редактирование текста рукописи.

**Камышникова Л.А.:** анализ научной литературы по теме статьи, написание текста рукописи.

**Дуброва В.А.:** обзор публикаций по теме статьи, получение данных.

**Благов А.Ю.:** написание текста статьи, анализ научной литературы по теме статьи.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Diana B. Balinyan:** preparation of the text of the article, general management of the research direction.

**Olga A. Efremova:** processing of the obtained results, editing the text of the manuscript.

**Lyudmila A. Kamyshnikova:** analysis of scientific literature on the topic of the article, writing the text of the manuscript.

**Vladislav A. Dubrova:** review of publications on the topic of the article, obtaining data.

**Alexey Yu. Blagov:** writing the text of the article, analysis of scientific literature on the topic of the article.

#### **ДАнные ОБ АВТОРАХ**

**Балинян Диана Борисовна**, аспирант кафедры факультетской терапии медицинского института

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

*ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация*  
*skorpionchik1998@mail.ru*

**Ефремова Ольга Алексеевна**, доктор медицинских наук, доцент, заведующая кафедрой факультетской терапии медицинского института

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

*ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация*  
*efremova.bgu@gmail.com*

**Камышниковая Людмила Александровна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской терапии медицинского института

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

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

**Дуброва Владислав Александрович**, ассистент кафедры факультетской терапии медицинского института

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

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

**Благов Алексей Юрьевич**, аспирант кафедры факультетской терапии медицинского института

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет*

*ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Российская Федерация*  
*alexei-2012@inbox.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Diana B. Balinyan**, Graduate Student of the Department of Faculty Therapy of the Medical Institute

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
skorpionchik1998@mail.ru*

**Olga A. Efremova**, Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Faculty Therapy of the Medical Institute

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
efremova.bgu@gmail.com  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6395-1626>.*

**Lyudmila A. Kamyshnikova**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Faculty Therapy of the Medical Institute

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
kamyshnikova@bsu.edu.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6129-0625>.*

**Vladislav A. Dubrova**, Assistant of the Department of Faculty Therapy of the Medical Institute

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
dubrova@bsu.edu.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3849-1314>*

**Alexey Yu. Blagov**, Postgraduate Student of the Department of Faculty Therapy of the Medical Institute

*Belgorod State National Research University  
85, Pobedy Str., Belgorod, 308015, Russian Federation  
alexei-2012@inbox.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8020-7794>*

Поступила 27.06.2023

После рецензирования 28.07.2023

Принята 01.08.2023

Received 27.06.2023

Revised 28.07.2023

Accepted 01.08.2023

## ОПЫТ РЕГИОНОВ

## EXPERIENCE OF REGIONS

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-709

УДК 331.526



Научная статья | Социальная структура, социальные институты, процессы

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ  
РАЗВИТИЯ ЗАНЯТОСТИ НАСЕЛЕНИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОЙ АЗИИ***С.Н. Иванова*

**Обоснование.** В статье определены пространственные характеристики развития занятости населения территорий Северной Азии. Особое значение приобретает пространственное распределение трудовых ресурсов. Северная Азия является стратегически значимой территорией, поскольку в ней сосредоточен основной природно-ресурсный потенциал нашей страны, на которой проживает четверть всего населения и производится почти треть ВРП. Решение проблем асимметрии социально-экономического развития между регионами является базовым условием обеспечения национальной безопасности.

**Цель.** Определить особенности пространственного развития занятости населения и изучить влияние общенациональных тенденций, отраслевой специализации, субрегиональной специфики и внутрирегионального регулирования на рынок труда территорий Северной Азии.

**Материалы и методы.** Используются методы сравнительного анализа, экономико-статистические методы. Апробирован адаптированный метод структурных сдвигов для оценки развития занятости населения регионов Северной Азии в части пространственной локализации. Информационной базой послужили статданные.

**Результаты.** Установлены причины и роль отдельных трансформаций в структуру занятости населения отдельно взятого региона. На основе расчёта коэффициента локализации выделены территории Северной Азии, в которых сельское хозяйство в рассматриваемый период является: базовым

видом экономической деятельности; местным (регионального значения) или находится вне специализации региона. Заключение. Метод структурных сдвигов позволяет сформулировать углублённые выводы о трансформациях на региональных рынках труда. Исследования показали, что для повышения привлекательности Северной Азии в части инвестиций и снижения миграционных рисков, особенно сельских территорий, требуется принятие конкретных мер повышения доступности услуг в различных сферах жизнедеятельности. Основные выводы и рекомендации могут быть использованы органами власти при совершенствовании программ содействия занятости и комплексного развития регионов Северной Азии.

**Ключевые слова:** структура занятости населения; сельское хозяйство; лесное хозяйство; рынок труда; Северная Азия

**Для цитирования.** Иванова С.Н. Пространственные аспекты развития занятости населения территорий Северной Азии // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №1. С. 381-404. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-709

Original article | Social Structure, Social Institutions, Processes

## SPATIAL ASPECTS OF EMPLOYMENT DEVELOPMENT IN NORTHERN ASIA

*S.N. Ivanova*

**Background.** The article deals with open aspects of the development of employment in North Asia. Of particular importance is the location of labor resources. Solving the problem of the totality of socio-economic development between regions is a basic condition for ensuring national security. Northern Asia is an appraisal area, since it contains the main natural resource potentials of our country, which account for a quarter of the total population and produce almost a third of GRP.

**Purpose.** To study the features of the spatial development of employment of the population and the impact of national trends, industry specialization, sub-regional specifics and intra-regional regulation on the labor market of the territories of North Asia.

**Materials and methods.** Methods of comparative analysis and economic-statistical methods are used. A comprehensive assessment of the spatial aspects of the development of employment in the regions of North Asia was carried out on

*the basis of an adapted method of structural shifts. The information base was the data of the Federal State Statistics Service.*

**Results.** *The causes and contribution of individual changes in the structure of employment of the population of a particular region are identified. Based on the calculation of the localization coefficient, the territories of North Asia were identified, in which agriculture in the period under review is: the basic type of economic activity; local (regional significance) or is outside the specialization of the region.*

**Conclusion.** *The method of structural shifts makes it possible to formulate in-depth conclusions about the transformations in the regional labor markets. Studies have shown that in order to increase the attractiveness of North Asia in terms of investment and reduce migration risks, especially in rural areas, it is necessary to take measures aimed at increasing the availability of infrastructure services, including social, transport, medical, and educational services. The main conclusions and recommendations can be used by the legislative and executive authorities in the development of programs to promote employment and socio-economic development of the regions of Asian Russia.*

**Keywords:** *employment structure; agriculture; forestry; labor market; North Asia*

**For citation.** *Ivanova S.N. Spatial Aspects of Employment Development in Northern Asia. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 381-404. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-709*

Территория Северной Азии (СА) состоит из азиатской части России и представлена территориями Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов Российской Федерации. Эти территории занимают 76,7% площади страны, на которой проживает 25,5% занятого населения и производится 28,5% ВРП [24, с. 460-461] и сосредоточен основной природно-ресурсный потенциал нашей страны. По территории 15 регионов проходит сухопутная граница с соседними государствами. СА имеет серьезное геополитическое значение, усилившееся в связи с необходимостью решения новых задач, и поэтому является зоной стратегических интересов России [13]. При этом в данных регионах отмечаются наихудшие индексы ряда показателей, характеризующие социальную безопасность территории и качество социальной среды [11, с. 328-330, 18]. Отмечается «асимметрия развития как между центральной и азиатской частями России в целом», так и между территориями внутри СА [14, с. 93-96], «значительный ущерб природной и социальной среде» [15, 17, 23], моноотраслевой характер экономики [22, с. 12-13].

В регионах СА остро стоит проблема загрязненности атмосферного воздуха [17], что обуславливает высокую заболеваемость населения и

необходимость разработки мероприятий по низкоуглеродному развитию территорий, в том числе переводу угольной генерации частного сектора на экологически чистое топливо [21, 35], города рассматриваемой территории включены в Федеральный проект «Чистый воздух» и представляют большую часть ее участников.

Обеспечение рационального использования ресурсов, в том числе трудовых становятся значимыми задачами развития природно-хозяйственного комплекса любой страны, поэтому исследования пространственного развития занятости населения, концентрация трудовых ресурсов или рассеянность в пределах заключающего их географического пространства являются актуальными.

Ряд исследований [31, 38] показывает, что «территориальное распределение занятого населения не является случайным». Индикаторы рынка труда позволяют оценить влияние различных факторов на пространственное развитие страны и регионов России [27]. Для оценки структурных сдвигов в занятости населения в активно используется метод сдвиг-компонент (сдвиг-составляющих, сдвиг-долей). В настоящее время теоретическим и прикладным аспектам изучения структурных сдвигов метода посвящено множество работ. Теоретическим аспектам посвящены работы [28, 37], способствующие расширению методологической базы и методов измерения наблюдаемых трансформаций в сфере занятости. Эмпирические исследования заняты количественной оценке на уровне национальных экономик [3, 34], а также на уровне отдельных регионов [2, 8] или отраслей экономики [32, 36]. Совершенствуются методики анализа структурных сдвигов [19, 20]. Отмечается потенциальное влияние роста удаленной занятости на пространственное развитие территорий, в том числе Азиатской части России [33].

Разработке новых инструментов стратегического пространственного развития, социальной, демографической и миграционной политики государства посвящены работы [5, 6, 9, 12, 30]. Развитие сельских территорий и проблемы повышения эффективности предприятий АПК в Сибири и Дальнем Востоке отражены в исследованиях [1, 4, 7, 10, 26]. Тем не менее, проблемы структуры занятости в Северной Азии в существующей литературе представлены недостаточно [16], чем обуславливается актуальность данной работы.

Данная статья является продолжением цикла публикаций автора, посвященных исследованию социальных проблем и противоречий развития социальной сферы на территориях СА [10, 11]. В статье отражены результаты исследования пространственных аспектов развития занятости населения территорий СА.

**Цель исследования:** определение особенностей пространственного развития занятости населения и изучении влияния общенациональных тенденций, отраслевой специализации, субрегиональной специфики и внутри-регионального регулирования на рынок труда территорий Северной Азии.

### Материалы и методы исследования

В исследовании были использованы методы сравнительного анализа и экономико-статистические методы. Анализ структурных сдвигов занятости населения проведён с использованием адаптированного метода сдвиг-компонентов на основе выделения факторов влияния на национальном, субрегиональном, региональном и отраслевом уровнях, определивших изменение численности занятых в различных видах экономической деятельности. Информационной базой послужили статданные за 2010-2021 гг.

**Занятость населения и рынок труда Северной Азии.** Численность занятого населения азиатской части России неуклонно снижалась с 2010 года, а европейской части – с 2015 года, после стремительного снижения 2020 года, вызванного кризисом на фоне начала пандемии коронавируса, ситуация стабилизировалась в 2021 году, однако показатели остались ниже базисного периода (рис. 1). То, что большая часть из числа выбывших имели высшее или среднее профессиональное образование, характеризует ухудшение ситуации на рынке труда СА, происходящее на фоне общего сокращения численности населения в трудоспособном возрасте.

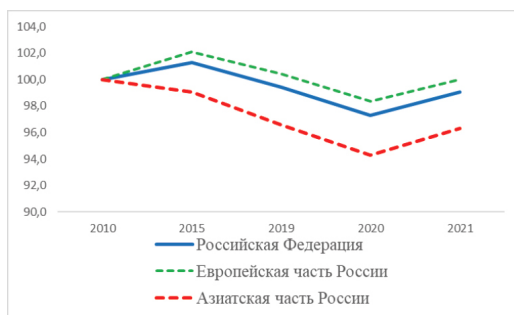
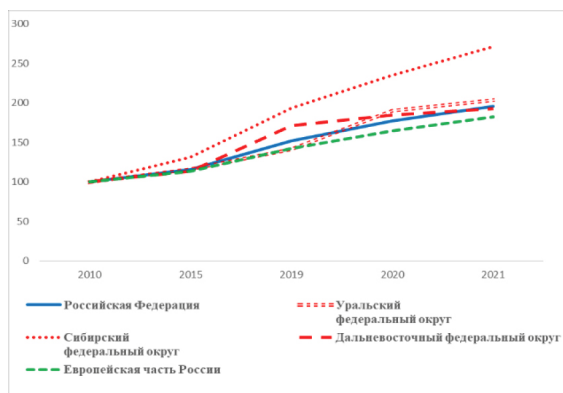


Рис. 1. Изменение численности занятого населения, в % к 2010 г.

На территориях Северной Азии спрос на рабочую силу рос более ускоренными темпами, чем в среднем по России. Внутренняя трудовая миграция смягчает проблему дефицита экономически активного населения и влияет на структурные сдвиги занятости [25, с. 38], рис. 2.





**Рис. 2.** Динамика спроса на рабочую силу, в % к 2010 г.  
Источник рассчитано автором по [19]

Основными регионами-работодателями, являются Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа, которые принимают 123,6 тыс. чел, или 29,1% к численности занятого населения региона и 188,6 тыс. чел, или 17,4% соответственно (табл. 1). На территории 12 регионов СА отмечается положительное сальдо трудовой миграции. В эту группу попали регионы с высокими и средними значениями интегрального индекса социальной устойчивости [11]. Основными регионами-работодателями, являются регионы, благополучие которых опирается на добычу природных богатств и укрепляется диверсификацией экономической деятельности, практикующие вахтовые методы освоения территории. К сожалению, исчезла советская система освоения новых территорий, которая была ориентирована на постоянное население и сопровождалась строительством новых населенных пунктов. В настоящее время, по вполне понятным экономическим, экологическим, климатическим причинам, развивается вахтовый метод. При сокращении местного населения, не развиваются отрасли, ориентированные на его обслуживание, что ведет к дальнейшему сокращению инфраструктурной обеспеченности территорий. В 13 регионах СА отмечается отрицательное сальдо трудовой миграции. В эту группу попали регионы с низкими и средними значениями интегрального индекса социальной устойчивости. В данных регионах отмечается низкий уровень доходов и высокий уровень бедности населения. В Республике Тыва и Челябинской области потоки выезжающего и прибывающего занятого населения равны.

Отмечается развитие потребности регионов в трудовых ресурсах, растет спрос на наукоемкие знания и навыки, т.е. высококвалифицированных специалистов, которые зачастую, не проживают в регионах СА постоянно, работая вахтовым методом. Переезжая, квалифицированные специалисты перевозят с собой все свои знания, способности и опыт, т.е. человеческий капитал, на новое место, поэтому в целом, регионы-доноры проигрывают от миграционных процессов.

Таблица 1.

**Показатели миграции занятого населения Северной Азии**

	Эмиграция занятого населения, тыс. чел.	Иммиграция занятого населения, тыс. чел.
Курганская область	23,5	0,7
Свердловская область	22,8	21,6
Тюменская область без автономных округов	29,8	50,6
Ханты-Мансийский автономный округ	7,4	188,6
Ямало-Ненецкий автономный округ	0,1	123,6
Челябинская область	18,9	18,9
Республика Алтай	2,4	0,8
Республика Тыва	0,8	0,8
Республика Хакасия	10,2	2,6
Алтайский край	24,9	2,7
Красноярский край	16,1	35,0
Иркутская область	13,6	16,7
Кемеровская область	14,9	4,4
Новосибирская область	19,5	10,5
Омская область	60,7	3,3
Томская область	10,3	9,6
Республика Бурятия	11,0	3,9
Республика Саха (Якутия)	0,4	34,8
Забайкальский край	9,1	3,7
Камчатский край	0,2	9,4
Приморский край	10,8	9,8
Хабаровский край	6,5	18,1
Амурская область	4,3	11,1
Магаданская область	2,1	6,6
Сахалинская область	1,1	10,2
Еврейская автономная область	7,0	2,3
Чукотский автономный округ	...	4,0

Источник: составлено автором по [19].

Для анализа причин изменений в структуре занятости населения была использована адаптированная методика структурных сдвигов. Для целей данного исследования, помимо выделения традиционных составляющих, определяющих вклад: национальной составляющей (NS) (отражающей общие тенденции развития страны); отраслевой (IM) (показывающей тенденции развития конкретной отрасли экономики); региональной (LF), представляющей влияние региональной системы государственного управления, была введена субрегиональная составляющая Северной Азии (NA), отражающая влияние общей ситуации в данном субрегионе (табл.2).

Таблица 2.

**Формулы расчета структурных изменений занятости**

Компонент	Формула расчета	Описание обозначений
Национальная составляющая (NS)	$NS = E_{rb}^i * \left( \frac{E_{nt}}{E_{nb}} - 1 \right)$	E – численность занятых, тыс. чел.; i- вид экономической деятельности (ВЭД); г- значение регионального показателя; NA - показатель по Северной Азии; n- показатель в целом по стране; t- анализируемый год; b- базисный год
Отраслевая составляющая (IM)	$IM = E_{rb}^i * \left( \frac{E_{nt}^i}{E_{nb}^i} - \frac{E_{nt}}{E_{nb}} \right)$	
Субрегиональная составляющая Северной Азии (NA)	$NA = E_{rb}^i * \left( \frac{E_{NA}^i}{E_{NA}^i} - \frac{E_{nt}}{E_{nb}} \right)$	
Региональная составляющая (LF)	$LF = E_{rb}^i * \left( \frac{E_{rt}^i}{E_{rb}^i} - \frac{E_{NA}^i}{E_{NA}^i} \right)$	
Суммарное изменение региональной занятости (R)	$R = NS + IM + NA + LF$	

**Применение адаптированной методики на примере Республики Бурятия.** В качестве базисного года выбран 2010, в качестве анализируемого 2021. Исходные данные – среднегодовая численность занятых в экономике Республики Бурятия, Северной Азии, Российской Федерации в разрезе видов экономической деятельности (ВЭД) (табл. 3).

За рассматриваемый период в Республике Бурятия, как и в целом по России и на территориях Северной Азии сократилась общая численность занятых. Вместе с тем, в регионе возросла численность занятых в 3 ВЭД (оптовой и розничной торговле, транспортировке и хранении, деятельности гостиниц).

Таблица 3.

**Динамика среднегодовой численности занятых в экономике  
в 2010, 2021 гг., (тыс. человек)**

	Российская Федерация		Северная Азия		Республика Бурятия	
1	2	3	4	5	6	7
	2010	2021	2010	2021	2010	2021
Всего	71493,1	70818,0	18716,1	18021,3	401,0	370,9
в том числе по ВЭД*						
1	6049,0	4490,6	1443,2	1029,4	33,7	25,9
2	1080,6	1158,8	697,7	756,3	7,8	7,1
3	10526,1	9974,4	2521,8	2319,6	44,9	36,9
4	1682,5	1583,0	581,2	522,2	16,2	13,1
5	746,5	708,8	195,4	166,0	4,2	3,7
6	6153,0	6496,3	1503,9	1546,9	28,7	23,7
7	12546,2	13236,3	3022,1	3136,5	63,5	81,8
8	5098,4	5636,9	1507,7	1517,4	20,6	23,6
9	1500,3	1821,9	372,1	416,5	7,7	8,9
10	1332,4	1556,1	300,2	330,9	6,9	5,1
11	1803,6	1899,5	456,7	458,2	10,2	6,2
12	5872,3	5320,7	1679,5	1523,7	45,1	38,4
13	4552,0	4448,7	1299,5	1231,3	32,8	30,1
14	12491,7	12486,0	3122,3	3066,4	78,4	66,4

Источник: составлено и рассчитано автором по [29]

\*1 - Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; 2 - добыча полезных ископаемых; 3 - обрабатывающие производства; 4- обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; 5- водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений; 6- строительство; 7-торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; 8-транспортировка и хранение; 9- деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; 10- деятельность в области информации и связи; 11- деятельность по операциям с недвижимым имуществом; 12- образование; 13- деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; 14- другие виды деятельности)

На субрегиональном и национальном уровнях рост числа занятых отмечается в 7 ВЭД. Для выяснения факторов структурных трансформаций необходимы дополнительные инструменты анализа. Расчет компонен-

тов структурных сдвигов по адаптированной методике (на примере ВЭД «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» (Сельское хозяйство) представлен ниже.

$$NS = 33,7*(70818/71493,1-1) = -0,32;$$

$$IM = 33,7*(4490,6 /6049,0 -70818/71493,1) = -8,36;$$

$$NA = 33,7*(1029,4/1443,2-4490,6 /6049,0) = -0,98;$$

$$LF = 33,7*(25,9/33,7-1029,4/1443,2) = 1,88;$$

$$R = NS + IM + NA + LF = -7,8;$$

$$\text{Суммарное изменение численности по сельскому хозяйству} = E_{2021} - E_{2010} = R = NS + IM + NA + LF = -7,8$$

Результаты расчета показывают, что снижение численности занятых в сельском хозяйстве, вызваны в большей степени отраслевыми ( $IM = -8,36$ ), затем субрегиональными ( $NA = -0,98$ ) и национальными ( $NS = -0,32$ ) тенденциями, а благодаря региональной компоненте ( $LF = 1,88$ ), которое оказало смягчающий эффект, уменьшение численности занятых в данной отрасли экономики не стало еще более высоким. Расчет по адаптированному методу структурных сдвигов выявил наличие положительных (смягчающих) и отрицательных (отягощающих) эффектов, влияющих на изменение численности занятых в отраслях экономики регионов, в том числе Республики Бурятия (табл. 4). Для удобства восприятия цветным фоном в таблице показаны положительные эффекты по составляющим  $IM$ ,  $NA$ ,  $LF$  и положительные значения суммарного изменения  $R$  численности занятого населения по отраслям экономики.

В целом, отрицательная динамика занятости Республики Бурятия определяется отраслевыми тенденциями сельского хозяйства, образования, усилившиеся аналогичными тенденциями на субрегиональном и региональном уровнях. Высокое отрицательное значение региональной компоненты в сфере обрабатывающих производств усугубилось отраслевыми, субрегиональными и национальными составляющими. Благоприятные отраслевые тенденции по 8 ВЭД, по 2 ВЭД на субрегиональном, 5 ВЭД региональном уровнях, в конечном итоге дали положительную динамику лишь по 3 ВЭД (торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; транспортировка и хранение; деятельность гостиниц и предприятий общественного питания), поскольку региональные составляющие по оставшимся ВЭД имели отрицательный эффект. Использование адаптированного метода структурных сдвигов позволяет сформулировать расширенные выводы о трансформациях на региональных рынках труда.

*Таблица 4*  
**Структурные сдвиги в занятости населения Республики Бурятия  
с 2010 по 2021 г., тыс. человек**

	Факторы				R
	NS	IM	NA	LF	
Всего	-3,79	0,00	-11,10	-15,17	-30,1
в том числе по ВЭД*					
1	-0,32	-8,36	-0,98	1,88	-7,8
2	-0,07	0,63	0,09	-1,31	-0,7
3	-0,42	-1,93	-1,25	-4,38	-8,0
4	-0,15	-0,81	-0,69	-1,49	-3,1
5	-0,04	-0,17	-0,42	0,11	-0,5
6	-0,27	1,87	-0,78	-5,79	-5,0
7	-0,60	4,09	-1,09	15,86	18,3
8	-0,19	2,37	-2,05	2,84	3,0
9	-0,07	1,73	-0,74	0,25	1,2
10	-0,07	1,23	-0,45	-2,54	-1,8
11	-0,10	0,64	-0,51	-4,01	-4,0
12	-0,43	-3,81	0,05	-2,49	-6,7
13	-0,31	-0,43	-0,98	-0,97	-2,7
14	-0,74	0,70	-1,37	-10,56	-12,0
Положительный эффект (количество ВЭД) _	0	8	2	5	3

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ факторов по адаптированному методу структурных сдвигов выявил наличие положительных и отрицательных эффектов по различным компонентам структурных сдвигов NS, IM, NA и LF, влияющих на изменение численности занятых территории Северной Азии в отраслях экономики.

Отмечены положительные эффекты: а) по отраслевой компоненте (IM) по 8 ВЭД (добыча полезных ископаемых; строительство; торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; транспортировка и хранение; деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; деятельность в области информации и связи; деятельность по операциям с недвижимым имуществом; другие виды деятельности); б) по субрегиональной компоненте Северной Азии (NA) по 2 ВЭД (добыча полезных ископаемых и образование).

Таблица 5

**Распределение положительных эффектов региональной составляющей (LF) и изменения региональной занятости (R) в группах регионов**

Группы регионов с:	Виды экономической деятельности*													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
высокими значениями интегрального индекса социальной устойчивости														
Ямало-Ненецкий автономный округ	LF	LF	LF	LF	LF	LF			LF	LF	LF	LF	LF	LF
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	LF	LF	LF		LF		LF			LF	LF	LF	LF	LF
Сахалинская область	LF	LF		LF	LF		LF			LF		LF	LF	LF
Чукотский автономный округ	LF	LF	LF	LF	LF	LF			LF	LF				
Камчатский край	LF	LF	LF		LF	LF						LF	LF	LF
Томская область	LF			LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	
Свердловская область					LF	LF		LF		LF	LF	LF		LF
Тюменская область	LF	LF		LF	LF		LF					LF	LF	
средними значениями интегрального индекса социальной устойчивости														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Хабаровский край	LF	LF		LF		LF	LF	LF	LF					
Челябинская область	LF		LF	LF	LF	LF	LF	LF		LF	LF	LF		
Новосибирская область		LF	LF	LF		LF	LF		LF	LF	LF	LF	LF	
Республика Саха (Якутия)	LF		LF	LF	LF	LF			LF			LF	LF	
Приморский край	LF					LF		LF			LF		LF	
Иркутская область		LF				LF		LF	LF					LF
Омская область	LF		LF				LF		LF	LF	LF			
Красноярский край			LF		LF	LF					LF	LF	LF	LF
Кемеровская область								LF	LF		LF	LF		LF
низкими значениями интегрального индекса социальной устойчивости														
Амурская область				LF		LF								LF
Республика Хакасия	LF											LF	LF	
Алтайский край			LF			LF	LF	LF		LF	LF			
Еврейская автономная область	LF	LF									LF			
Забайкальский край			LF	LF			LF	LF	LF					
Республика Бурятия	LF				LF		LF	LF	LF					
Курганская область		LF		LF										
Республика Алтай	LF					LF		LF			LF	LF	LF	
Положительный IM отраслевой эффект по ВЭД														
R Рост региональной занятости по ВЭД														

В регионах Северной Азии положительные эффекты региональной компоненты (LF) варьируются от 2 до 12 ВЭД; суммарное изменение количества занятых (R) с положительной динамикой от 2 до 10 ВЭД

(табл.5). Определены средние значения LF с положительным эффектом для групп регионов с высокими, средними и низкими значениями интегрального индекса социальной устойчивости [11, С.327-328]. Положительные эффекты региональной составляющей и итоговое изменение региональной занятости в группах регионов Северной Азии: а) для регионов с «высокими значениями интегрального индекса социальной устойчивости», количество ВЭД по региональной составляющей (LF) = 9; итоговому изменению региональной занятости (R) = 8; б) для регионов со «средними значениями интегрального индекса социальной устойчивости» (LF) = 7; (R) = 5; в) для регионов с «низкими значениями интегрального индекса социальной устойчивости» (LF) = 4; (R) = 3.

По данным таблицы наглядно видно пространственное распределение положительных эффектов региональной составляющей (LF) и отрасли экономики, в которых наблюдается рост или снижение занятости. На территории Северной Азии, за исключением Камчатского края, негативные отраслевые эффекты в сельском хозяйстве (табл.4, табл.5), несмотря на благоприятные региональные эффекты определили сокращение занятости в данной отрасли.

Негативные отраслевые тенденции в сфере образования преодолены положительными эффектами субрегиональной компоненты и эффективными действиями региональных систем управления в большей части регионов с высокими значениями интегрального индекса социальной устойчивости. В сферах здравоохранения и социальных услуг преодолеть негативные отраслевые тенденции удалось в части регионов Северной Азии.

Региональные эффекты в Чукотском автономном округе, Новосибирской области, Республики Саха (Якутия), Красноярского и Забайкальского краев смогли преодолеть негативные отраслевые тенденции в обрабатывающих производствах. Благоприятные отраслевые и региональные тенденции определили рост занятости по следующим ВЭД: добыче полезных ископаемых; строительстве; оптовой и розничной торговле; строительстве, транспортировке и хранении; деятельности гостиниц и предприятий общественного питания, в области информации и связи и операциям с недвижимым имуществом.

**Развитие сельского хозяйства на территории Северной Азии.** Для выявления территорий Северной Азии, перспективных для развития сельского хозяйства с позиции занятости населения, был использован «коэффициент локализации» предложенный в [2, 19], вычисляемый отношением доли занятых по данной отрасли в регионах к соответствующей доле занятых в российской экономике. На основе расчёта коэффициента локализации



выделены территории, в которых сельское хозяйство в рассматриваемый период является: базовым видом экономической деятельности; местным (регионального значения) или находится вне специализации региона (табл.6).

Таблица 6.

**Группировка территорий Северной Азии по региональной специализации по ВЭД «Сельское хозяйство»**

		Коэффициент локализации	
		2010	2021
<b>Базовый ВЭД (коэффициент локализации более 1,716)</b>			
1	Республика Алтай	2,219	2,475
2	Камчатский край	1,266	1,815
3	Алтайский край	1,943	1,809
4	Омская область	1,752	1,793
<b>ВЭД местного значения (коэффициент локализации 0,957-1,716)</b>			
1	Курганская область	1,409	1,421
2	Приморский край	0,955	1,307
3	Еврейская автономная область	0,818	1,168
4	Забайкальский край	1,188	1,122
5	Республика Бурятия	0,993	1,101
6	Республика Тыва	0,930	1,062
7	Красноярский край	1,089	1,049
8	Иркутская область	1,102	1,049
<b>Регион не специализируется (коэффициент локализации менее 0,956)</b>			
1	Республика Хакасия	0,676	0,946
2	Республика Саха (Якутия)	0,822	0,929
3	Сахалинская область	0,817	0,909
4	Амурская область	1,095	0,902
5	Тюменская область без автономных округов	0,827	0,857
6	Новосибирская область	1,104	0,809
7	Чукотский автономный округ	0,595	0,806
8	Челябинская область	0,679	0,804
9	Томская область	0,793	0,792
10	Хабаровский край	0,626	0,650
11	Кемеровская область	0,455	0,458
12	Магаданская область	0,394	0,437
13	Свердловская область	0,560	0,425
14	Ямало-Ненецкий автономный округ	0,181	0,212
15	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	0,187	0,197

Сельское хозяйство является базовым ВЭД на территориях с коэффициентом локализации более 1,716. В данных регионах имеются условия для экспорта продукции сельского хозяйства за пределы региона. Значение коэффициента локализации в пределах 0,957-1,716 характеризует территории, в которых сельское хозяйство в основном ориентировано на удовлетворение потребностей внутреннего рынка региона. Коэффициент локализации менее 0,957 характеризует территории, которые в рассматриваемый период не специализируются в таком виде ВЭД как сельское хозяйство.

Масштабные преобразования в аграрной сфере кардинально изменили социальную структуру населения сельских территорий. В настоящее время основная сфера деятельности сельского населения – это различные бюджетные отрасли экономики – образование, здравоохранение, государственное управление. На территориях СА заработная плата в сельском хозяйстве 2022 году составляла 46777 руб. или 71,6% от средней зарплаты по экономике страны. Третья часть населения сельских территорий (27%) живет за чертой бедности а, в среднем по России 13,2% [18, 22].

Для сельских территорий СА характерны миграционный отток населения и низкая ожидаемая продолжительность жизни, при этом наблюдается дифференциация данного показателя от 59,3 лет по Чукотскому автономному округу до 73,4 лет по Ханты-Мансийскому автономному округу [10, С.32].

### **Выводы**

Выявлены причины и вклад отдельных изменений в структуру занятости населения отдельно взятого региона. Использование адаптированного метода структурных сдвигов позволяет усилить достоверность выводов о трансформациях на региональных рынках труда. В связи с геополитической значимостью рассматриваемых территорий, необходима разработка социальных технологий повышения привлекательности Северной Азии в части инвестиций, снижения миграционных рисков, особенно сельских территорий, повышения доступности услуг в различных сферах жизнедеятельности. Для усиления демографической устойчивости сельских территорий необходимы меры по развитию отраслей сельского хозяйства.

**Информация о конфликте интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Информация о спонсорстве.** Исследование выполнено в рамках государственного задания Байкальского института природопользования СО РАН Проект №АААА-А21-121011590039-6 (0273-2021-0003).

**Funding.** The study was carried out within the framework of the state task of the Baikal Institute of Nature Management SB RAS Project No. AAAA-A21-121011590039-6 (0273-2021-0003).

### *Список литературы*

1. Быков А.А., Алещенко В.В., Чупин Р.И., Попова Е.В., Кумратова А.М. Особенности формирования и развития производства и сбыта зерна в Сибири // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, № 3. С. 326-341. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-326-341>
2. Бюраева Ю.Г. Структура занятости населения Республики Бурятия: тенденции и сдвиги // *Регионалистика*, 2021. №1. С.68-80.
3. Воскобойников И.Б., Гимпельсон В.Е. Рост производительности труда, структурные сдвиги и неформальная занятость в российской экономике // *Вопросы экономики*. 2015. № 11. С. 30–61. <http://dx.doi.org/10.32609/0042-8736-2015-11-30-61>
4. Габдулхаков Р.Б., Полтарыхин, А.Л., Цуканова О.М., Авдеев Ю.М. Оценка региональной конкурентоспособности: перспективы АПК региона // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 6. С. 339-361. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-339-361>
5. Дагбаева С. Д. Проблемы и противоречия развития социальной сферы в российской и зарубежной практике // *Общество: социология, психология, педагогика*. 2018. № 12(56). С. 40-43. <https://doi.org/10.24158/spp.2018.12.5>
6. Дагбаева С. Д.-Н. Территориальные проблемы развития социальной инфраструктуры // *Фундаментальные исследования*. 2019. № 4. С. 38-42.
7. Дудукалов Е.В., Золочевская Е.Ю., Сорокина МЮ., Мангушева Л.С. Структуризация экономического пространства малых форм ведения бизнеса в АПК // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022. Т. 14(2), 176-215. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-2-176-215>
8. Забелина И. А., Клевакина Е.А., Денисенко И.С. Региональные структурные сдвиги в занятости населения: восточные регионы нового Шелкового пути // *Вестник Томского государственного университета. Экономика*. 2017. № 39. С. 80-98. <https://doi.org/10.17223/19988648/39/6>
9. Иванова С. Н. Общественное здоровье и развитие здравоохранения в регионах России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021. Т. 13, № 2. С. 47-63. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63>
10. Иванова С. Н. Пространственные аспекты развития сельских территорий Северной Азии // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021. № 2(380). С. 30-34. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-2-30-34>

11. Иванова С. Н., Тулохонов А.К. Социальная устойчивость территорий Азиатской России // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 5. С. 318-336. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-318-336>
12. Карайланов М.Г., Федоткина С.А., Маликова Е.А. Организационно-методический подход к оценке эффективности первичной медико-санитарной помощи на современном этапе // В мире научных открытий. 2016. № 8(80). С. 63-80.
13. Карманова А. Е., Десфонтейнес Л.Г., Хныкина Т.С. Исторические предпосылки освоения и развития арктической зоны Российской Федерации // Международный научный журнал. 2021. № 1. С. 74-80. <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-76-1-74-80>
14. Кравченко Н. А., Агеева С.Д., Иванова А.И. Инвестиции для устойчивого и инклюзивного развития регионов Азиатской России: проблемы и перспективы // ЭКО. 2023. № 1(583). С. 78-98. <https://doi.org/10.30680/ЕСО0131-7652-2023-1-78-98>
15. Курочкина А. А., Семенова Ю.Е. Экологические проблемы алмазодобывающей отрасли в условиях Арктики // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 6(132). С. 56-61.
16. Курочкина А. А., Цыганкова С.И. Исследование особенностей человеческих ресурсов в алмазодобывающей промышленности РФ // Глобальный научный потенциал. 2022. № 3(132). С. 259-263.
17. Курочкина, А. А., Панова А.Ю., Семенова Ю.В. Загрязненность окружающей среды и здоровье населения Арктической зоны РФ // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 5(131). С. 255-259.
18. Лубсанова Н.Б., Иванова С.Н., Михеева А.С. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621284 Российская Федерация. Статистическая база данных оценки социо-эколого-экономической устойчивости территориальных природно-хозяйственных систем Северной Азии: № 2023620903.
19. Миляева Л.Г. Методический инструментарий количественного анализа сдвигов в профессионально-квалификационной структуре персонала предприятий // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2022. № 59. С. 198-211. <https://doi.org/10.17223/19988648/59/12>
20. Мищенко В. В., Елистратова А.Г. Оценка состояния регионального рынка труда на основе анализа структурных сдвигов в экономике // Экономика. Профессия. Бизнес. 2016. № 4. С. 46-51.
21. Никифорова Н.В., Зайцева Н.В., Клейн С.В. Об оценке заболеваемости населения, связанной с качеством атмосферного воздуха, на примере субъ-

- екта России // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2022. Т. 14, No. 3. С. 73-88. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-73-88>
22. Новый импульс Азиатской России / Под ред. В.А. Крюкова, СО РАН, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2022. 572 с.
  23. Петрова Е. Е., Курочкина А.А., Бизекина Т.В. Динамика показателей лесоводства в Арктической зоне РФ как отражение цели устойчивого развития // *Наука и бизнес: пути развития*. 2022. № 12(138). С. 105-108.
  24. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Стат. сб. / Росстат. М., 2022. 1122 с.
  25. Рязанцев С. Внутрироссийская миграция населения: тенденции и социально-экономические последствия // *Вопросы экономики*. 2005. № 7. С. 37-39.
  26. Самodelкин А.Г., Дабахова Е.В., Безаев И.И., Романов А.А., Эффективная инвестиционная деятельность сельскохозяйственных предприятий как инструмент обеспечения продовольственной безопасности страны // *В мире научных открытий*. 2016. № 4(76). С. 112-124.
  27. Слепокурова А.А., Василенко И.Н. Анализ стратегических аспектов развития региона: трудовые ресурсы, инновации, внешнеэкономическая деятельность // *Регион: системы, экономика, управление*. 2022. № 2(57). С. 16-26. <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2022-57-2-16-26>
  28. Спасская О.В. Макроэкономические методы исследования и измерения структурных изменений // *Науч. тр. Института народнохозяйственного прогнозирования РАН*. 2003. Т. 1. С. 20–39.
  29. Среднегодовая численность занятых по видам экономической деятельности. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 19.05.2023).
  30. Терещенко Д. С. Социальные плюсы и экономические минусы миграционной политики в России // *В мире научных открытий*. 2017. Т. 9, № 1-2. С. 116-118. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-1-2-116-118>
  31. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П., Мищук С.Н. Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне // *Проблемы прогнозирования*. 2013. №2. С. 99-111.
  32. Шмидт И.Ю. Структурные сдвиги в аграрном секторе экономики. Тверь: ТГУ, 2014. 175 с.
  33. Янков К. В. О потенциальном влиянии роста удаленной занятости на пространственное развитие Азиатской части России // *Экономическая политика России в межотраслевом и пространственном измерении*. 2022. Том 4. С. 61-69. <https://doi.org/10.36264/978-5-89665-367-7-2022-005/13-180>

34. Bae-Geun Kim Sectoral shifts and comovements in employment // *Economics Letters*. Volume 192, July 2020, 109208. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.109208>
35. Ivanova S.N., Lubsanova N. B. Gomboev B.O. [et al.] Air Quality in a Large City in the Baikal Natural Territory: the Social Dimension (a Case Study of Ulan-Ude) // *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2022. Vol. 18. P. 769-776. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.72>
36. Lan Lu, Shuiying Yin, Fuying Wen, Qingqing Xu The spatial structure of labour force employment in China's industries: Measurement and extraction // *Economic Analysis and Policy*. Volume 77, March 2023, P. 472-486. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.12.001>
37. Memedovic O. Structural change in the world economy: Main features and trends. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2010. 52 p.
38. Zhao Sh., Zhou D., Zhu Ch., Sun Y., Wu W., Liu Sh. Spatial and Temporal Dimensions of Urban Expansion in China // *Environ. Sci. Technol.* 2015. Vol. 49 (16). P. 9600-9609. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00065>

### References

1. Bykov A.A., Aleshchenko V.V., Chupin R.I., Popova E.V., Kumratova A.M. Osobennosti formirovaniya i razvitiya proizvodstva i sbyta zerna v Sibiri [Formation and Development Characteristics of Grain Production and Marketing in Siberia]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 3, pp. 326-341. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-326-341>
2. Byuraeva Yu.G. Struktura zanyatosti naseleniya Respubliki Buryatiya: tendentsii i sdvigi [The structure of employment in the Republic of Buryatia: trends and shifts]. *Regionalistika*, 2021, no. 1, pp. 68-80.
3. Voskoboynikov I.B., Gimpel'son V.E. Rost proizvoditel'nosti truda, strukturnye sdvigi i neformal'naya zanyatost' v rossiyskoy ekonomike [Labor Productivity Growth, Structural Shifts and Informal Employment in the Russian Economy]. *Voprosy ekonomiki*, 2015, no. 11, pp. 30-61. <http://dx.doi.org/10.32609/0042-8736-2015-11-30-61>
4. Gabdulkhakov R.B., Poltarykhin, A.L., Tsukanova O.M., Avdeev Yu.M. Otsenka regional'noy konkurentosposobnosti: perspektivy APK regiona [Regional Competitiveness Assessment: Prospects for the Agro-Industrial Complex of the Region]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 339-361. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-339-361>
5. Dagbaeva S. D. Problemy i protivorechiya razvitiya sotsial'noy sfery v rossiyskoy i zarubezhnoy praktike [Problems and contradictions in the development of

- the social sphere in Russian and foreign practice]. *Obshchestvo: sotsiologiya, psikhologiya, pedagogika*, 2018, no. 12(56), pp. 40-43. <https://doi.org/10.24158/spp.2018.12.5>
6. Dagbaeva S. D.-N. Territorial'nye problemy razvitiya sotsial'noy infrastruktury [Territorial problems of social infrastructure development]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2019, no. 4, pp. 38-42.
  7. Dudukalov E.V., Zolochevskaya E.Yu., Sorokina M.Yu., Mangusheva L.S. Strukturizatsiya ekonomicheskogo prostranstva malykh form vedeniya biznesa v APK [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>
  8. Zabelina I. A., Klevakina E.A., Denisenko I.S. Regional'nye strukturnye sdvigi v zanyatosti naseleniya: vostochnye regiony novogo Shelkovogo puti [Regional Structural Shifts in Employment: Eastern Regions of the New Silk Road]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2017, no. 39, pp. 80-98. <https://doi.org/10.17223/19988648/39/6>
  9. Ivanova S. N. Obshestvennoe zdorov'e i razvitie zdravookhraneniya v regionakh Rossii [Public Health and Health Care Development in the Regions of Russia]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 2, pp. 47-63. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-47-63>
  10. Ivanova S. N. Prostranstvennye aspekty razvitiya sel'skikh territoriy Severnoy Azii [Spatial aspects of development of rural territories of North Asia]. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*, 2021, no. 2(380), pp. 30-34. <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-2-30-34>
  11. Ivanova S. N., Tulokhonov A.K. Sotsial'naya ustoychivost' territoriy Aziatskoy Rossii [Social Sustainability of Territories Asian Russia]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 5, pp. 318-336. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-5-318-336>
  12. Karaylanov M.G., Fedotkina S.A., Malikova E.A. Organizatsionno-metodicheskii podkhod k otsenke effektivnosti pervichnoy mediko-sanitarnoy pomoshchi na sovremennom etape [Organizational and methodological approach to assessing the effectiveness of primary health care at the present stage]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2016, no. 8(80), pp. 63-80.
  13. Karmanova A. E., Desfonteynes L.G., Khnykina T.S. Istoricheskie predposylki osvoeniya i razvitiya arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii [Historical prerequisites for the development and development of the Arctic zone of the Russian Federation]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2021, no. 1, pp. 74-80. <https://doi.org/10.34286/1995-4638-2021-76-1-74-80>

14. Kravchenko N. A., Ageeva S.D., Ivanova A.I. Investitsii dlya ustoychivogo i inkluzivnogo razvitiya regionov Aziatskoy Rossii: problemy i perspektivy [Investments for sustainable and inclusive development of the regions of Asian Russia: problems and prospects]. *EKO*, 2023, no. 1 (583), pp. 78-98. <https://doi.org/10.30680/ECO0131-7652-2023-1-78-98>
15. Kurochkina A. A., Semenova Yu.E. Ekologicheskie problemyalmazodobyvayushchey otrasli v usloviyakh Arktiki [Environmental problems of the diamond mining industry in the Arctic]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*, 2021, no. 6 (132), pp. 56-61.
16. Kurochkina A. A., Tsygankova S.I. Issledovanie osobennostey chelovecheski-kh resursov valmazodobyvayushchey promyshlennosti RF [Study of the characteristics of human resources in the diamond mining industry of the Russian Federation]. *Global'nyy nauchnyy potentsial*, 2022, no. 3 (132), pp. 259-263.
17. Kurochkina, A. A., Panova A.Yu., Semenova Yu.V. Zagryaznennost' okruzhayushchey sredy i zdorov'e naseleniya Arkticheskoy zony RF [Environmental pollution and health of the population of the Arctic zone of the Russian Federation]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2022, no. 5(131), pp. 255-259.
18. Lubsanova N.B., Ivanova S.N., Mikheeva A.S. Statisticheskaya baza dannykh otsenki sotsio-ekologo-ekonomicheskoy ustoychivosti territorial'nykh prirodno-khozyaystvennykh sistem Severnoy Azii [Statistical database for assessing the socio-ecological and economic sustainability of the territorial natural and economic systems of North Asia]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh no. 2023621284 Rossiyskaya Federatsiya*.
19. Milyaeva L.G. Metodicheskiy instrumentariy kolichestvennogo analiza sdvigo-v v professional'no-kvalifikatsionnoy strukture personala predpriyatiy [Methodological tools for quantitative analysis of shifts in the professional and qualification structure of enterprise personnel]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2022, no. 59, pp. 198-211. <https://doi.org/10.17223/19988648/59/12>
20. Mishchenko V. V., Elistratova A.G. Otsenka sostoyaniya regional'nogo rynka truda na osnove analiza strukturnykh sdvigo-v v ekonomike [Assessment of the state of the regional labor market based on the analysis of structural shifts in the economy]. *Ekonomika. Profesiya. Biznes*, 2016, no. 4, pp. 46-51.
21. Nikiforova N.V., Zaytseva N.V., Kleyn S.V. Ob otsenke zabolevaemosti nasele-niya, svyazannoy s kachestvom atmosfernogo vozdukha, na primere sub"ekta Rossii [On Assessing the Morbidity of the Population Associated with the Atmospheric Air Quality on the Example of a Russian Constituent Entity]. *Sibe-*



- rian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 73-88. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-4-73-88>
22. *Novyy impuls Aziatskoy Rossii* [New impetus from Asian Russia]. ed. V.A. Kryukov, SO RAN, IEOPP SO RAN, Novosibirsk, 2022, 572 p.
  23. Petrova E. E., Kurochkina A.A., Bizekina T.V. Dinamika pokazateley lesovodstva v Arkticheskoy zone RF kak otrazhenie tseli ustoychivogo razvitiya [Dynamics of forestry indicators in the Arctic zone of the Russian Federation as a reflection of the goal of sustainable development]. *Nauka i biznes: puti razvitiya*, 2022, no. 12 (138), pp. 105-108.
  24. *Regiony Rossii. Sotsial'no-ekonomicheskie pokazateli* [Regions of Russia. Socio-economic indicators]. Statistical Yearbook, 2022, 1122 p.
  25. Ryazantsev S. Vnutrirossiyskaya migratsiya naseleniya: tendentsii i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya [Internal Russian Migration of the Population: Trends and Socio-Economic Consequences]. *Voprosy ekonomiki*, 2005, no. 7, pp. 37-39.
  26. Samodelkin A.G., Dabakhova E.V., Bezaev I.I., Romanov A.A., Effektivnaya investitsionnaya deyatel'nost' sel'skokhozyaystvennykh predpriyatiy kak instrument obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti strany [Effective investment activity of agricultural enterprises as a tool for ensuring the country's food security]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2016, no. 4(76), pp. 112-124.
  27. Slepokurova A.A., Vasilenko I.N. Analiz strategicheskikh aspektov razvitiya regiona: trudovye resursy, innovatsii, vneshneekonomicheskaya deyatel'nost' [Analysis of strategic aspects of the development of the region: labor resources, innovations, foreign economic activity]. *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie*, 2022, no. 2(57), pp. 16-26. <https://doi.org/10.22394/1997-4469-2022-57-2-16-26>
  28. Spasskaya O.V. Makroekonomicheskie metody issledovaniya i izmereniya strukturnykh izmeneniy [Macroeconomic Methods for Researching and Measuring Structural Changes]. *Nauch. tr. Instituta narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN*, 2003, vol. 1, pp. 20-39.
  29. Srednegodovaya chislennost' zanyatykh po vidam ekonomicheskoy deyatel'nosti. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki [Average annual number of employees by type of economic activity]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>
  30. Tereshchenko D. S. Sotsial'nye plyusy i ekonomicheskie minusy migratsionnoy politiki v Rossii [Social pluses and economic minuses of migration policy in Russia]. *V mire nauchnykh otkrytiy*, 2017. vol. 9, no. 1-2, pp. 116-118. <https://doi.org/10.12731/wsd-2017-1-2-116-118>

31. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. Prognozirovanie dinamiki vneshney trudovoy migratsii na regional'nom urovne [Forecasting the dynamics of external labor migration at the regional level]. *Problemy prognozirovaniya*, 2013, no. 2, pp. 99-111.
32. Shmidt I.Yu. *Strukturnye sdvigi v agrarnom sektore ekonomiki* [Structural shifts in the agricultural sector of the economy]. Tver: TGU, 2014, 175 p.
33. Yankov K. V. O potentsial'nom vliyaniy rosta udalennoy zanyatosti na prostanstvennoe razvitiye Aziatskoy chasti Rossii [On the potential impact of the growth of remote employment on the spatial development of the Asian part of Russia]. *Ekonomicheskaya politika Rossii v mezhotraslevom i prostranstvennom izmerenii*, 2022, vol. 4, pp. 61-69. <https://doi.org/10.36264/978-5-89665-367-7-2022-005/13-180>
34. Bae-Geun Kim Sectoral shifts and comovements in employment. *Economics Letters*, 2020, vol. 192, 109208. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.109208>
35. Ivanova S.N., Lubsanova N. B. Gomboev B.O. Air Quality in a Large City in the Baikal Natural Territory: the Social Dimension (a Case Study of Ulan-Ude). *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 2022, vol. 18, pp. 769-776. <https://doi.org/10.37394/232015.2022.18.72>
36. Lan Lu, Shuiying Yin, Fuying Wen, Qingqing Xu The spatial structure of labour force employment in China's industries: Measurement and extraction, *Economic Analysis and Policy*, 2023, vol. 77, pp. 472-486. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2022.12.001>
37. Memedovic O. Structural change in the world economy: Main features and trends. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2010, 52 p.
38. Zhao Sh., Zhou D., Zhu Ch., Sun Y., Wu W., Liu Sh. Spatial and Temporal Dimensions of Urban Expansion in China, *Environ. Sci. Technol*, 2015, vol. 49 (16), pp. 9600-9609. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00065>

#### ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

**Иванова Сембрика Нимаевна**, старший научный сотрудник, доктор социологических наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН)*

*ул. Сахьяновой, 8, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия, 670013, Российская Федерация*

*sambrika@binm.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHOR**

**Sembrika N. Ivanova**, Senior Research, Doctor of Sociology, Associate Professor

*Federal State Budgetary Institution of Science Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (BIP SB RAS)*

*8, Sakhyanova Str., Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670013, Russian Federation*

*SPIN-code: 5816-7863*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5554-2144>*

*Scopus Author ID: 57194431594*

*Researcher ID AAQ-6519-2020*

Поступила 14.06.2023

После рецензирования 11.07.2023

Принята 16.07.2023

Received 14.06.2023

Revised 11.07.2023

Accepted 16.07.2023

## МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## INTERDISCIPLINARY RESEARCH

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1070

УДК 81-114



Научная статья

**ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ  
КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО  
ФОРМИРОВАНИЯ КОММУНИКАТИВНЫХ  
НАВЫКОВ БУДУЩЕГО ВРАЧА****О.В. Макарова, Р.Н. Хвоц, Ю.В. Болдырева**

**Обоснование.** В работе представлен опыт внедрения в учебный процесс студентов-медиков интегрированного курса «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации». Актуальность исследования обусловлена низкой мотивацией обучающихся к изучению лингвистических дисциплин, однако существует прямая закономерность между степенью владения коммуникативными навыками, развиваемыми на языковых курсах, и эффективностью решения профессиональных проблем, в том числе связанных с лечением пациентов.

**Цель.** Обосновать использование цифровых ресурсов как эффективного средства овладения навыками общения врача с пациентом.

**Материалы и методы.** Материалом исследования являются учебные видео, кейсы, созданные для визуализации «Виртуального пациента», цифровые тексты, интерактивные ресурсы (<https://wordwall.net/ru>, <https://quizlet.com>, <https://genial.ly> и др.) и контент, созданный на их основе: презентации, видео, мультимедийные материалы. В работе использованы теоретические и эмпирические методы исследования, включая дискурсивный анализ, метод моделирования ситуаций «врач – пациент».

**Результаты.** Внедрение цифровых ресурсов способствует осознанному формированию коммуникативных навыков будущего врача и изменению существующей установки обучающихся «Я знаю, как общаться с пациентами» на

мнение «Мне нужно еще многому научиться и развивать как универсальные базовые навыки общения с пациентом (установление контакта, сбор анамнеза, завершение консультации), так и продвинутые коммуникативные навыки объяснения и планирования».

**Заключение.** Условиями для освоения коммуникативных навыков будущего врача являются: 1) организация занятий на основе коллаборативного подхода, предполагающего активные методы обучения; 2) интеграция предметных областей, в частности языка и медицины; 3) использование цифровых ресурсов, которые имитируют реальные условия работы с пациентом и позволяют многократно возвращаться к обсуждению кейса.

**Ключевые слова:** пациентоцентричная коммуникация; кейс; виртуальный пациент; коммуникативные навыки врача; «перевернутый класс»; визуализация

**Для цитирования.** Макарова О.В., Хвоц Р.Н., Болдырева Ю.В. Цифровые ресурсы как эффективное средство формирования коммуникативных навыков будущего врача // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 405-421. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1070

Original article

## DIGITAL RESOURCES AS AN EFFECTIVE MEANS FOR DEVELOPING COMMUNICATIONS SKILLS OF A FUTURE DOCTOR

*O.V. Makarova, R.N. Khvoshch, Y.V. Boldyreva*

**Background.** This paper presents the experience of introducing the integrated course “Speech aspects of patient-centered communication” into the educational process of medical students. The research relevance is due to the low motivation of students to study linguistic disciplines. However, there is a direct correlation between the level of communication skills developed at language courses and the efficiency in solving professional problems, including those related to the treatment of patients.

**Purpose.** The paper is aimed at justifying the use of digital resources as an effective means of mastering the skills of communication between a doctor and a patient.

**Materials and methods.** The material of the study is educating videos, cases designed for visualizing ‘Virtual patient’, digital texts, interactive resources (<https://wordwall.net/ru>, <https://quizlet.com>, <https://genial.ly>, etc.), as well as

and the content based on them, i.e., presentations, videos, multimedia materials. The paper uses theoretical and empirical research methods, including discourse analysis and the method of modeling situations “doctor – patient”.

**Results.** *The introduction of digital resources contributes to the conscious developing of the future doctor communication skills and the change in the existing attitude of students to this process from - “I know how to communicate with patients” – to the opinion – “I still have a lot to learn and develop both universal basic patient orientated communication skills (establishing contact, taking anamnesis, completing a consultation) and advanced communication skills of explanation and planning.”*

**Conclusion.** *The conditions for mastering the communication skills of a future doctor are as follows: 1) organization of classes based on a collaborative approach involving active learning methods; 2) integration of subject areas, in particular language and medicine; 3) use of digital resources imitating the real working conditions with the patient and allowing you.*

**Keywords:** *patient-centered communication; case; virtual patient; communication skills of a doctor; Flipped classroom; visualization*

**For citation.** *Makarova O.V., Khvoshch R.N., Boldyreva Y.V. Digital Resources as an Effective Means for Developing Communications Skills of a Future Doctor. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 405-421. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1070*

Актуальность темы обусловлена необходимостью предлагать обучающимся высшей школы такие факультативные курсы и дисциплины по выбору, чтобы они представляли интерес для них и были связаны с овладениями профессиональными компетенциями. Так, учебный стандарт высшего образования 3++ ориентирует студентов на формирование собственной индивидуальной траектории обучения, включающей освоение базовых дисциплин и дисциплин вариативного блока. Мы предлагаем будущим врачам такой интегрированный курс, как «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации», материал которого основывается на синтезе языковых и медицинских знаний, необходимых в совокупности для организации эффективной коммуникации врача и пациента. В условиях современной реальности медицинского вуза интерес к изучению дисциплины «Русский язык и культура речи» неизменно ослабевает, многие факультеты отказываются от ее включения в свой учебный план и заменяют на курсы, приближенные к овладению профессиональными знаниями. Эдинбургская Декларация Всемирной федерации по медицинскому

образованию (1988) установила, что каждый пациент должен иметь возможность в лице врача встретить внимательного слушателя, тщательного наблюдателя, грамотного клинициста, обладающего высокой восприимчивостью в сфере общения. Умение врача построить эффективную коммуникацию с пациентом, таким образом, является важным условием лечения больного. Однако исследования показывают, что основной причиной неблагоприятных медицинских исходов является плохая коммуникация, что составляет 67% среди различных факторов [12]. Поэтому разработка курсов, связанных с необходимостью формирования практикоориентированных навыков будущего врача, является важным элементом в образовании успешного специалиста.

На данный момент в науке существует довольно много направлений в области прикладной лингвистики. Более того, не до конца определен объем этого понятия, одни исследователи [11; 6]: Л.В. Бондарко, Л.А. Вербицкая, Г.Я. Мартыненко и др. сравнивают прикладное языкознание с компьютерной лингвистикой [2], Р.Г. Пиотровский, К.Б. Бектаев, А.А. Пиотровская называют прикладное языкознание инженерной, или математической лингвистикой [9]. Однако все ученые солидарны в том, что язык, вступая в отношения с другими науками, пополняет свой методический арсенал в дополнение к языковедческим методам. Мы согласны с мнением С.П. Кушнерука, что практическая оправданность методов прикладной лингвистики «определяется ситуационной прагматикой и социальными запросами, имеющими коммуникативно лингвистические компоненты, а также крепкие связи с негуманитарными науками» [6, с. 10]. Выход за рамки теоретических описаний языка в прикладную сферу – специфику общения врача на разных этапах консультации с пациентом – способствует решению практических задач установления прочного контакта с пациентом, полного сбора анамнеза, постановке правильного диагноза, приверженности пациента к лечению и выздоровлению.

В работе мы рассмотрим специфику организационной коммуникации на материале медицинского дискурса и продемонстрируем фрагменты занятий, проведенных по технологии «перевернутый класс», условием реализации которой является включение в учебный процесс цифровых ресурсов. Особый акцент сделан на демонстрации метода «Виртуальный пациент», или интерактивного приема организации работы в малых группах, когда обучающиеся на основе видео или скрипта, иллюстрирующего диалог врача и пациента, производят выбор необходимой коммуникативной тактики врача.

**Цель работы** – обосновать использование цифровых ресурсов как эффективного средства овладения навыками общения врача с пациентом.

Задачи исследования: рассмотрение особенностей взаимосвязи прикладной лингвистики и медицинской сферы деятельности; анализ материалов занятий, организованных в соответствии с коллаборативным подходом к обучению посредством методики «перевернутый класс»; демонстрация цифровых ресурсов, используемых в процессе реализации курса «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации» и такого метода, как «Виртуальный пациент».

### **Материалы и методы**

Материалом исследования являются учебные видео, кейсы, созданные для визуализации «Виртуального пациента», цифровые тексты, интерактивные ресурсы: <https://wordwall.net/ru>, <https://randomus.ru>, <https://quizlet.com>, <https://genial.ly>, <https://classroomscreen.com>, <https://www.goconqr.com>. Контент, созданный на базе указанных ресурсов: презентации, видео, мультимедийные материалы (вопросы, викторины, игры, тесты, проверка которых осуществляется автоматически).

В работе использованы теоретические и эмпирические методы исследования, включая анализ отечественной и зарубежной педагогической, лингвистической, методической литературы по теме исследования; дискурсивный анализ, метод моделирования ситуаций «врач – пациент». Проведено опытное обучение, обобщены результаты педагогической деятельности.

### **Результаты**

Факт недооценки как студентами, так и врачами курсов, касающихся изучения языка, приводит к отказу от изучения лингвистических дисциплин, что, в свою очередь, сказывается на ряде проблем в коммуникации врача и пациента, его неумении выстраивать эффективный диалог, низкой комплаентности (приверженности пациента к назначенному лечению). Это обусловило стремление преподавателей-филологов предложить новый курс «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации», в основе которого лежит интеграция двух предметных областей: языка и медицины, при этом деятельность врача представлена в процессе решения конкретной клинической ситуации. Таким образом мы выходим за рамки собственно языка в сферу прикладной лингвистики.

В нашей работе мы исследовали такую разновидность прикладной лингвистики, как организационную коммуникацию. Задачами данного



направления являются: 1) изучение влияния форм организации на коммуникативную практику, например, ситуация приема пациента в поликлинике или больнице влияет на характер коммуникации и выбор языковых средств; консультация онколога или кардиолога тоже связана с разными формами организации диалога и выбором коммуникативной тактики; 2) анализ речевых компонентов в процессах принятия решений; 3) описание конфликтных ситуаций как коммуникативных явлений и способов преодоления вербальной агрессии; 4) исследование речевых форм самооценки и самопредставления врача и др.

Считаем, что исследование особенностей организационной коммуникации в сфере медицины способствует решению ряда конкретных задач, например, выявлению частотных фраз, лексем в речи врача, составления глоссариев. Такой материал необходим для создания методических рекомендаций, в которых описываются условия актуализации коммуникативных навыков врача в процессе общения с пациентом в соответствии с определенными параметрами ситуации. Так, в процессе работы мы составили глоссарий «Синестетические метафоры в речи медицинского работника» (кардиолога, невролога, гинеколога и других специалистов). Сбор такого материала имеет определенную ценность для будущего врача, так как способствует правильной интерпретации высказывания пациента, который зачастую выражает свои болевые ощущения, симптомы заболевания метафорическим образом. Более того, сам врач, объясняя суть того или иного патологического состояния, тоже использует много образных слов и выражений, например, *колющая боль; творожистая пневмония, мягкие шумы в сердце* и др. Мы согласны с А.К. Головачевой в том, что лексикографические описания, связанные с оптимизацией изучения языка, в том числе иностранного, должны отражать важную составляющую лингвистической концепции: в словарь единицы, подлежащих усвоению, в первую очередь включаются слова с наибольшими частотными индексами в сфере профессиональной коммуникации [3]. Такой подход к овладению языком возможен, на наш взгляд, на основе пристального изучения особенностей организационной коммуникации.

Кроме того, с функциональной точки зрения интерес прикладной лингвистики к исследованию профессиональной сферы общения обусловлен разработкой способов оптимизации различных сфер функционирования языковой системы и ее разновидностей, в том числе социолектов. Одной из форм социолекта является профессиональная речь врача [5; 10], которая обладает совокупностью присущих ей лингвистических и паралингвисти-

ческих особенностей в пределах подсистемы национального языка. Как отмечают исследователи в области прикладного языкознания [4], «функции языка задают точки отсчета для классификации огромной области приложения лингвистических знаний» [1, с. 18]. В частности, в рамках социальной функции языка как части коммуникативной значимы исследования в области теории воздействия. Исследование способов воздействия, связанных с профессиональной деятельностью врача, имеет важное значение, так как речь медика определенным образом влияет на состояние реципиента. Врач – представитель лингвоактивной профессии, и его высказывания могут как оказывать роль терапевтического средства, так и способствовать развитию ятрогенного эффекта.

Прикладной аспект языка в рамках медицинского образования, на наш взгляд, связан с изучением особенностей пациентоцентричной коммуникации. Опыт внедрения такого интегрированного курса в программу обучения студентов лечебного факультета Тюменского государственного медицинского университета показал, что данное направление является довольно актуальным, что обусловлено, с одной стороны, негативными характеристиками речевой деятельности врача, с другой стороны, необходимостью предупредить коммуникативные ошибки в будущей профессиональной деятельности. Известно, что существует много проблем в общении врача и пациента. Эту мысль подтверждает проведенный нами опрос 300 студентов лечебного факультета, имеющих пациентский опыт. Результаты исследования свидетельствуют о том, что в процессе медицинского консультирования респонденты довольно точно описывают свои впечатления об особенностях речи врача и в целом его коммуникативной компетенции. На основании собранного материала мы выявили коммуникативные ошибки врача в общении с пациентом: неудачное использование профессионального жаргона, узкоспециальной терминологии; нарушение этических принципов; неправильная аргументация; низкая эмпатия и другие [7, с. 108]. Выбор в качестве информантов студентов-медиков был методически обоснован стремлением уже в процессе обучения формировать осознанное отношение к работе врача и особенностей использования им языка.

Учебный процесс по дисциплине «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации» организован нами по методике «перевернутый класс» [8, с. 153] в связи с тем, что мы работаем со студентами старших курсов и считаем, что такой подход способствует формированию у обучающегося не только ряда личностных качеств (самостоятельности, креативности,

развития исследовательских навыков, умения работать в команде, дискутировать), но и развитию профессиональных компетенций, связанных с усвоением коммуникативных навыков будущего врача.

На подготовительном этапе к занятию обучающиеся самостоятельно знакомятся с лекцией преподавателя, записанной в вебинарной комнате на платформе Moodle и содержащей не только теоретическую информацию по теме предстоящего занятия, но и задание, например: подготовиться к диагностическому тесту, обратить внимание на определенные понятия. Лекционный материал является небольшим по объему и записан, в том числе, с использованием ресурсов студии Jalinga, позволяющей лектору взаимодействовать с презентацией.

Кроме того, в электронной образовательной системе в рамках каждой темы размещены гиперссылки с учебными видео, созданными на платформе Open Labyrinth. До контактного занятия студенты знакомятся с разными вариантами развития клинического случая и готовят аргументированный комментарий по каждой линии сценария, содержащий анализ коммуникативных навыков врача с точки зрения соответствия или несоответствия нормам пациентоцентричной коммуникации. Например, кейс по развитию коммуникативных навыков может начинаться следующим образом: «Уважаемые студенты! Вам предоставлено 50 минут на просмотр 16-ти короткометражных видеороликов, демонстрирующих поведение врача при консультировании пациента. В заключении кейса Вам необходимо оценить по шкале от 0-10 поведение врача на приеме, используя чек-лист, и под каждым видео оставить комментарий (не менее 20 слов)».

Ниже мы представили схему одного из кейсов, созданных командой ТюмГМУ, в составе которой были как преподаватели клинических дисциплин, так и филологи. Кейс по теме «Вакцинация против COVID-19» направлен на формирование базовых коммуникативных навыков врача и включает три линии направления консультации, соответствующие разным моделям взаимодействия с пациентом: патерналистской, или докторцентрированной; консультации, имеющей формальный характер, когда врач не демонстрирует эмпатии, не выявляет идеи пациента, равнодушно относится к решению пациента о предстоящей вакцинации; пациентоцентричной коммуникации, которая соответствует партнерской модели взаимодействия с пациентом. Тексты скриптов были использованы для подготовки учебных видео, затем смонтированы и в виде гиперссылок размещены на образовательной платформе OpenLab. Для того чтобы студенты двигались по выбранной ими траектории консультирования, кейс

предварительно создается на указанной платформе в виде схемы (Рис. 1), которая «работает» в определенной последовательности.



**Рис. 1.** Визуальный редактор клинического случая «Вакцинация против COVID-19» («Составлено авторами»)

На контактном занятии студенты сначала выполняют диагностический тест, определяющий степень их готовности к занятию. После автоматической проверки происходит распределение обучающихся по командам. Студенты работают над анализом коммуникативных навыков, используя методику «Виртуальный пациент». Мы предлагаем либо учебные видео на различных платформах, либо скрипты, написанные преподавателями, прошедшими тренинг по коммуникации врача с пациентом. Сценарии для изучения включают не только коммуникативные ошибки, но и языковые погрешности, чтобы акцентировать внимание на проблемах разного типа.

Представим для иллюстрации один скрипт, разработанный нами по методике «Виртуальный пациент» для занятия по теме «Контактоустанавливающая функция. Самопрезентация. Анализ лингвистических особенностей реализации коммуникативных навыков врача на этапе «Первичный прием»». Обучающиеся вместе со скриптом получают задания для команд: 1. Исправить речевые погрешности. 2. Обратит внимание на коммуникативные навыки врача: выявить ошибки, которые он допускает, исправить фразы или переформулировать их. 3. Продемонстрировать фрагмент диалога врача и пациента, касающийся первой части консультации «Установление контакта», в форме ролевой игры. 4. Аргументировать замечания, предложения, высказанные членами других команд, используя символы (+ / - / ?). 5. Ответить на вопрос, чей диалог на основе данного скрипта понравился больше и почему.

Пример скрипта (включает разного типа ошибки):

Пациент: *Извиняюсь, можно войти.*

Врач: *Не видите, я занята, подождите.*

Пациент: *Можно, я здесь подожду. А то в очереди устал отвечать, кто крайний.*

Врач: *Что у вас?*

Пациент: *Горло мучает. Делая глотки, мне становится больно и неприятно.*

Врач: *Коклюш был? Чем купируете боль?*

Пациент: *Не очень понял вопрос.*

Врач: *Что принимаете от боли в горле?*

Пациент: *Да особенно ничего, пью больше воду да брызгаю «Мирамистином».*

Врач: *Полоскайте горло, нужно еще принимать таблетки «...» по 200 грам в день и обязательно езжайте на физиопроцедуры в центральную больницу.*

Пациент: *Выпишете мне, пожалуйста, бюллетень, иначе не смогу ездить на лечение с вуза: слишком далеко расположилась поликлиника.*

Врач: *Когда выздоровите, приходите на прием. В нашем учреждении мы любим и заботимся о пациентах!*

В процессе работы над этим скриптом студенты обращают внимание на колебания в произношении слов *занята*, *коклЮш*; задумываются о нормах словоупотребления (представлены исправленные фрагменты диалога): *кто последний; находится поликлиника; замечают грамматические ошибки: извините, мучит; воду/-ы; брызжу, положите, граммОВ, поезжайте, выздоровеете; исправляют синтаксические ошибки: Когда делаю глотки, мне становится больно и неприятно; из вуза; Мы любим пациентов и заботимся о них.*

Анализ коммуникативных ошибок в команде способствует разработке исправленного скрипта. Так, работая над вышеприведенным сценарием можно обратить внимание обучающихся на демонстрацию следующих коммуникативных навыков установления контакта врача: *приветствие пациента, самопрезентацию врача, обозначение его роли в консультации, заботу о комфорте пациента* («Добрый день. Располагайтесь, пожалуйста. Я вас понимаю: вы устали во время ожидания. Это действительно немного утомительно. Вы правильно сделали, что пришли сегодня на прием, и мы сможем обсудить вашу проблему. Я Ольга Олеговна, ваш лечащий врач-терапевт. Как я могу к вам обращаться?»); *выбор вводного вопроса* («Как ваши дела?», «Что вас беспокоит?», «Как я могу вам помочь?», «Скажите, какие у вас жалобы?»); *скрининг, фасилитация, интерпретация* («Если я вас правильно поняла, то у вас боли в области гортани, которые особенно

мучительны во время глотания. Что-то еще?»); *выявление идей пациента, использование открытых вопросов* («С чем вы связываете появление этих жалоб?»); *обсуждение повестки дня* («Понимаю ваше состояние. Сейчас я с вами побеседую о вашей проблеме, потом я вас осмотрую, и мы обсудим план вашего лечения, если вы не возражаете»); *использование понятной лексики* («Что принимаете от боли в горле?») (вместо слова «купируете»)); *принятие позиции пациента* («Это хорошо, что вы не пустили лечение на самотек и правильно делали, что соблюдали питьевой режим») и др.

На самом занятии с целью формирования необходимых коммуникативных навыков будущего врача мы используем следующие приемы работы, связанные с цифровыми ресурсами:

- создание интерактивных викторин, например, на основе шаблона «Случайное колесо» (<https://wordwall.net/ru>) можно распределить студентов по командам для работы с кейсами и др. Используя имена членов команд посредством рандомайзера (<https://randomus.ru/list>), выбрать того, кто будет отвечать первым;

- анализ материалов русского дискурсивного корпуса «Прагматикон» (<https://pragmaticon.ruscorpora.ru/sim/518>). Например, выражение эмпатии врача может сопровождаться следующими коммуникативами: «Как я вас понимаю», «Это точно», «Могу себе представить». Учитывая, что данный курс мы предлагаем не только студентам, обучающимся на русском языке, но и иностранцам, считаем, что контент указанного ресурса помогает найти подходящую фразу и посмотреть ее реализацию в видеофрагменте;

- использование квизов (<https://quizlet.com/575666182/flashcards>).

На заключительном этапе занятия обучающиеся осуществляют рефлекссию в виде эссе. Предлагается ответить кратко на следующие вопросы: Какой навык ты усвоил сегодня?; Назови ключевые слова или фразы, демонстрирующие этот навык (2-4 фразы) и другие. Кроме того, студенты получают задание для самостоятельной работы в виде проектной деятельности. Это может быть исследование специфики коммуникации врача в рамках одной профессиональной области: кардиологии, педиатрии, стоматологии и других. Рабочая группа осуществляет включенное наблюдение, делает видеозаписи, описывает особенности реализации коммуникативных навыков врача, осуществляет качественный и количественный анализ результатов своего исследования.

Исследование профессиональной коммуникации связано с оптимизацией социальной функции языка, обуславливающей рассмотрение способов взаимодействия языка и социума, в нашем случае – субъектов медицинского дискурса. Исследовать такой дискурс в социолингвистическом аспекте можно с

разных сторон в зависимости от направления: влияние социальной структуры общества на язык или, наоборот, язык как фактор влияния на общество. С одной стороны, общество предписывает определённые правила владения языком. Так, на официальном портале Министерства здравоохранения РФ появились Методические рекомендации для медиков и персонала больниц от 30.11.2022. В материалах указаны слова и фразы, которые нельзя говорить пациентам при записи на прием. Работники клиник могут использовать скрипты разговора, чтобы грамотно ответить пациенту и продуктивно работать с его жалобами. Например: недопустимо обращаться к пациентам «женщина» или «мужчина». Эти слова предложено заменить на местоимение «вы» или имя человека. Не стоит применять словосочетание «ваша проблема», его рекомендуется заменить на «наш вопрос». В стоп-лист попали следующие фразы: «Что вас еще не устраивает?»; «Это же не я вас неправильно проконсультировал(а)»; «Вы меня, конечно, извините, но ...»; «Что вас еще не устраивает?» и «Вы меня не слышите». Их стоит заменить на более лояльные, например, «Чем еще можно помочь?». С другой стороны, язык тоже может выступать инструментом воздействия на социум. В нашем случае выбор правильной коммуникативной тактики в общении с пациентом связан с механизмами вариативной интерпретации действительности, которая представлена на всех языковых уровнях и на уровне макроструктуры текста.

Пациентоцентричная коммуникация, таким образом, напрямую связана с языковыми, когнитивными, психологическими, социальными механизмами речевого воздействия, которые позволяют влиять на процесс принятия субъектом решений. Такой междисциплинарный подход к рассмотрению ситуации медицинского консультирования опирается на категорию языкового варьирования, обуславливающей выбор различных языковых выражений в одной и той же ситуации общения в зависимости от разных факторов коммуникации. Считаем, что создать какие-то готовые шаблоны, регламентирующие употребление тех или иных выражений в речи врача, - \-задача не столько трудная, сколько нецелесообразная, потому что в каждой отдельной ситуации основной коммуникатор – врач – выбирает соответствующие слова и выражения, исходя из особенностей коммуникации, типа реципиента, его возраста, образования и др. Однако, если учитывать, что данный курс мы предлагаем не только студентам, обучающимся на русском языке, но и инофонам, то создание пособия, содержащего скрипты определенных ситуаций («Прием с опозданием», «Пациент не удовлетворен уделенным ему временем» и др.), является важным компонентом формирования учебных материалов курса.

### **Заключение**

Разработка интегрированного курса «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации» опирается на коллаборативный подход в образовании, при котором используются активные методы обучения (кейсы, проблемные ситуации, «перевернутый класс», групповое обучение), меняется роль преподавателя (выступает в роли наставника, фасилитатора). При таком подходе обучающимся предлагаются разные источники информации: кроме печатной литературы, также электронные ресурсы, что обуславливает цифровизацию образовательного процесса.

Исследование способов, влияющих на повышение эффективности коммуникации врача и пациента, связано с прикладным аспектом языкознания и оптимизацией социальной функции языка. В нашей работе мы изучаем особенности организационной коммуникации как разновидности прикладной лингвистики, что способствует созданию методических рекомендаций для реализации различных сценариев общения врача с пациентом, составлению глоссариев для обозначения трудноописуемых симптомов заболевания и его номинации.

Используемая в обучении коммуникативным навыкам будущего врача методика «Виртуальный пациент», реализуемая посредством педагогической технологии «перевернутый класс», связана с демонстрацией на каждом этапе занятия тех или иных цифровых ресурсов. Так, в процессе разработки курса «Речевые аспекты пациентоцентричной коммуникации» мы используем ряд методов, связанных с цифровыми ресурсами:

- проведение опросов с использованием онлайн-опросника Google-формы как среди врачей, так и пациентов с целью выявления проблем, возникающих в процессе консультирования пациента. Такой эмпирический метод работы способствует не только сбору актуальных сведений, но и является эффективным лингвометодическим приемом;

- запись видеолекций на платформе Proof-me (<https://pruffme.com/webinar>);

- интерактивное взаимодействие с презентацией посредством программы Jalinga;

- создание кейсов на базе программы OpenLabyrinth как среды для воспроизведения «Виртуальных пациентов» с открытым исходным кодом (<https://olab.qmu.kz>);

- размещение учебных видео в форме гиперссылок на YouTube. В работе мы используем как видеоресурсы, созданные рабочей группой нашего вуза, так и те кейсы, которые создали вузы-партнеры по проекту «Fostering the doctor of the 21st century: education for patient-centered communication» в рамках программы ERASMUS+.



Использование в процессе преподавания цифровых ресурсов, в частности, «Виртуальных пациентов», способствует более эффективному усвоению материала и активизации деятельности обучающегося. Кроме того, реализация такого метода связана с работой над цифровым текстом, включающим не только описание ситуации средствами языка, но и гиперссылки на фрагментированное учебное видео, восприятие которого особым образом актуализирует работу сознания. Подобная активизация деятельности сознания обусловлена специфическими свойствами цифрового текста: его интерактивностью, позволяющей реципиенту добавлять пометки [15]; гипертекстовостью, способствующей исследованию информации обучающимся нелинейным образом [14]; мультимодальностью, или комбинацией различных семиотических систем (вербальной, визуальной, статической (иллюстрации) и динамической (видео)) [13].

Методика «Виртуальный пациент» имитирует реальную ситуацию работы с пациентом, так как связана с визуализацией ситуации общения врача и позволяет многократно возвращаться к обсуждению кейса, его анализу, что необходимо для совершенствования навыков клинического мышления, эффективной коммуникации с пациентом и его успешного лечения.

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

### *Список литературы*

1. Баранов А.Н. Введение в прикладную лингвистику. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 360 с.
2. Бондарко Л.В., Вербицкая Л.А., Мартыненко Г.Я. и др. Прикладное языкознание. СПб: Изд-во СПбГУ, 1996. 528 с.
3. Головачева А.К. Частотный курс ускоренного обучения английскому языку по профилю радиоэлектроники. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1978. 240 с.
4. Кибрик А.Е. Очерки по общим и прикладным вопросам языкознания. М.: Изд-во. МГУ, 1992. 336 с.
5. Крысин Л.П. Очерки по социолингвистике. М.: ФЛИНТА, 2021. 360 с.
6. Кушнерук С.П. Прикладная лингвистика: вызовы XXI века // Вестник ВолГУ. 2017. Серия 2. «Языкознание». Т. 16. № 2. С. 6-17.
7. Макарова О.В. Анализ эффективности пациентоцентричных коммуникативных навыков врача // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2020. Т. 12. № 3. С. 108-121. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-3-108-121>

8. Макарова О.В., Хвощ Р.Н. Лингвометодический аспект формирования коммуникативной компетенции будущего врача // Проблемы современного педагогического образования. 2022. № 77-3. С. 152-155.
9. Пиотровский Р.Г. и др. Математическая лингвистика. М.: Высшая школа, 1977. 383 с.
10. Тунгушбаева Г.Ж., Исаева Ж.Т. Социальная дифференциация языка и профессиональная сфера общения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. №3-2. С. 183-186.
11. Burns A. What is Applied Linguistics? URL: [https://www.academia.edu/8302127/What\\_is\\_Applied\\_Linguistics](https://www.academia.edu/8302127/What_is_Applied_Linguistics) (дата обращения: 01.02.2023)
12. Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations (1995-2005). URL: <https://www.jointcommission.org> (дата обращения: 24.10.2022)
13. Kress G.R. Literacy in the new media age // Psychology Press, 2003. London and New York: Routledge, 208 p.
14. Nelson T.H. Literary Machines: The Report On, And Of, Project Xanadu, Concerning Word Processing, Electronic Publishing, Hypertext, Thinkertoys, Tomorrows intellectual Revolution, And Certain Other Topics Including Knowledge, Education And Freedom. Swarthmore, 1981, 132 p.
15. Sutherland-Smith W. Web-text: perceptions of digital reading skills in the ESL classroom // Prospect, 2022, vol. 17, no 1, pp. 55-70.

### References

1. Baranov A.N. *Vvedenie v prikladnyu lingvistiku* [Introduction to Applied Linguistics]. Moscow: Editorial URSS Publ., 2001, 360 p.
2. Bondarko L.V., Verbitskaya L.A., Martynenko G.Ya., et al. *Prikladnoe yazykoznanie* [Applied Linguistics]. St. Peterburg: SPbSU Publ., 1996, 528 p.
3. Golovacheva A.K. *Chastotnyy kurs uskorennoy obucheniya angliyskomu yazyku po profilyu radioelektroniki* [Frequency course of accelerated learning of English in the field of radio electronics]. Leningrad: LGU Publ., 1978, 240 p.
4. Kibrik A.E. *Ocherki po obshchim i prikladnym voprosam yazykoznaniya* [Essays on General and Applied Questions of Linguistics]. Moscow: MSU Publ., 1992, 336 p.
5. Krysin L.P. *Ocherki po sotsiolingvistike* [Essays in sociolinguistics]. Moscow: FLINTA Publ., 2021, 360 p.
6. Kushneruk S.P. *Prikladnaya lingvistika: vyzovy XXI veka* [Applied Linguistics: Challenges of the 21st Century]. *Vestnik VolGU* [VVSU Bulletin], 2017, vol. 16, no. 2, pp. 6-17.
7. Makarova O.V. *Analiz effektivnosti patsientotsentrichnykh kommunikativnykh navykov vracha* [The analysis of doctor's patient-centered communication skills

- efficiency]. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2020, vol. 12, no. 3, pp. 108-121. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2020-12-3-108-121>
8. Makarova O.V., Khvoshch R.N. Lingvometodicheskiy aspekt formirovaniya kommunikativnoy kompetentsii budushchego vracha [Developing a future doctor's communication competence in linguistic and methodological perspective]. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya* [Problems of Modern Teacher Education], 2022, no. 77-3, pp. 152-155.
  9. Piotrovskiy R.G. et al. *Matematicheskaya lingvistika* [Mathematical linguistics]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1977, 383 p.
  10. Tungushbaeva G.Zh., Isaeva Zh.T. Sotsial'naya differentsiatsiya yazyka i professional'naya sfera obshcheniya [Social differentiation of language and professional sphere of communication]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [Actual Problems of the Humanities and Natural Sciences], 2015, no. 2, pp. 183-186.
  11. Burns A. What is Applied Linguistics? URL: [https://www.academia.edu/8302127/What\\_is\\_Applied\\_Linguistics](https://www.academia.edu/8302127/What_is_Applied_Linguistics) (accessed February 01, 2023)
  12. Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations (1995 – 2005). URL: <https://www.jointcommission.org> (accessed October 24, 2022)
  13. Kress G.R. Literacy in the new media age. *Psychology Press*, 2003, London and New York: Routledge, 208 p.
  14. Nelson T.H. Literary Machines: The Report On, And Of, Project Xanadu, Concerning Word Processing, Electronic Publishing, Hypertext, Thinkertoys, Tomorrows intellectual Revolution, And Certain Other Topics Including Knowledge, Education and Freedom. Swarthmore, 1981, 132 p.
  15. Sutherland-Smith W. Web-text: perceptions of digital reading skills in the ESL classroom. *Prospect*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 55-70.

#### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Макарова Ольга Владимировна**, доцент кафедры филологических дисциплин, кандидат филологических наук, доцент  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Тюменский государственный медицинский университет*  
ул. Одесская, 54, г. Тюмень, 625023, Российская Федерация  
[otakarova1980@mail.ru](mailto:otakarova1980@mail.ru)

**Хвощ Раиса Николаевна**, заведующий кафедрой филологических дисциплин, кандидат филологических наук, доцент  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Тюменский государственный медицинский университет*

*ул. Одесская, 54, г. Тюмень, 625023, Российская Федерация  
raisakhvoshch@gmail.com*

**Болдырева Юлия Викторовна**, доцент кафедры биологической химии,  
кандидат медицинских наук, доцент  
*Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение Тюменский государственный медицинский универ-  
ситет*  
*ул. Одесская, 54, г. Тюмень, 625023, Российская Федерация  
tgma.06@mail.ru*

#### DATA ABOUT THE AUTHORS

**Olga V. Makarova**, Associate Professor, Department of philological disci-  
plines, Ph.D. in Philology  
*Tyumen State Medical University*  
*54, Odesskaya Str., Tyumen, 625023, Russian Federation*  
*omakarova1980@mail.ru*  
*SPIN-code: 5658-9943*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3356-6794>*

**Raisa N. Khvoshch**, Associate Professor, Department of Philological Disci-  
plines, Ph.D. in Philology  
*Tyumen State Medical University*  
*54, Odesskaya Str., Tyumen, 625023, Russian Federation*  
*raisakhvoshch@gmail.com*  
*SPIN-code: 3073-6024*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0811-6895>*

**Yulia V. Boldyreva**, Associate Professor, Department of Biological Chemistry,  
Ph.D. in Medicine  
*Tyumen State Medical University*  
*54, Odesskaya Str., Tyumen, 625023, Russian Federation*  
*tgma.06@mail.ru*  
*SPIN-code: 1449-4485*  
*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3276-7615>*

Поступила 27.06.2023

После рецензирования 10.07.2023

Принята 15.07.2023

Received 27.06.2023

Revised 10.07.2023

Accepted 15.07.2023

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071

УДК 614.256 + 34.04



Научная статья

## КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ «ВОЕННО-ВРАЧЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА» В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОМ КОНТЕКСТЕ

*П.Ю. Наумов, И.В. Холиков, С.К. Солдатов*

**Состояние вопроса.** Законодательством России установлены, а в экспертной и медицинской деятельности осуществляются различные виды медицинских экспертиз, в том числе и военно-врачебная экспертиза, проводимая в отношении военнослужащих, сотрудников различных органов, уволенных со службы лиц, а также членов семей военнослужащих (сотрудников) и иных отдельных категорий граждан. При этом с учетом изменений в законодательстве, регулирующем порядок проведения военно-врачебной экспертизы, актуальным является конкретизация и концептуализация собственно понятия военно-врачебной экспертизы.

**Цель исследования.** Работа направлена на выявление, анализ и обобщение существенных признаков определения понятия «военно-врачебная экспертиза» в междисциплинарном контексте (медицина, право, формальная логика).

**Материалы и методы исследования.** Для рассмотрения вопросов, связанных с выявлением существенных признаков, формулированием и обоснованием понятия военно-врачебной экспертизы, авторами исследования применен комплекс современных эпистемологических способов познания объективной реальности, к которым относятся системный подход и функциональный анализ, дедуктивные рассуждения и выведение индуктивных посылок, теоретическая аргументация и литературно-научная иллюстрация, методологическое сравнение и эмпирический отбор необходимых данных. Комплексность применения указанных эпистемологических средств обеспечена через функции используемых методов и подходов (информационные, методологические, ориентационные, опорно-целевые). Применение названных методов и средств позволило концептуализировать понятие «военно-врачебная экспертиза» для его встройки в структуру современного научного знания.

**Результаты и выводы.** В статье результативно обобщены существенные признаки понятия «военно-врачебная экспертиза» как одного из видов медицинских экспертиз, описаны его содержательные и структурно-функциональные компоненты. Приведены объем и содержание понятия «военно-врачебная экспертиза», указано на значение концептуализации данного термина для науки и практики. Определяются перспективные пути дальнейшего исследования и приводятся актуальные темы для дальнейшего познания.

**Ключевые слова:** медицинские экспертизы; формы логического мышления; военно-врачебная экспертиза; теоретические обобщения; сущностные аспекты; медицинское обследование и освидетельствование; существенные признаки; определение категории годности; установление причинной связи

**Для цитирования.** Наумов П.Ю., Холиков И.В., Солдатов С.К. Концептуализация понятия «военно-врачебная экспертиза» в междисциплинарном контексте // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №1. С. 422-445. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071

Original article

## CONCEPTUALIZATION OF THE CONCEPT OF «MILITARY MEDICAL EXAMINATION» IN AN INTERDISCIPLINARY CONTEXT

*P.Yu. Naumov, I.V. Kholikov, S.K. Soldatov*

**Background.** The legislation of Russia has established, and in expert and medical activities, various types of medical examinations are carried out, including military medical examinations carried out in relation to military personnel, employees of various bodies, persons dismissed from service, as well as family members of military personnel (employees) and other individual categories of citizens. At the same time, taking into account changes in the legislation regulating the procedure for conducting military medical examination, it is relevant to specify and conceptualize the actual concept of military medical examination.

**Purpose.** The work is aimed at identifying, analyzing and generalizing the essential features of the definition of the concept of «military medical examination» in an interdisciplinary context (medicine, law, formal logic).

**Materials and methods.** To consider issues related to the identification of essential features, formulation and justification of the concept of military medical examination, the authors of the study used a complex of modern epistemological

*methods of cognition of objective reality, which include a systems approach and functional analysis, deductive reasoning and the derivation of inductive premises, theoretical argumentation and literary and scientific illustration, methodological comparison and empirical selection of relevant data. The complexity of the application of these epistemological means is ensured through the functions of the methods and approaches used (informational, methodological, orientation, support-target). The use of these methods and means made it possible to conceptualize the concept of «military medical examination» for its integration into the structure of modern scientific knowledge.*

**Results and conclusions.** *The article effectively summarizes the essential features of the concept of «military medical examination» as one of the types of medical examinations, and describes its substantive, structural and functional components. The scope and content of the concept of «military medical examination» are given, and the significance of the conceptualization of this term for science and practice is indicated. Promising ways for further research are identified and current topics for further knowledge are presented.*

**Keywords:** *medical examinations; forms of logical thinking; military medical examination; theoretical generalizations; essential aspects; medical examination and examination; essential features; determination of suitability category; establishment of causation*

**For citation.** *Naumov P.Yu., Kholikov I.V., Soldatov S.K. Conceptualization of the Concept of «Military Medical Examination» in an Interdisciplinary Context. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 422-445. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-1-1071*

## **Введение**

Формулирование понятий, определение логической и непротиворечивой терминологии для различных направлений научного познания всегда являлось и сегодня является актуальной научной задачей. Без определенного языка науки, состоящего из совокупности понятий, используемых в конкретной области знаний и обладающих определенной спецификой, функциональным предназначением, «полем реализации», самостоятельным объемом и содержанием, не существует и науки как таковой [2].

Целые научные области фиксируют свое категоричное, понятийное, терминологическое и концептуальное поле с помощью используемых слов (понятий, определений понятий, терминов, концептов), имеющих строго определенное для данной науки значение при этимологической разнице происхождения и развития [19; 20].

Определение понятийного поля, терминологического статуса и информационного значения используемых наукой слов (словосочетаний) – это не только общеполитическая, формально-логическая или филологическая проблема [36]. Язык науки это главный носитель накопленных человечеством данных, самый удобный и распространяемый источник трансляции и усвоения знаний об объективной реальности, как в целом, так и в отдельных областях в частности [21].

В правовой науке и медицинском праве используемые понятия имеют еще и правоприменительное значение, поскольку содержание, объем, значение и интерпретация понятия напрямую влияют на то, как на практике данное слово (словосочетание) может применяться и какие юридически значимые последствия это может иметь для неопределенного круга лиц. Для осуществления экспертной деятельности используемые понятия выполняют важные содержательные, ориентирующие и информационные функции, выступая исходными положениями для осуществления квалифицированного и глубокого исследования, называемого экспертизой.

Экспертная деятельность в России многообразна и включает в себя множество видов осуществляемых экспертиз. В структуре экспертной деятельности важное место занимают медицинские экспертизы, к которым относятся: а) экспертиза временной нетрудоспособности; б) медико-социальная экспертиза; в) военно-врачебная экспертиза; г) судебно-медицинская и судебно-психиатрическая экспертизы; д) экспертиза профессиональной пригодности и экспертиза связи заболевания с профессией; е) экспертиза качества медицинской помощи. Цели медицинских экспертиз многообразны, как и их подвиды. Так, в рамках судебно-медицинской экспертизы проводится множество конкретных исследований. В отношении военнослужащих, сотрудников различных органов исполнительной власти, называемых силовыми или правоохранительными, а также отдельных категорий граждан могут осуществляться различные виды медицинских экспертиз, одной из которых является военно-врачебная экспертиза. Данный вид медицинской экспертизы решает большой комплекс многообразных задач в отношении большого количества граждан, связавших свою судьбу с профессиональным служением Родине.

В последнее время нормы права, регулирующие проведение военно-врачебной экспертизы претерпели ряд конструктивных изменений и были адаптированы под условия современной военно-служебной деятельности и реалии заболеваний увечий военнослужащих и иных лиц. В связи с этим актуальным является конкретизация и концептуализация



определения понятия военно-врачебной экспертизы в междисциплинарном дискурсе.

Концептуальное междисциплинарное выявление существенных признаков и последующая конкретизация определения понятия «военно-врачебная экспертиза» по своим результатам и эвристическому значению позволит выполнить ряд ориентационных, информационных, правоприменительных и познавательных-трансляционных функций, прояснит вопросы, связанные с назначением и производством медицинских экспертиз в судебном порядке и позволит более качественно осуществлять процесс профессиональной подготовки в области организации здравоохранения и общественного здоровья.

### **Материалы и методы**

Для рассмотрения вопросов, связанных с выявлением существенных признаков, формулированием и обоснованием понятия военно-врачебной экспертизы, авторами исследования применен комплекс современных эпистемологических способов познания объективной реальности, к которым относятся системный подход и функциональный анализ, дедуктивные рассуждения и выведение индуктивных посылок, теоретическая аргументация и литературно-научная иллюстрация, методологическое сравнение и эмпирический отбор необходимых данных. Комплексность применения указанных эпистемологических средств обеспечена через функции используемых методов и подходов (информационные, методологические, ориентационные, опорно-целевые). Применение названных методов и средств позволило концептуализировать понятие «военно-врачебная экспертиза» для его встройки в структуру современного научного знания.

Выявление, анализ и обобщение существенных признаков определения понятия «военно-врачебная экспертиза» в междисциплинарном контексте опирается на комплекс научных исследований, проведенных как по общим вопросам, так и проблемам осуществления медицинской деятельности, проведения медицинских экспертиз, военно-врачебной, врачебно-летней и иным видам экспертиз (А.М. Адаменко [3], И.В. Бухтияров [12], Ю.В. Богдасаров [4], В.С. Вовкодав [49], О.В. Дамаскин [48], А.В. Ганишев [1; 14], К.В. Жданов [15; 51], А.И. Землин [16], О.С. Иштутин [17], С.Я. Казанцев [18], Е.В. Крюков [22], А.В. Кудашкин [35], С.А. Кузьмин [24; 25], В.В. Куликов [26], С.С. Меметов [27], А.Ю. Рязанова [34], В.А. Сидоренко [37], А.А. Согияйнен [38-41], Л.Н. Солдатова [42], С.С. Харитонов [43] И.В. Холиков [44-46; 52], Л.П. Храпылина [54], А.Л. Чаплиук [55], Д.А. Чернов [56],

А.В. Чумаков [57], Ю.К. Чурилов [58], В.А. Шаповалов [59], М.В. Янина [60]), а также авторские научные разработки и частные правовые заметки [5-10; 13; 23; 28-32].

Таким образом, обобщенная и примененная в исследовании методология, позволила раскрыть цель исследования по конкретизации и обоснованию определения понятия «военно-врачебная экспертиза», а также решить следующие задачи: выявить комплекс нормативных правовых актов и иных документов, в которых раскрываются различные предметные и функциональные характеристики изучаемого определения; установить и концептуализировать существенные признаки, теоретические и практические основы, а также сущностные характеристики, объем и содержание определения понятия «военно-врачебная экспертиза»; выявить функции военно-врачебной экспертизы как отдельного, самостоятельного и особого вида медицинских экспертиз; определить перспективные направления осуществления дальнейшего исследовательского процесса.

### **Основная часть**

Изучение названной медицинской и правовой литературы, а также нормативных правовых актов федерального уровня и ведомственного назначения позволяет выделить нижеприведенные сущностные аспекты военно-врачебной экспертизы как отдельного (самостоятельного) вида медицинских экспертиз в Российской Федерации. Данный вид медицинских экспертиз по своей функциональной роли, охвату ею граждан, обладает собственным предназначением и специфическими функциями при поддержании, сохранении, восстановлении и оценке состояния здоровья обследуемых и освидетельствуемых.

Военно-врачебная экспертиза – самостоятельный вид медицинской экспертизы, проводимой очно (в отдельных, только законодательно определенных, случаях – заочно) в мирное и военное время в Вооруженных Силах России (иных войсках, воинских формированиях и органах) военно-врачебными (врачебно-летными) комиссиями в отношении военнослужащих, сотрудников и иных лиц с целью определения категории годности к военной службе (службе), установления причинной связи и разрешения иных вопросов в соответствии с возложенными на военно-врачебные (врачебно-летные) комиссии задачами, предполагающей проведение медицинского обследования и освидетельствования при определившемся врачебно-экспертном исходе (для категории годности) с вынесением письменного заключения по форме, установленной уполномоченными органами.

Отдельно хочется отметить то, почему военно-врачебная экспертиза является не только самостоятельным и отдельным, но и особым видом медицинских экспертиз. Связано это с тем, что остальные виды медицинских экспертиз потенциально могут быть проведены в отношении любых лиц, при необходимости их проведения, а также согласия граждан (в отдельных, определенных законом случаях, без их согласия). Возможность же проведения военно-врачебной экспертизы в отношении лица связана с его специальным правовым статусом, который заключается в исполнении определенных служебных обязанностей, наличия воинского (специального) звания. Если лицо не проходило военную службу и никаким иным образом не исполняло воинской обязанности, это не порождает необходимости проведения в отношении него военно-врачебной экспертизы. Кроме того, успешное прохождение медицинского освидетельствования и соответствия по состоянию здоровья для прохождения военной и иной службы это необходимое условие получения правового статуса военнослужащего (сотрудника). То есть наличие целевой характер проведения военно-врачебной экспертизы в отношении определенного круга лиц, связанного с поступлением на военную службу (службу), ее прохождения и увольнения с нее.

Вынесенное в установленном порядке военно-врачебной (врачебно-летней) комиссией письменное заключение обязательно для исполнения должностными лицами соответствующих органов (организаций) на всей территории России и в отношении ее граждан за пределами страны (при прохождении там военной и иной службы).

Также стоит сказать о том, что военно-врачебная экспертиза может быть независимой, проводимой по заявлению граждан в определенных случаях за их счет на основании заявления по договору с выбранной гражданином организацией (при этом организация никаким образом не должна быть связана с государственными органами военно-врачебной экспертизы).

Для осуществления данного вида медицинских экспертиз (в том числе и независимой) необходима выданная в установленном порядке лицензия на осуществление медицинской деятельности по военно-врачебной и врачебно-летней экспертизе.

Помимо литературного, что является нормативными источниками понятия военно-врачебной экспертизы и формирования его существенных признаков как междисциплинарного термина, который имеет важнейшее значение для медицинской, юридической, социальной и иных видов деятельности и научного познания?

Нормативными правовыми источниками существенных признаков как определения понятия «военно-врачебная экспертиза», так и регулирования её деятельности на федеральном уровне являются: Федеральный закон от 27 мая 2003 г. № 58-ФЗ «О системе государственной службы Российской Федерации»; Федеральный закон от 31 мая 1996 г. № 61-ФЗ «Об обороне» (а именно, статья 17.1); Федеральный закон от 21 ноября 2013 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» (статьи 25, 58, 61); Федеральный закон от 27 мая 1998 г. № 76-ФЗ «О статусе военнослужащих» (статья 16, 26); Федеральный закон от 28 марта 1998 г. № 53-ФЗ «О воинской обязанности и военной службе» (статьи 5.1, 33, 36, 51, 57.8); Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии Российской Федерации» (статья 28); Федеральный закон от 3 июля 2016 г. № 227-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации с принятием Федерального закона «О войсках национальной гвардии Российской Федерации»; Федеральный закон от 30 ноября 2011 г. № 342-ФЗ «О службе в органах внутренних дел Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (статьи 9, 19, 30, 65, 82, 84; 88); Федеральный закон от 19 июля 2011 г. № 247-ФЗ «О социальных гарантиях сотрудников органов внутренних дел Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (статья 11); Федеральный закон от 19 июля 2018 г. № 197-ФЗ «О службе в уголовно-исполнительной системе Российской Федерации и о внесении изменений в Закон Российской Федерации «Об учреждениях и органах, исполняющих уголовные наказания в виде лишения свободы» (статьи 9, 19, 30, 67, 84, 87, 91); Федеральный закон от 1 октября 2019 г. № 328-ФЗ «О службе в органах принудительного исполнения Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (статьи 9, 19, 30, 63, 80, 87); Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 114-ФЗ «О службе в таможенных органах России» (статьи 17, 38); Федеральный закон от 23 мая 2016 г. № 141-ФЗ «О службе в федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (это статьи 9, 19, 30, 83, 86, 90); Федеральный закон от 28 марта 1998 г. № 52-ФЗ «Об обязательном государственном страховании жизни и здоровья военнослужащих и иных лиц...» (статья 4); Закон России от 2 июля 1992 г. № 3185-I «О психиатрической помощи и гарантиях прав граждан при ее оказании» (статьи 15 и 23); Закон России от 12

февраля 1993 г. № 4468-1 «О пенсионном обеспечении лиц, проходивших военную службу, службу в органах внутренних дел, Государственной противопожарной службе, органах по контролю за оборотом наркотических средств и психотропных веществ, учреждениях и органах уголовно-исполнительной системы, войсках национальной гвардии Российской Федерации, органах принудительного исполнения Российской Федерации, и их семей» (статьи 16, 21-24, 26, 36); Положение о порядке прохождения военной службы, утвержденное Указом Президента Российской Федерации от 16 сентября 1999 г. № 1237; Устав внутренней службы Вооруженных Сил Российской Федерации (статьи 360, 363), Дисциплинарный устав Вооруженных Сил Российской Федерации (статья 94), Устав гарнизонной и караульной служб Вооруженных Сил Российской Федерации (статья 42) (данные общевойсковые уставы утверждены Указом Президента России от 10 ноября 2007 г. № 1945); Положение о военно-врачебной экспертизе, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 4 июля 2013 г. № 565 «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе»; Положение о независимой военно-врачебной экспертизе, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2008 г. № 574; Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июля 1998 г. № 855 «О мерах по реализации Федерального закона «Об обязательном государственном страховании жизни и здоровья военнослужащих...»; Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 1999 г. № 1441 «Об утверждении Положения о подготовке граждан Российской Федерации к военной службе»; Постановление Правительства Российской Федерации от 5 апреля 2022 г. № 588 «О признании лица инвалидом»; Постановление Правительства России от 1 июня 2021 г. № 852 «О лицензировании медицинской деятельности...»; Ведомственные нормативные правовые акты, методические рекомендации медицинских служб войск, центральных военно-врачебных комиссий и иных уполномоченных на то лиц.

При осуществлении познания содержательно-информационных аспектов понятия «военно-врачебная экспертиза» исследовательские процедуры приводят к выводу о том, что при вынесении решений (заклучений) о категории годности к службе применяется глагол «определяет», а при принятии решений о причинной связи увечий (заболеваний) с прохождением службы используются глаголы «определяет и (или) устанавливает».

Поскольку военно-врачебная экспертиза предполагает проведение *медицинского обследования и медицинского освидетельствования* при опре-

делившемся *врачебно-экспертном исходе*, необходимо остановиться на трех названных существенных признаках исследуемого понятия и прояснить их сущность и содержание в ракурсе заявленной тематики.

Понятия медицинского обследования законодательство о медицинской деятельности, военно-врачебной экспертизе, охраны здоровья граждан и военнослужащих не содержит. Изучение научной литературы и документов, позволяет говорить о том, что медицинское обследование в рамках военно-врачебной экспертизы это комплекс медицинских вмешательств, проводимых врачами, входящими в состав военно-врачебной (врачебно-летней) комиссии путем сбора анамнеза, проведения инструментальных, морфологических, функциональных и иных методов диагностики состояния здоровья военнослужащего (сотрудника) на наличие заболеваний (состояний).

Понятие медицинское освидетельствования приведено в части 1 статьи 65 Федерального закона «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации». Под ним понимается комплексное совокупное применение возможных медицинских методов изучения (оценки) состояния здоровья с обязательной исследовательской фиксацией такового, в целях подтверждения (опровержения) наличия (отсутствия) и развития различных заболеваний (состояний). Результаты проведенного медицинского освидетельствования, оформленные в установленном порядке, влекут за собой обязательное наступление юридически значимых последствий для лица, в отношении которого оно было проведено. Данное понятие относится в полном объеме и к исследуемому виду медицинских экспертиз, поскольку военно-врачебная экспертиза предполагает проведение медицинского обследования и освидетельствования. Проводится медицинское освидетельствование в рамках военно-врачебной экспертизы при вынесении решения (заключения).

Под медицинским освидетельствованием в рамках военно-врачебной экспертизы, понимается комплексное совокупное применение возможных медицинских методов врачами, входящими в состав военно-врачебных (врачебно-летних) комиссий в целях изучения (врачебно-экспертной оценки) состояния здоровья с обязательной исследовательской фиксацией такового для подтверждения (опровержения) наличия (отсутствия) и развития различных заболеваний (состояний), влияющих (не влияющих) на прохождение военной службы (службы), а также для подтверждения обстоятельств получения увечий (заболеваний) и определения (установления) их причинной связи.

Результаты проведенного медицинского освидетельствования, оформленные в установленном порядке, влекут за собой обязательное на-

ступление юридически значимых последствий для военнослужащих (сотрудников) и иных лиц, в отношении которых оно было проведено. Стоит отметить, что при проведении судебно-медицинской экспертизы может быть установлено наличие (отсутствие) «причинно-следственной связи», в рамках же военно-врачебной экспертизы устанавливается наличие именно «причинной связи» увечья (заболевания) с исполнением обязанностей военной службы (служебных обязанностей).

Для определения категории годности к военной службе (службе) военно-врачебная экспертиза проводится при определенном врачебно-экспертном исходе. Определившийся врачебно-экспертный исход это установленное по итогам обследования и лечения состояние здоровья, дающее военно-врачебной комиссии основания и возможность вынести заключение и когда в дальнейшем при осуществлении необходимого лечения категория годности к военной службе не изменится.

При проведении военно-врачебной экспертизы часто осуществляется ее постоянный спутник – врачебно-летная экспертиза, проводимая в отношении персонала государственной авиации, имеющего статус военнослужащих, сотрудников и иных лиц. Такой вид медицинских экспертиз законодательством об основах охраны здоровья граждан и государственной экспертной деятельности не предусмотрен, однако такой вид работ, как «врачебно-летная экспертиза» имеется в перечне работ, составляющих медицинскую деятельность, указанном в постановлении Правительства Российской Федерации от 1 июня 2021 г. № 852 «О лицензировании медицинской деятельности...».

В связи с необходимостью дальнейшего совершенствования врачебно-летней экспертизы необходимо прояснение в законодательстве является ли она самостоятельным видом медицинских экспертиз или входит в перечень работ, составляющих военно-врачебную экспертизу. В этой связи очевидна объективная необходимость внесения изменений в постановление Правительства России от 1 июня 2021 г. № 852. Представляется, что данный шаг позволит восполнить сформировавшийся после принятия ряда нормативных актов правовой вакуум по вопросу освидетельствования специалистов авиационного персонала и других категорий граждан, учитываемых по указанным военно-учетным специальностям. Данные инициативы особенно актуальны с учетом применения Вооруженных Сил и иных войск для поддержания международного мира и безопасности, где авиационный компонент играет одну из ключевых ролей в достижении его целей.



При этом не только для государственной, но и для гражданской авиации сохраняется значимость и применимость норм международного права, в рамках которых осуществляется авиационная деятельность, в частности полеты в нейтральном воздушном пространстве и которыми регламентируется взаимодействие государства в рамках совместной деятельности по поиску и спасению, как на земле, так и на море, что убедительно показали многие совместные операции по поиску разбившегося авиационного транспорта, в том числе высших должностных лиц государств. Нормы международного воздушного и международного морского права должны учитываться и при планировании и проведении полетов в рамках решения боевых задач, в частности по борьбе с пиратством, во избежание последующих претензий государств по поводу нарушения суверенного воздушного пространства [53], а также правил и процедур безопасности, исключающих опасное пилотирование и связанные с ним возможные воздушные инциденты.

При осуществлении врачебно-летной экспертизы должны учитываться нормы Международной организации гражданской авиации (ИКАО), регламентирующие требования, единые для всех государств – членов этой международной организации, что требует системной работы по имплементации указанных требований в национальные законодательства субъектов международного права, в том числе и нашей страны. Вместе с тем, немаловажным проблемным вопросом, требующим вдумчивого и внимательного подхода законодателя, остается правовая регламентация раскрытия конфиденциальной медицинской информации, связанной с состоянием здоровья членов летных экипажей, особенного психического, что убедительно продемонстрировала катастрофа, связанная с суицидом одного из пилотов авиакомпании German Wings во французских Альпах в марте 2015 года.

Какие функции выполняет военно-врачебная и врачебно-летные экспертизы? К ним относятся исследовательские, оценивающие, информационные, организационные, фиксационные, диагностические, статусно-правовые, социально-значимые. Понятие военно-врачебной экспертизы обладает в свою очередь ориентационными, информационными, содержательными, обобщающими и сравнительно-правовыми.

### **Заключение**

Изучение законодательства, регулирующего проведение (осуществление) военно-врачебной экспертизы позволяет сделать вывод, что от вынесенного по итогам проведения военно-врачебной экспертизы реше-



ния (заклучения) военно-врачебной (врачебно-летней) комиссии зависит прохождение военной и иной службы, предоставление гарантий и компенсаций (единовременное пособие при увольнении, денежные средства участникам накопительно-ипотечной системы), выплата страхового возмещения в связи с причинением вреда здоровью, предоставление пенсионного обеспечения и определение причины инвалидности.

Проведенное исследование понятия военно-врачебной экспертизы и входящих в его объем и содержание существенных признаков этого вида медицинских экспертиз позволяет предложить изменения в действующее законодательство в области охраны здоровья граждан. Так, статью 61 Федерального закона от 21 ноября 2011 г. № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации» предлагается дополнить частью 1 определением понятия военно-врачебная экспертиза. При внесении данных изменений, нынешние части названной статьи необходимо считать с 1-й по 9-ю соответственно со 2-й по 10-ю.

Актуальным и своевременным направлением дальнейшего исследования (в том числе с позиций междисциплинарного подхода) является изучение состояния регулирования в области требований к образованию и квалификации лиц врачебного и иного состава, входящих в состав военно-врачебных и врачебно-летних комиссий. В настоящее время исследований концептуального характера по данной тематике в научной литературе не представлено.

### *Список литературы*

1. Абрамов А.В., Ганишев А.В. Опыт проведения военно-врачебной экспертизы в условиях вооруженного конфликта // Медицинский вестник МВД. 2023. Т. 123, № 2 (123). С. 2–5.
2. Автономова Н.С. Заметки о философском языке: традиции, проблемы, перспективы // Вопросы философии. 1999. № 11. С. 13–28.
3. Адаменко А.М., Кошелев В.П. Истоки отечественной военно-врачебной экспертизы (выдающийся врач и организатор Александр Васильевич Рахманов) // Российский психиатрический журнал. 2013. № 5. С. 89–93.
4. Богдасаров Ю.В., Шутко Г.В. Психодиагностика и военно-врачебная экспертиза: история и перспективы взаимодействия // Вестник Всероссийского института повышения квалификации сотрудников Министерства внутренних дел Российской Федерации. 2017. № 1 (41). С. 62–70.
5. Большакова В.М. Медицинское обеспечение как особый вид обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских фор-

- мирований и органов: комментарий к статье 17.1 Федерального закона «Об обороне» от 31 мая 1996 года / В.М. Большакова, Г.В. Енгибарян, П.Ю. Наумов // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2021. № 2 (283). С. 30–37.
6. Большакова В.М. Нормативное правовое регулирование обязанности медицинских организаций войск национальной гвардии Российской Федерации по информированию граждан о получении медицинской помощи в рамках программ государственных гарантий / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Г.В. Енгибарян // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2021. № 4 (285). С. 30–38.
  7. Большакова В.М. Реализация мер правовой и социальной защиты военнослужащих, граждан, уволенных с военной службы, и членов их семей: к проблеме правового регулирования соответствующих обязанностей федеральных судов общей юрисдикции / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Г.В. Енгибарян, А.А. Лаптев // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2021. № 5 (286). С. 83–91.
  8. Большакова В.М. Доказательства и доказывание при осуществлении судебной защиты интересов военно-медицинских организаций / В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, А.Н. Кононов // Военное право. 2021. № 2 (66). С. 210–217.
  9. Большакова В.М. Отдельные аспекты организации и осуществления судебной защиты интересов медицинских организаций федеральных органов исполнительной власти, где федеральным законом предусмотрена военная служба / В.М. Большакова, Г.В. Енгибарян, П.Ю. Наумов // Вопросы российского и международного права. 2020. Т. 10. № 12-1. С. 49–56.
  10. Большакова В.М., Холиков И.В., Наумов П.Ю. Медицинское обеспечение судебной системы Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 1. С. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
  12. Бухтияров И.В. Опыт концептуализации военных аспектов медицинского права (обсуждение главы 14 учебника «Медицинское право России», ответственный ред. А.А. Мохов, изд-во «Проспект», 2022, – материалы дискуссии) / И.В. Бухтияров, И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов // Медицина труда и промышленная экология. 2023. Т. 63. № 1. С. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
  13. Гавриш Н.Н. Методические аспекты межвидовой экстраполяции экспериментальных данных при импульсном акустическом воздействии на биообъекты (обзор) / Н.Н. Гавриш, А.В. Богомолов, С.К. Солдатов // Siberian

- Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 4. С. 395–429. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-395-429>
14. Ганишев А.В. Анализ категорий годности к службе сотрудников органов внутренних дел, Росгвардии, государственной противопожарной службы, страдающих артериальной гипертензией и достигших предельного возраста пребывания на службе // Медицинский вестник МВД. 2024. Т. 129, № 2 (129). С. 70–73. [https://doi.org/10.52341/20738080\\_2024\\_129\\_2\\_70](https://doi.org/10.52341/20738080_2024_129_2_70)
  15. Жданов К.В., Холиков И.В. Болезнь, вызываемая вирусом Эбола: от теории к практике // Журнал инфектологии. 2015. Т. 7. № 1. С. 5–17.
  16. Землин А.И., Землина О.М. О некоторых аспектах реализации программно-целевого и проектного подходов к подготовке кадров в Вооруженных Силах Российской Федерации // Вестник военного права. 2019. № 4. С. 55–61.
  17. Ишутин О.С. 100 лет белорусской военно-врачебной экспертизе. Сообщение 1. От истоков до создания окружной военно-врачебной комиссии Западного военного округа // Военная медицина. 2022. № 4 (65). С. 142–154. <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2022.4.142>
  18. Казанцев С.Я., Красильников В.И. Историческое единство становления военно-врачебных и судебно-медицинских экспертиз в России // Вестник экономической безопасности. 2019. № 4. С. 237–240. <https://doi.org/10.24411/2414-3995-2019-10248>
  19. Касавин И.Т. Междисциплинарное исследование: к понятию и типологии // Вопросы философии. 2010. № 4. С. 61–73.
  20. Касавин И.Т. Наука как общественное благо // Вестник Томского государственного университета. Философия. Социология. Политология. 2021. № 60. С. 217–227. <https://doi.org/10.17223/1998863X/60/19>
  21. Касавин И.Т. Научное творчество как социальный феномен // Эпистемология и философия науки. 2022. Т. 59, № 3. С. 19–29. <https://doi.org/10.5840/eps202259336>
  22. Крюков Е.В. Особенности формулирования клинического диагноза и медицинского освидетельствования военнослужащих при химических отравлениях и поражениях отравляющими веществами / Е.В. Крюков, С.В. Гайдук, В.Г. Кузьмич // Военно-медицинский журнал. 2023. Т. 344, № 1. С. 25–37. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2023\\_344\\_1\\_25](https://doi.org/10.52424/00269050_2023_344_1_25)
  23. Кудашкин А.В., Холиков И. Опыт концептуализации специальных военных операций в современном праве // Пути к миру и безопасности. 2023. № 1(64). С. 31–47. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-1-31-47>
  24. Кузьмин С.А. Роль военно-врачебной экспертизы в обеспечении безопасности жизнедеятельности воинских коллективов / С.А. Кузьмин, О.И.

- Вовк, В.В. Солодовников, Л.К. Григорьева // Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 1 (241). С. 14–17.
25. Кузьмин С.А. Организация и итоги проведения военно-врачебной экспертизы среди граждан призывного возраста в субъекте Российской Федерации / С. А. Кузьмин, К.А. Избагамбетова, Л.К. Григорьева // Общественное здоровье и здравоохранение. 2022. № 3 (75). С. 14–17. [https://doi.org/10.56685/18120555\\_2022\\_75\\_3\\_14](https://doi.org/10.56685/18120555_2022_75_3_14)
26. Куликов В.В. Осуществление надзора за военно-врачебной экспертизой / В.В. Куликов, Н.А. Дворянчиков, В.Н. Ядчук // Вестник Росздравнадзора. 2010. № S1. С. 36–37.
27. Меметов С.С. Медицинская экспертиза: Состояние, перспективы, проблемы / С.С. Меметов, Л.В. Силенко, Г.Э. Погосян, В.Н. Потапов // Вестник Всероссийского общества специалистов по медико-социальной экспертизе, реабилитации и реабилитационной индустрии. 2017. № 2. С. 5–9.
28. Наумов П.Ю. Концептуальные аспекты производства медицинских экспертиз при обжаловании в судебном порядке заключений по итогам проведения военно-врачебной экспертизы / П.Ю. Наумов, В.М. Большакова, А.И. Землин, И.В. Холиков // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
29. Наумов П.Ю., Холиков И.В. Характеристика правовых основ проведения военно-врачебной экспертизы в войсках национальной гвардии Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2023. Т. 15, № 1. С. 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>
30. Наумов П.Ю. Комплексное исследование правовых основ и проблемных вопросов оказания первой помощи военнослужащим (военнослужащими) / П.Ю. Наумов, Н.Н. Баранова, И.В. Холиков, С.А. Купцов // Медицина катастроф. 2023. № 3. С. 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>
31. Наумов П.Ю. Социальные функции частных военных компаний в условиях трансформации современного миропорядка // Пути к миру и безопасности. 2023. № 2 (65). С. 207–218. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218>
32. Наумов П.Ю. Оказание военнослужащим первичной медико-санитарной помощи: правовое регулирование и проблемные аспекты / П.Ю. Наумов, Р.Н. Шепель, И.В. Холиков // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2023. Т. 22, № S9. С. 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>
33. Наумов П.Ю. Ценность права и правовые ценности в глобализующемся мире (Аксиологический обзор книги «Государство и право: права человека и мировой порядок, основанный на верховенстве права») / П.Ю. Наумов,

- С.И. Захарцев, И.В. Холиков, В.М. Большакова // Государство и право. 2023. № 9. С. 64–72. <https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5>
34. Рязанова А.Ю. Табличный метод психологической диагностики органического расстройства личности при решении задач военно-врачебной экспертизы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Психология. 2008. № 31 (131). С. 56–62.
35. Савенков А.Н., Кудашкин А.В. Военное право: постановка проблемы и пути решения // Государство и право. 2021. № 4. С. 7–34.
36. Саенко А.В. К типологии философских понятий и текстов // Общество: философия, история, культура. 2019. № 12 (68). С. 50–57. <https://doi.org/10.24158/fik.2019.12.8>
37. Сидоренко В.А. Военно-врачебная экспертиза в органах внутренних дел Российской Федерации // Медицинский вестник МВД. 2016. № 4 (83). С. 2–3.
38. Согияйнен А.А. Результаты комплексного исследования экспертного мнения и социально-гигиенических аспектов врачей призывных комиссий субъектов Российской Федерации // Казанский медицинский журнал. 2019. Т. 100, № 4. С. 701–705. <https://doi.org/10.17816/КМЖ2019-701>
39. Согияйнен А.А. Актуальные правовые и организационные проблемы лицензирования военно-врачебной экспертизы / А.А. Согияйнен, В.О. Щепин, Е.А. Тельнова, Л.П. Чичерин // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2017. Т. 25, № 5. С. 290–294. <https://doi.org/10.18821/0869-866X-2017-25-5-290-294>
40. Согияйнен А.А. Мониторинг официальных требований к состоянию здоровья граждан призывного возраста с болезнями нервной системы / А.А. Согияйнен, Л.П. Чичерин, В.О. Щепин // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2022. Т. 30, № 5. С. 801–805. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-801-805>
41. Согияйнен А.А. Эволюция критериев отбора в Вооруженные Силы граждан с психическими расстройствами / А.А. Согияйнен, В.О. Щепин, Л.П. Чичерин // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. 2023. Т. 31, № 4. С. 541–544. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2023-31-4-541-544>
42. Солдатова Л.Н., Иорданишвили А.К. Дефект медицинского освидетельствования при первичной постановке на воинский учет и призыве на военную службу // Ортодонтия. 2022. № 2 (98). С. 7–10.
43. Харитонов С.С. К вопросу обеспечения законности решений воинских должностных лиц в сфере прохождения военной службы в контексте пра-

- воприменительной деятельности // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2019. № 6 (263). С. 18–24.
44. Холиков И.В. Законодательное обеспечение медицинского освидетельствования специалистов авиационного персонала государственной авиации / И.В. Холиков, В.С. Вовкодав // Право в Вооруженных Силах – Военно-правовое обозрение. 2019. № 7 (264), С. 38–44.
45. Холиков И.В., Милованович А., Наумов П.Ю. Динамика функционирования международного права в условиях трансформации современного миропорядка: постнеклассический подход // Журнал российского права. 2022. Т. 26. № 11. С. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
46. Холиков И.В. Федеральный государственный контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса: новый этап регулирования и правоприменения / И.В. Холиков, П.Ю. Наумов, В.М. Большакова [и др.] // Уголь. 2022. № 10 (1159). С. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
47. Холиков И.В. Ценности и смыслы главного судебного акта XX века: аксиологические концепты книги А.Н. Савенкова «Нюрнберг: Приговор во имя Мира» (Материалы дискуссии) / И.В. Холиков, В.М. Большакова, П.Ю. Наумов, Р.В. Зелепукин // Государство и право. 2022. № 10. С. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S102694520021788-7>
48. Холиков И.В., Дамаскин О.В. Проблемные вопросы правовой регламентации врачебно-летней экспертизы в России // Представительная власть – XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. 2018. № 3 (162). С. 10–13.
49. Холиков И.В., Вовкодав В.С. Человеческий фактор безопасности полётов: военно-правовые аспекты // Военное право. 2017. № 6(46). С. 177–179.
50. Холиков И.В. Распространение эпидемий, пандемий и массовых заболеваний как глобальный вызов современности // Пути к миру и безопасности. 2020. № 2 (59). С. 27–40. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40>
51. Холиков И.В., Жданов К.В. Оказание помощи Гвинейской Республике в борьбе с эпидемией геморрагической лихорадки Эбола. Военно-медицинский журнал. 2015. № 2 (Т.336). С. 93-95.
52. Холиков И.В. Деятельность сил и средств медицинской службы в условиях ликвидации последствий чрезвычайной ситуации (Опыт работы российского военно-медицинского контингента в Республике Индонезия) / И.В. Холиков, В.А. Шафалинов, А.Р. Волгин, С.В. Яковлев // Военно-медицинский журнал. 2007. Т. 328. № 3. С. 10–13.

53. Холиков И.В. Противодействие преступным посягательствам на международную морскую безопасность // Преступность в XXI веке. Приоритетные направления противодействия / Институт государства и права РАН. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Юнити-Дана», 2020. С. 431–459.
54. Храпылина Л.П. О профессиональном стандарте специалиста по военно-врачебной экспертизе / Л.П. Храпылина, А.В. Дацко, С.В. Корякин, А.П. Кабалин // Медицинский вестник МВД. 2019. № 6 (103). С. 7–15.
55. Чаплюк А.Л. Проблемы военно-врачебной экспертизы военнослужащих, страдающих хронической обструктивной болезнью легких / А.Л. Чаплюк, С.Г. Бровкин, А.С. Кальманов, В.В. Булавин // Военно-медицинский журнал. 2015. Т. 336, № 2. С. 15–21.
56. Чернов Д.А. Организация и проведение военно-врачебной экспертизы граждан, обучающихся по программам подготовки офицеров запаса на военных кафедрах и военных факультетах / Д.А. Чернов, Д.Ч. Свигло, И.А. Лятос, В.А. Новоселецкий // Военная медицина. 2017. № 4 (45). С. 6–8.
57. Чумаков А.В. Проблема кардиологического обследования водолазного состава военно-морского флота при проведении военно-врачебной экспертизы в условиях современного стационара / А.В. Чумаков, Д.В. Черкашин, Г.Г. Кутелев [и др.] // Морская медицина. 2015. Т. 1, № 1. С. 41–44.
58. Чурилов Ю.К. Из истории военно-врачебной экспертизы в России / Ю.К. Чурилов, А.Л. Чаплюк, С.Г. Бровкин, В.С. Вовкодав // Военно-медицинский журнал. 2018. Т. 339, № 4. С. 69–77.
59. Шаповалов В.А. Особенности проведения военно-врачебной экспертизы в Республике Крым // Медицинский вестник МВД. 2016. № 4 (83). С. 4–6.
60. Янина М.В. Распространенность и структура впервые выявленных хронических заболеваний среди призывников при первоначальной постановке на воинский учет / М.В. Янина, А.А. Родионов, А.В. Соловьева, И.В. Янин // Проблемы стандартизации в здравоохранении. 2023. № 5-6. С. 28–32. <https://doi.org/10.26347/1607-2502202305-06028-032>

### References

1. Abramov A.V., Ganishev A.V. *Medicinskij vestnik MVD*, 2023. vol. 123, no. 2 (123), pp. 2–5.
2. Avtonomova N.S. *Voprosy filosofii*, 1999, no. 11, pp. 13–28.
3. Adamenko A.M., Koshelev V.P. *Rossijskij psichiatricheskij zhurnal*. 2013. no. 5. pp. 89–93.

4. Bogdasarov Ju.V., Shutko G.V. *Vestnik Vserossijskogo instituta povyshenija kvalifikacii sotrudnikov Ministerstva vnutrennih del Rossijskoj Federacii*, 2017, no. 1 (41), pp. 62–70.
5. Bol'shakova V.M., Engibarjan G.V., Naumov P.Ju. *Pravo v Vooruzhennyh Silah – Voенno-pravovoe obozrenie*, 2021, no. 2 (283), pp. 30–37.
6. Bol'shakova V.M., Naumov P.Ju., Engibarjan G.V. *Pravo v Vooruzhennyh Silah – Voенno-pravovoe obozrenie*, 2021, no. 4 (285), pp. 30–38.
7. Bol'shakova V.M., Naumov P.Ju., Engibarjan G.V., Laptev A.A. *Pravo v Vooruzhennyh Silah – Voенno-pravovoe obozrenie*, 2021, no. 5 (286), pp. 83–91.
8. Bol'shakova V.M., Naumov P.Ju., Kononov A.N. *Voенnoe pravo*, 2021, no. 2 (66), pp. 210–217.
9. Bol'shakova V.M., Engibarjan G.V., Naumov P.Ju. *Voprosy rossijskogo i mezhdunarodnogo prava*, 2020, vol. 10, no. 12-1, pp. 49–56.
10. Bol'shakova V.M., Holikov I.V., Naumov P.Ju. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2022, vol. 14, no. 1, pp. 103–127. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-1-103-127>
12. Buhtijarov I.V., Holikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Ju. *Medicina truda i promyshlennaja jekologija*, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 67–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-1-67-73>
13. Gavriš N.N., Bogomolov A.V., Soldatov S.K. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 395–429. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-4-395-429>
14. Ganishev A.V. *Medicinskij vestnik MVD*, 2024, vol. 129, no. 2 (129), pp. 70–73. [https://doi.org/10.52341/20738080\\_2024\\_129\\_2\\_70](https://doi.org/10.52341/20738080_2024_129_2_70)
15. Zhdanov K.V., Holikov I.V. *Zhurnal infektologii*, 2015, vol. 7, no. 1. pp. 5–17.
16. Zemlin A.I., Zemlina O.M. *Vestnik voennogo prava*, 2019, no. 4, pp. 55–61.
17. Ishutin O.S. *Voennaja medicina*, 2022, no. 4 (65), pp. 142–154. <https://doi.org/10.51922/2074-5044.2022.4.142>
18. Kazancev S.Ja., Krasil'nikov V.I. *Vestnik jekonomičeskoj bezopasnosti*, 2019, no. 4, pp. 237–240. <https://doi.org/10.24411/2414-3995-2019-10248>
19. Kasavin I.T. *Voprosy filosofii*, 2010, no. 4, pp. 61–73.
20. Kasavin I.T. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofija. Sociologija. Politologija*, 2021, no. 60, pp. 217–227. <https://doi.org/10.17223/1998863X/60/19>
21. Kasavin I.T. *Jepistemologija i filosofija nauki*, 2022, vol. 59, no. 3, pp. 19–29. <https://doi.org/10.5840/eps202259336>
22. Krjukov E.V., Gajduk S.V., Kuz'mich V.G. *Voенno-medicinskij zhurnal*, 2023, vol. 344, no. 1, pp. 25–37. [https://doi.org/10.52424/00269050\\_2023\\_344\\_1\\_25](https://doi.org/10.52424/00269050_2023_344_1_25)



23. Kudashkin A.V., Holikov I. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2023, no. 1(64), pp. 31–47. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-1-31-47>
24. Kuz'min S.A., Vovk O.I., Solodovnikov V.V., Grigor'eva L.K. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2021, no. 1 (241), pp. 14–17.
25. Kuz'min S.A., Izbagambetova K.A., Grigor'eva L.K. *Obshhestvennoe zdorov'e i zdravoohranenie*, 2022, no. 3 (75), pp. 14–17. [https://doi.org/10.56685/18120555\\_2022\\_75\\_3\\_14](https://doi.org/10.56685/18120555_2022_75_3_14)
26. Kulikov V.V., Dvorjanchikov N.A., Jadchuk V.N. *Vestnik Roszdravnadzora*, 2010, no. S1, pp. 36–37.
27. Memetov S.S., Silenko L.V., Pogosjan G.Je., Potapov V.N. *Vestnik Vserossijskogo obshhestva specialistov po mediko-social'noj jekspertize, rehabilitacii i reabilitacionnoj industrii*, 2017, no. 2, pp. 5–9.
28. Naumov P.Ju., Bol'shakova V.M., Zemlin A.I., Holikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2021, vol. 13, no. 6, pp. 283–306. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-6-283-306>
29. Naumov P.Ju., Holikov I.V. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2023, vol. 15, no. 1, pp. 474–493. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-1-474-493>
30. Naumov P.Ju., Baranova N.N., Holikov I.V., Kupcov S.A. *Medicina katastrof*, 2023, no. 3, pp. 57–64. <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2023-3-57-64>
31. Naumov P.Ju. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2023, no. 2 (65), pp. 207–218. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2023-2-207-218>
32. Naumov P.Ju., Shepel' R.N., Holikov I.V. *Kardiovaskuljarnaja terapija i profilaktika*, 2023, vol. 22, no. S9, pp. 46–56. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2023-3885>
33. Naumov P.Ju., Zaharcev S.I., Holikov I.V., Bol'shakova V.M. *Gosudarstvo i pravo*, 2023, no. 9, pp. 64–72. <https://doi.org/10.31857/S102694520024304-5>
34. Rjazanova A.Ju. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Psihologija*, 2008, no. 31 (131), pp. 56–62.
35. Savenko A.N., Kudashkin A.V. *Gosudarstvo i pravo*, 2021, no. 4, pp. 7–34.
36. Saenko A.V. *Obshhestvo: filosofija, istorija, kul'tura*, 2019, no. 12 (68), pp. 50–57. DOI 10.24158/fik.2019.12.8.
37. Sidorenko V.A. *Medicinskij vestnik MVD*, 2016, no. 4 (83), pp. 2–3.
38. Sogijajnen A.A., Shhepin V.O., Tel'nova E.A., Chicherin L.P. *Problemy social'noj gigieny, zdavoohranenija i istorii mediciny*, 2017, vol. 25, no. 5, pp. 290–294. <https://doi.org/10.18821/0869-866X-2017-25-5-290-294>
39. Sogijajnen A.A. *Kazanskij medicinskij zhurnal*, 2019, vol. 100, no. 4, pp. 701–705. <https://doi.org/10.17816/KMJ2019-701>

40. Sogijajnen A.A., Chicherin L.P., Shhepin V.O. *Problemy social'noj gigieny, zdravoohranenija i istorii mediciny*, 2022, vol. 30, no. 5, pp. 801–805. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-801-805>
41. Sogijajnen A.A., Shhepin V.O., Chicherin L.P. *Problemy social'noj gigieny, zdravoohranenija i istorii mediciny*, 2023, vol. 31, no. 4, pp. 541–544. <https://doi.org/10.32687/0869-866X-2023-31-4-541-544>
42. Soldatova L.N., Iordanishvili A.K. *Ortodontija*, 2022, no. 2 (98), pp. 7–10.
43. Haritonov S.S. *Pravo v Vooruzhennyh Silah – Voенno-pravovoe obozrenie*, 2019, no. 6 (263), pp. 18–24.
44. Holikov I.V., Vovkodav V.S. *Pravo v Vooruzhennyh Silah – Voенno-pravovoe obozrenie*, 2019, no. 7 (264), pp. 38–44.
45. Holikov I.V., Milovanovich A., Naumov P.Ju. *Zhurnal rossijskogo prava*, 2022, vol. 26, no. 11, pp. 132–148. <https://doi.org/10.12737/jrl.2022.122>
46. Holikov I.V., Naumov P.Ju., Bol'shakova V.M. et al. *Ugol'*, 2022, no. 10 (1159), pp. 66–71. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022106671>
47. Holikov I.V., Bol'shakova V.M., Naumov P.Ju., Zelepukin R.V. *Gosudarstvo i pravo*, 2022, no. 10, pp. 51–62. <https://doi.org/10.31857/S102694520021788-7>
48. Holikov I.V., Damaskin O.V. *Predstavitel'naja vlast' – XXI vek: zakonodatel'stvo, kommentarii, problem*, 2018, no. 3 (162), pp. 10–13.
49. Holikov I.V., Vovkodav V.C. *Voенnoe pravo*, 2017, no. 6 (46), pp. 177–179.
50. Holikov I.V. *Puti k miru i bezopasnosti*, 2020, no. 2 (59), pp. 27–40. <https://doi.org/10.20542/2307-1494-2020-2-27-40>
51. Holikov I.V., Zhdanov K.V. *Voенno-medicinskij zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 2, pp. 93–95.
52. Holikov I.V., Shafalinov V.A., Volgin A.R., Jakovlev S.V. *Voенno-medicinskij zhurnal*, 2007, vol. 328, no. 3, pp. 10–13.
53. Holikov I.V. *Institute of State and Law of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Limited Liability Company «Unity-Dana Publishing House», 2020, pp. 431–459.
54. Hrapylina L.P., Dacko A.V., Korjakin S.V., Kabalin A.P. *Medicinskij vestnik MVD*, 2019, no. 6 (103), pp. 7–15.
55. Chapljuk A.L., Brovkin S.G., Kal'manov A.S., Bulavin V.V. *Voенno-medicinskij zhurnal*, 2015, vol. 336, no. 2, pp. 15–21.
56. Chernov D.A., Sviglo D.Ch., Ljatos I.A., Novoseleckij V.A. *Voennaja medicina*, 2017, no. 4 (45), pp. 6–8.
57. Chumakov A.V., Cherkashin D.V., Kutelev G.G. et al. *Morskaja medicina*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 41–44.
58. Churilov Ju.K., Chapljuk A.L., Brovkin S.G., Vovkodav V.S. *Voенno-medicinskij zhurnal*, 2018, vol. 339, no. 4, pp. 69–77.

59. Shapovalov V.A. *Medicinskij vestnik MVD*, 2016, no. 4 (83), pp. 4–6.
60. Janina M.V., Rodionov A.A., Solov'eva A.V., Janin I.V. *Problemy standartizacii v zdrazvoohranenii*, 2023, no. 5-6, pp. 28–32. <https://doi.org/10.26347/1607-2502202305-06028-032>

### ДАнные ОБ АВТОРАХ

**Наумов Петр Юрьевич**, кандидат педагогических наук, помощник начальника госпиталя по правовой работе – начальник отделения правового обеспечения  
*ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск национальной гвардии Российской Федерации»  
Вишняковское шоссе, владение 101, микрорайон Никольско-Архангельский, г. Балашиха, Московская область, 143914, Российская Федерация  
petr.naumov.777@mail.ru*

**Холик Иван Владимирович**, доктор юридических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела международного права, профессор кафедры международного и европейского права; профессор 25 кафедры  
*ФГНИУ «Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации»; ФГКВБОУ ВО «Военный университет имени Князя Александра Невского» Минобороны России  
ул. Большая Черемушкинская, 34, , г. Москва, 117218, Российская Федерация; ул. Большая Садовая, 14 стр. 1, г. Москва, 123001, Российская Федерация  
iv\_kholik@mail.ru*

**Солдатов Сергей Константинович**, доктор медицинских наук, профессор, начальник отдела, главный редактор журнала Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture  
*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт Военно-Воздушных Сил Министерства обороны Российской Федерации»  
Петровско-Разумовская аллея, 12А, г. Москва, 127083, Российская Федерация  
gniiivm-s@yandex.ru*

**DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Petr Y. Naumov**, Candidate of Pedagogical Sciences, Assistant Head of the Hospital for Legal Work – Head of the Legal Support Department  
*Main Military Clinical Hospital of the National Guard Troops of the Russian Federation*

*101, Vishnyakovskoye highway, Nikolsko-Arkhangelsky microdistrict, Balashikha, Moscow region, 143914, Russian Federation*

*petr.naumov.777@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2875-2322>*

*SPIN-code: 2750-3053*

**Ivan V. Kholikov**, Doctor of Law, Professor, Chief Researcher of International Law Section, Professor of the Chair of International and European law; Professor 25 Departments

*Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation; Military University named after Prince Alexander Nevsky Ministry of Defense of Russia*

*34, B. Cheremushkinskaya Str., Moscow, 117218, Russian Federation;*

*14/1, Bolshaya Sadovaya Str., Moscow, 123001, Russian Federation*

*iv\_kholik@mail.ru*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0421-5829>*

*SPIN-code: 7311-5596*

**Sergey K. Soldatov**, Dr. Sc. (Medicine), Professor, Editor-in-Chief

*Head of Department Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation*

*12A, Petrovsko-Razumovskaya alley, Moscow, 127083, Russian Federation*

*gniiivm-s@yandex.ru*

*SPIN-code: 9606-4793*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6261-3799>*

*Researcher ID: A-7139-2008*

*Scopus Author ID: 7003893229*

Поступила 20.06.2023

После рецензирования 19.07.2023

Принята 25.07.2023

Received 20.06.2023

Revised 19.07.2023

Accepted 25.07.2023

## 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	полutorный
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

### БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

- ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ  
СТРУКТУРЫ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ *TULIPA BIFLORA* PALL.  
(LILIACEAE) В КАЛМЫКИИ  
**Н.Ц. Лиджиева, А.С. Очирова,**  
**Ж.В. Овадыкова** ..... 11
- ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНЫХ МОДИФИКАЦИЙ  
ALLIUM-ТЕСТА ДЛЯ ОЦЕНКИ РАДИОТОКСИЧНОСТИ  
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ЕНИСЕЙ  
**А.Я. Болсуновский, Е.А. Трофимова** ..... 27
- АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОЛЕЗНЫХ СВОЙСТВ  
НЕДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСА  
**А.С. Олькова, Е.В. Товстик** ..... 46
- СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
И ПРОИСХОЖДЕНИЕ СЕРПОВИДНЫХ  
ГЕМОЦИТОВ У НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ  
СЕМЕЙСТВА BLAVERIDAE  
**Е.А. Гребцова, А.А. Присный** ..... 61
- СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ
- ИЗУЧЕНИЕ МЯСНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛОШАДЕЙ ЯКУТСКОЙ  
ПОРОДЫ  
**А.А. Сидоров, Е.Д. Алексеев, М.Ф. Григорьев,**  
**А.И. Григорьева** ..... 75
- ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ДОЗ УДОБРЕНИЙ И КОРРЕЛЯЦИОННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ  
АНАЛИЗ ИССЛЕДУЕМЫХ ФАКТОРОВ  
**А.А. Подлипная, Д.В. Виноградов, Т.В. Зубкова** ..... 90

---

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ САЖЕНЦЕВ ЧЕРЕШНИ ПРИ КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ <b>О.А. Никольская, Е.В. Семинченко, А.В. Солонкин</b> .....	102
ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВОЙ ОБРАБОТКИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ <b>И.А. Массалимов, А.Х. Шакирзянов, Б.И. Массалимов</b> .....	119
ИНТЕНСИВНЫЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА МЕЛКОСЕМЯННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛУПУСТЫНИ <b>С.Н. Крючков, А.В. Солонкин, А.С. Соломенцева</b> .....	144
КРАСНОЗЕРНЫЕ И ЧЕРНОЗЕРНЫЕ СОРТА РИСА КАК ИСТОЧНИКИ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ ПРИЗНАКА В ЗЕРНОВКАХ РИСА <b>Ю.К. Гончаров, С.В. Гончаров</b> .....	164
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ИСХОДНОЙ И САДОВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ <i>VENTURIA INAEQUALIS</i> К ФУНГИЦИДАМ КЛАССА ИНГИБИТОРОВ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ (SDHI) <b>А.И. Насонов, Г.В. Якуба, И.Л. Астапчук, Н.А. Марченко</b> .....	189
ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ РФ <b>А.В. Солонкин, А.Ю. Гузенко, А.В. Гузенко, Е.В. Семинченко</b> ....	211
ОСОБЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЪЕДОБНЫХ ПЛОДОВ ЖИМОЛОСТИ ( <i>LONICERA</i> , <i>CAPRIFOLIACEAE</i> ) В РОССИИ <b>В.Н. Сорокопудов, А.Г. Куклина, Н.С. Цыбулько, Д.В. Лебедев</b> .....	229
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ ВИДОВ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ДЕНДРОФЛОРЫ ЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ <b>А.Ш. Хужахметова, С.Е. Лазарев, К.А. Мельник, Д.В. Сапронова</b> .....	246

**ЗДРАВООХРАНЕНИЕ  
И ПРОФИЛАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА**

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ВНУТРИБОЛЬНИЧНЫХ ИНФЕКЦИЙ В УСЛОВИЯХ МНОГОПРОФИЛЬНОГО ДЕТСКОГО СТАЦИОНАРА <b>И.Г. Алиева, М.Г. Алиев</b> .....	266
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАЛИЧИЯ ХЛАМИДИЙНОЙ ИНФЕКЦИИ ПРИ ПЕРСИСТИРУЮЩЕМ КРУГЛОГОДИЧНОМ АЛЛЕРГИЧЕСКОМ РИНИТЕ <b>Е.Г. Портенко, Г.Б. Бурдо, В.С. Кузнецова, Н.А. Вашневская</b> .....	276
СЕРОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ ЦИТОМЕГАЛОВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ У ЖЕНЩИН В ГОРОДЕ БАКУ <b>З.Н. Гусейнова</b> .....	297
ОЦЕНКА УРОВНЯ БОЛИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ПЛАНТАРНОГО ФАСЦИИТА МЕТОДОМ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ <b>А.-М.Я. Мурадова, В.В. Козлов</b> .....	306
ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАНЯТИЙ ШКОЛЫ ЗДОРОВЬЯ ДЛЯ ФТИЗИОПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ (ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОГО КОМПЛЕКСА) <b>И.Ю. Худогов, В.Т. Чубарян, Л.А. Якименко, Е.В. Шевченко</b> .....	317
<b>НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ</b>	
ВЛИЯНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ НА НЕКОТОРЫЕ ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ФЕРУЛЫ: ОБЗОР <b>М.А. Нематова, С.С. Муродова</b> .....	337
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФИБРОЗА ЛЕГКИХ И РАЗВИТИЕ ХРОНИЧЕСКОЙ ЛЕГОЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У БОЛЬНЫХ ПЕРЕНЕСШИХ COVID-19 <b>Д.Б. Балинян, О.А. Ефремова, Л.А. Камышникова, В.А. Дуброва, А.Ю. Благов</b> .....	361

**ОПЫТ РЕГИОНОВ**

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ЗАНЯТОСТИ  
НАСЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРНОЙ АЗИИ

**С.Н. Иванова** ..... 381

**МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ  
СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ КОММУНИКАТИВНЫХ  
НАВЫКОВ БУДУЩЕГО ВРАЧА

**О.В. Макарова, Р.Н. Хвоц, Ю.В. Болдырева** ..... 405

КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ ПОНЯТИЯ «ВОЕННО-ВРАЧЕБНАЯ  
ЭКСПЕРТИЗА» В МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОМ КОНТЕКСТЕ

**П.Ю. Наумов, И.В. Холиков, С.К. Солдатов** ..... 422

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ** ..... 447

## CONTENTS

### BIOLOGICAL SCIENCES

- VARIABILITY OF THE ONTOGENETIC STRUCTURE  
OF THE COENOPOPULATIONS OF *TULIPA BIFLORA* PALL.  
(LILIACEAE) IN KALMYKIA  
**N.Ts. Lidzhieva, A.S. Ochirova, Zh.V. Ovadykova** ..... 11
- USING DIFFERENT MODIFICATIONS  
OF THE ALLIUM TEST TO EVALUATE RADIOTOXICITY  
OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE YENISEI RIVER  
**A.Ya. Bolsunovsky, E.A. Trofimova** ..... 27
- ALTERNATIVE METHODS FOR ASSESSING USEFUL PROPERTIES  
OF NON-WOOD FOREST PRODUCTS  
**A.S. Olkova, E.V. Tovstik** ..... 46
- STRUCTURAL FEATURES AND ORIGIN OF CRESCENT CELLS  
OF SOME BLABERIDAE  
**E.A. Grebtsova, A.A. Prisnyi** ..... 61

### AGRICULTURAL SCIENCES

- THE STUDY MEAT PRODUCTIVITY OF HORSES YAKUT BREED  
**A.A. Sidorov, E.D. Alekseev, M.F. Grigorev,  
A.I. Grigoreva** ..... 75
- PRODUCTIVITY OF OIL FLAX DEPENDING ON DOSES  
OF FERTILIZERS AND CORRELATION AND STATISTICAL  
ANALYSIS OF THE STUDY FACTORS  
**A.A. Podlipnaya, D.V. Vinogradov, T.V. Zubkova** ..... 90
- COMPARATIVE ANALYSIS OF INDICATORS  
OF ECONOMIC EFFICIENCY OF CULTIVATION OF CHERRY  
SEEDLINGS WITH DRIP IRRIGATION  
**O.A. Nikolskaya, E.V. Semenchenko, A.V. Solonkin** ..... 102

EFFECT OF FOLIAR TREATMENT WITH SULFUR NANOPARTICLES ON WHEAT YIELD <b>I.A. Massalimov, A.Kh. Shakirzyanov, B.I. Massalimov</b> .....	119
INTENSIVE METHODS OF GROWING PLANTING MATERIAL OF SMALL-SEEDED WOODY SPECIES IN SEMI-DESERT CONDITIONS <b>S.N. Kruychkov, A.V. Solonkin, A.S. Solomentseva</b> .....	144
RED GRAIN AND BLACK GRAIN RICE VARIETIES AS SOURCES OF MICROELEMENTS AND GENETIC REGULATION OF THE TRAIT IN RICE GRAIN <b>Yu.K. Goncharova, S.V. Goncharov</b> .....	164
SENSITIVITY BASELINE AND ORCHARD POPULATIONS OF VENTURIA INAEQUALIS TO THE SUCCINATE DEHYDROGENASE INHIBITOR FUNGICIDES (SDHI) <b>A.I. Nasonov, G.V. Yakuba, I.L. Astapchuk, N.A. Marchenko</b> .....	189
CONDUCTING SCIENTIFIC RESEARCH ON THE INFLUENCE OF TRACE ELEMENTS ON THE VITAL ACTIVITY OF WINTER WHEAT IN ARID CONDITIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION <b>A.V. Solonkin, A.Yu. Guzenko, A.V. Guzenko, E.V. Semenchko</b> .....	211
FEATURES OF THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF EDIBLE HONEYSUCKLE FRUITS (LONICERA, CAPRIFOLIACEAE) IN RUSSIA <b>V.N. Sorokopudov, A.G. Kuklina, N.S. Tsybulko, D.V. Lebedev</b> .....	229
COMPARATIVE ENVIRONMENTAL AND GEOGRAPHICAL ANALYSIS OF NORTH AMERICAN SPECIES FOR ENRICHING DENDROFLORA OF FOREST RECLAMATION COMPLEXES <b>A.Sh. Khuzhakhmetova, S.E. Lazarev, K.A. Melnik, D.V. Saprionova</b> .....	246
<b>PUBLIC HEALTH AND PREVENTIVE MEDICINE</b>	
PREVALENCE OF HOSPITAL INFECTIONS IN THE MULTIDISCIPLINARY CHILDREN'S HOSPITAL <b>I.H. Alieva, M.H. Aliev</b> .....	266

---

PREDICTION OF THE PRESENCE OF CHLAMYDIA INFECTION IN PERSISTENT YEAR-ROUND ALLERGIC RHINITIS <b>E.G. Portenko, G.B. Burdo, V.S. Kuznetsova, N.A. Vashnevskaia</b> .....	276
---	-----

THE SEROLOGICAL AND MOLECULAR-BIOLOGICAL MARKERS OF CYTOMEGALOVIRUS INFECTION IN WOMEN IN BAKU CITY <b>Z.N. Huseynova</b> .....	297
---	-----

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF PAIN IN THE TREATMENT OF PLANTAR FASCIITIS BY EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE THERAPY <b>A.-M.Y. Muradova, V.V. Kozlov</b> .....	306
--	-----

ELECTROCARDIOGRAPHIC EVALUATION OF HEALTH SCHOOL FOR PHTHISIO-PULMONOLOGICAL PATIENTS EFFICIENCY (THE CARDIO-LUNG COMPLEX AS BASE OF MORPHOFUNCTIONAL DIAGNOSTIC) <b>I.Yu. Khudonogov, V.T. Chubaryan, L.A. Yakimenko, E.V. Shevchenko</b> .....	317
--	-----

### SCIENTIFIC REVIEWS AND REPORTS

THE INFLUENCE OF RHIZOBACTERIA ON SOME SECONDARY METABOLITES OF FERULA: A REVIEW <b>M.A. Nematova, S.S. Murodova</b> .....	337
--	-----

PREDICTION OF PULMONARY FIBROSIS AND THE DEVELOPMENT OF CHRONIC PULMONARY INSUFFICIENCY IN PATIENTS WHO HAVE UNDERGONE COVID-19 <b>D.B. Balinyan, O.A. Efremova, L.A. Kamishnikova, V.A. Dubrova, A.Y. Blagov</b> .....	361
---	-----

### EXPERIENCE OF REGIONS

SPATIAL ASPECTS OF EMPLOYMENT DEVELOPMENT IN NORTHERN ASIA <b>S.N. Ivanova</b> .....	381
--	-----



**INTERDISCIPLINARY RESEARCH**

DIGITAL RESOURCES AS AN EFFECTIVE MEANS FOR DEVELOPING COMMUNICATIONS SKILLS OF A FUTURE DOCTOR <b>O.V. Makarova, R.N. Khvoshch, Y.V. Boldyreva</b> .....	405
CONCEPTUALIZATION OF THE CONCEPT OF «MILITARY MEDICAL EXAMINATION» IN AN INTERDISCIPLINARY CONTEXT <b>P.Yu. Naumov, I.V. Kholikov, S.K. Soldatov</b> .....	422
<b>RULES FOR AUTHORS</b> .....	447

Подписано в печать 29.02.2024. Дата выхода в свет 29.02.2024. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 32,63. Тираж 5000 экз. Свободная цена. Заказ SJLSA161/024. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии «Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии: ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.